

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED LAN PARA VOZ Y DATOS,
UTILIZANDO TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS
(PLC) COMO ALTERNATIVA AL CABLEADO ESTRUCTURADO
PARA UN EDIFICIO DE OFICINAS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN**

**MARIUXI ELIZABETH PARRA ENCALADA
nuevo_sol85@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. PABLO HIDALGO
phidalgo@mailfie.epn.edu.ec**

Quito, Abril 2008

DECLARACIÓN

Yo, Mariuxi Elizabeth Parra Encalada, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Mariuxi Parra Encalada

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mariuxi Parra Encalada, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Hidalgo
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me dio las fuerzas para culminar el presente trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional por haberme acogido todos estos años en sus aulas, al Ing. Pablo Hidalgo, Director del Proyecto de Titulación, por haberme dirigido con paciencia y por la confianza que me ha brindado en este tiempo.

Mariuxi

DEDICATORIA

Dedico este Proyecto de Titulación a mis padres, que me han apoyado con todo su cariño y sabiduría, a mi hermano, quien siempre ha estado a mi lado dándome fuerzas para no desmayar en el camino.

Gracias por su sincero apoyo.

Mariuxi

CONTENIDO

Resumen.....	i
Presentación.....	iii

CAPÍTULO 1. POWER LINE COMMUNICATIONS

1.1 Conceptos Generales.....	1
1.1.1 Definición de PLC.....	1
1.1.2 Revisión Histórica.....	2
1.1.3 Características de PLC.....	7
1.1.4 Frecuencias Utilizadas.....	8
1.1.5 Funcionamiento.....	10
1.2 Arquitectura de la Red PLC.....	15
1.3 Modelo PLC.....	17
1.3.1 Formato de Trama.....	17
1.3.2 Modelo de Referencia.....	19
1.4 Calidad de Servicio.....	31
1.4.1 Priorización de paquetes.....	32
1.4.2 Control de Ancho Banda.....	33
1.4.3 Administración de Congestión.....	34
1.4.4 Perfiles de usuario.....	34
1.5 Seguridad.....	35
1.5.1 Identificador de red y redes vecinas.....	36
1.5.2 Encriptación 3DES.....	36
1.6 Tecnología de Transmisión.....	37
1.7 Comparación con otras Tecnologías de Transmisión.....	39
1.7.1 Ventajas.....	39

1.7.2 Desventajas.....	41
1.7.3 Ejemplo de comparación con otras Tecnologías.....	42
1.8 Utilización de la Tecnología PLC en el Ecuador.....	44
1.9 Aplicaciones en Redes de Área Local.....	46
1.10 Situación Actual y Expectativas de la Tecnología PLC.....	50
1.10.1 PLC Alrededor del Mundo.....	50
1.10.2 Empresas y Organizaciones.....	52
1.10.3 Expectativas de la Tecnología PLC.....	53

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL (LAN) PARA VOZ Y DATOS, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC), COMO ALTERNATIVA AL CABLEADO ESTRUCTURADO

2.1 Antecedentes, Objetivos y Alcance.....	56
2.1.1 Antecedentes.....	56
2.1.2 Objetivos.....	61
2.1.3 Alcance.....	61
2.2 Condiciones y Requerimientos para el Diseño.....	61
2.2.1 Condiciones para el Diseño.....	61
2.2.2 Requerimientos para el Diseño.....	62
2.2.2.1 Requerimientos de Hardware.....	62
2.2.2.2 Requerimientos de Software.....	62
2.3 Situación actual de los Sistemas de Cableado Estructurado.....	62
2.3.1 Estándares relevantes en la actualidad.....	64
2.3.1.1 TIA/EIA-568-B	64
2.3.1.2 TIA/EIA-569-A	66
2.3.1.3 TIA/EIA-570-A.....	66

2.3.1.4 TIA/EIA-606-A.....	66
2.3.2 Categorías Utilizadas.....	67
2.4 Diseño de la Red LAN utilizando PLC.....	68
2.4.1 Diseño de conexión a Oficinas.....	68
2.4.2 Diseño de la Acometida.....	75
2.5 Presupuesto Referencial.....	75
2.5.1 Presupuesto de la red LAN con tecnología PLC.....	75
2.5.1.1 Dispositivos a utilizar en la red LAN con PLC.....	75
2.5.1.2 Presupuesto de red LAN con tecnología PLC.....	81
2.5.2 Comparación entre Presupuesto de red PLC vs. Presupuesto de red LAN con Cableado Estructurado.....	82
2.5.2.1 Diseño de red LAN con Cableado Estructurado.....	82
2.5.2.2 Presupuesto de red LAN con Cableado Estructurado.....	92
2.5.2.3 Comparación entre diseños LAN.....	94

CAPÍTULO 3. ASPECTOS REGULATORIO Y NORMATIVOS DE LA TECNOLOGÍA *POWER LINE COMMUNICATIONS*

3.1 Estándares y Normas de PLC.....	95
3.1.1 Normas de PLC.....	98
3.1.2 Estándares de PLC.....	104
3.2 Estructura de la Estandarización.....	109
3.3 Situación Regulatoria Actual.....	111
3.3.1 Aspectos Regulatorios.....	111
3.3.1.1 Regulaciones Técnicas.....	111
3.3.1.2 Regulaciones de Servicio.....	111
3.3.1.3 Regulaciones Organizativas.....	111
3.3.2 Situación Regulatoria en el Ecuador.....	112

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones..... 114

4.2 Recomendaciones..... 116

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 118

Libros

Documentos

Proyectos de Titulación

Páginas Web

ANEXOS

Anexo A: Miembros pertenecientes a organismos PLC

A-1 Miembros pertenecientes a OPERA

A-2 Miembros pertenecientes a UPA

A-3 Miembros pertenecientes a *HomePlug*

A-4 Miembros pertenecientes a *PLC Forum*

Anexo B: Planos del Edificio de Oficinas – Áreas de Trabajo

Anexo C: Planos del Edificio de Oficinas – Áreas de Trabajo Adicionales

Anexo D: Planos del Edificio de Oficinas – Número de Tomas

Anexo E: Diagrama general de la acometida utilizando tecnología PLC

Anexo F: Especificaciones de dispositivos PLC

F-1 *Datasheet* Dispositivo PLC de 1 puerto

F-2 *Datasheet* Dispositivo PLC de 4 puertos

F-3 *Datasheet* Dispositivo PLC *Wireless*

F-4 *Datasheet Gateway* PLC

Anexo G: Especificaciones de dispositivos de Red

G-1 *Datasheet Router* Cisco 2800

G-2 *Datasheet Firewall* PIX Cisco

Anexo H: Planos del Edificio de Oficinas – Cableado Estructurado

Anexo I: Diagrama de red LAN tradicional

Anexo J: Especificaciones de elementos de Red Activa

J-1 *Datasheet Switch* de Core Cisco 4503

J-2 *Datasheet Switch* de Distribución Cisco 3750

J-3 *Datasheet Switch* de Acceso Cisco 2960

J-4 *Datasheet Access Point* 3Com

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1. *POWER LINE COMMUNICATIONS*

Tabla 1.1 Lista de Pruebas PLC llevadas a cabo en Europa.....	5
Tabla 1.2 Experiencias PLC alrededor del mundo. Octubre de 2003	6
Tabla 1.3 Empresas que trabajan con PLC. Octubre de 2003.....	6
Tabla 1.4 Espectro de frecuencias CENELEC.....	9
Tabla 1.5 Clases de servicio.....	32
Tabla 1.6 Comparación entre distintas tecnologías de acceso.....	41
Tabla 1.7 Velocidades teóricas y experimentales para el Departamento A.....	42
Tabla 1.8 Velocidades teóricas y experimentales para el Departamento B.....	42
Tabla 1.9 Aplicaciones <i>In-home</i> UPA.....	48
Tabla 1.10 Pruebas Piloto PLC realizadas en Estados Unidos.....	52
Tabla 1.11 Organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología PLC...	54

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL (LAN) PARA VOZ Y DATOS, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA *POWER LINE COMMUNICATIONS* (PLC), COMO ALTERNATIVA AL CABLEADO ESTRUCTURADO

Tabla 2.1 Distribución de puntos tomacorrientes por circuito, por panel y por planta.....	63
Tabla 2.2 Número de Computadores con el que se cuenta por planta.....	64
Tabla 2.3 Número total de áreas de trabajo.....	69
Tabla 2.4 Cantidad de puertos por oficina.....	70
Tabla 2.5 Tipo de dispositivos PLC vs. Número de puertos necesarios.....	74
Tabla 2.6 Número de dispositivos PLC por planta.....	76
Tabla 2.7 Presupuesto de red LAN con tecnología PLC.....	81
Tabla 2.8 Puntos de voz y datos en la red LAN.....	83
Tabla 2.9 Cantidad de cable UTP para el diseño del sistema de cableado estructurado en el edificio de oficinas.....	85
Tabla 2.10 <i>Conduit</i> . Capacidad de cables UTP en función del diámetro.....	85
Tabla 2.11 Cantidad de <i>conduit</i> en metros de cada una de las plantas.....	86
Tabla 2.12 Número de salidas de telecomunicaciones por planta.....	86
Tabla 2.13 Cantidad de canaleta (m) por planta.....	87
Tabla 2.14 Número de <i>Patch Panels</i> por planta.....	87
Tabla 2.15 Equipos y accesorios – <i>Rack</i> Planta Baja.....	87
Tabla 2.16 Equipos y accesorios – <i>Rack</i> Primera Planta.....	88
Tabla 2.17 Equipos y accesorios – <i>Rack</i> Segunda Planta.....	88

Tabla 2.18 Equipos y accesorios – <i>Rack</i> Tercera Planta.....	88
Tabla 2.19 Equipos y accesorios – <i>Rack</i> Cuarta Planta.....	89
Tabla 2.20 Número de <i>Switches</i> por planta.....	89
Tabla 2.21 Presupuesto de la red pasiva del diseño de una red LAN basada en cableado estructurado.....	93
Tabla 2.22 Presupuesto de la red activa del diseño de una red LAN basada en cableado estructurado.....	94

CAPÍTULO 3. ASPECTOS REGULATORIO Y NORMATIVOS DE LA TECNOLOGÍA *POWER LINE COMMUNICATIONS*

Tabla 3.1 Asignación de Bandas de Frecuencias CENELEC-EN.....	103
Tabla 3.2 Resumen de normas y estándares para la tecnología PLC a nivel Europeo y Americano.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. *POWER LINE COMMUNICATIONS*

Figura 1.1 Distribución de frecuencias para PLC según la ETSI.....	9
Figura 1.2 Acoplador eléctrico.....	12
Figura 1.3 Repetidor PLC.....	13
Figura 1.4 Segmentación de red basada en frecuencia.....	14
Figura 1.5 Instalación en un cuarto de contadores.....	14
Figura 1.6 Sistema PLC <i>Outdoor – Indoor</i>	15
Figura 1.7 Capas de la red PLC.....	16
Figura 1.8 Distribución de celdas en las unidades PLC.....	17
Figura 1.9 Modelo de referencia PLC.....	20
Figura 1.10 Transmisión en la Capa Física.....	21
Figura 1.11 Relación señal a ruido y modulación en un canal <i>powerline</i>	23
Figura 1.12 Red con visibilidad completa.....	26
Figura 1.13 Red con visibilidad incompleta.....	26
Figura 1.14 División de la trama <i>Ethernet</i> en ráfagas PLC.....	28
Figura 1.15 Esquema de retransmisión de paquetes.....	29
Figura 1.16 Módulo Clasificador de servicio.....	33
Figura 1.17 Encriptación basada en 3DES/DES.....	36
Figura 1.18 Niveles de red de voltaje.....	38
Figura 1.19 Trama de transmisión PLC.....	39
Figura 1.20 Pruebas de tecnologías <i>In-home</i> en los departamentos A y B.....	43
Figura 1.21 Cronología: proceso para la selección de un operador de telecomunicaciones EEQ.....	46
Figura 1.22 Distribución de video con la ayuda de un servidor interno.....	49
Figura 1.23 Distribución de video a partir de una señal externa.....	49
Figura 1.24 Diagrama de bloques de una red híbrida coaxial/ <i>powerline</i>	49
Figura 1.25 Cobertura PLC <i>Ventures</i> en Guatemala.....	53

CAPÍTULO 2. DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL (LAN) PARA VOZ Y DATOS, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC), COMO ALTERNATIVA AL CABLEADO ESTRUCTURADO

Figura 2.1 Diagrama de paneles de distribución por piso.....	57
Figura 2.2. UPS PowerWare 9315 225 KVA Firmesa.....	58
Figura 2.3 Tablero de Distribución Principal UPS (exterior).....	58
Figura 2.4 Tablero de Distribución Principal UPS (interior).....	58
Figura 2.5 Tablero General de Distribución (exterior).....	58
Figura 2.6 Tablero General de Distribución (interior).....	59
Figura 2.7 Banco de condensadores (exterior).....	59
Figura 2.8 Banco de condensadores (interior).....	59
Figura 2.9 Escalerillas de distribución.....	60
Figura 2.10 Computadoras para el control del generador.....	60
Figura 2.11 Control de energía.....	60
Figura 2.12 Diagrama de la acometida.....	75
Figura 2.13 Dispositivo PLC <i>Devol</i> o de 1 puerto.....	77
Figura 2.14 Dispositivo PLC <i>Netgear</i> de 4 puertos.....	78
Figura 2.15 <i>Access Point</i> PLC <i>Devol</i> o.....	78
Figura 2.16 Conexión del <i>Gateway</i> PLC <i>Asoka</i> al tablero de distribución.....	79
Figura 2.17 <i>Gateway</i> PLC <i>Asoka</i>	79
Figura 2.18 <i>Router</i> Cisco 2851.....	80
Figura 2.19 <i>Firewall</i> Cisco PIX 506E.....	81
Figura 2.20 <i>Switch</i> de <i>core</i> Cisco 4503.....	90
Figura 2.21 <i>Switch</i> de distribución Cisco 3750.....	91
Figura 2.22 <i>Switch</i> de acceso Cisco 2960.....	92
Figura 2.23 Punto de acceso inalámbrico 3Com 7760.....	92

CAPÍTULO 3. ASPECTOS REGULATORIO Y NORMATIVOS DE LA TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS

Figura 3.1 Panorama estandarizador del PLC.....	110
Figura 3.2 Proceso de regulación de PLC en Europa.....	110

RESUMEN

La necesidad de optimizar los recursos con los que cuentan las actuales infraestructuras de instalaciones eléctricas, y evitar todo el trabajo y tiempo que amerita la instalación de un sistema de cableado estructurado, es el problema que se pretende solucionar con el presente proyecto de titulación. Para ello se plantea la alternativa de utilizar la tecnología *Power Line Communications* para realizar el diseño de una red de área local aprovechando al máximo estas instalaciones.

Esta propuesta se presenta en cuatro capítulos:

El primer capítulo, describe las características de la tecnología PLC en cuanto a su arquitectura, modelo, comparación con otras tecnologías de diseño LAN y además su aplicación y situación actual a nivel de nuestro país y del mundo.

Todo el estudio teórico realizado en este capítulo se lo enfoca al desarrollo de la tecnología PLC en aplicaciones *Indoor*.

El segundo capítulo abarca el diseño de la red con tecnología PLC, para lo que se requiere un conocimiento previo de las instalaciones eléctricas del edificio, luego del cual se realiza el diseño de la red LAN.

Para finalizar este capítulo, se diseña la misma red con un sistema de cableado estructurado, de esta manera se puede realizar una comparación en cuanto a diseño, costo, y tiempo de instalación con respecto a la tecnología PLC.

El capítulo tres encierra los aspectos regulatorios y normativos de la tecnología PLC, se realiza un estudio de las normas y estándares existentes, así como de la situación regulatoria actual en nuestro país.

Finalmente, el cuarto capítulo es un compendio de todo lo aprendido durante la realización del presente proyecto de titulación, principalmente, de las experiencias que quedan luego de haber realizado el diseño; esto se refleja en las

conclusiones y recomendaciones que es el producto que personalmente se considera de mayor importancia dentro del presente diseño.

En los anexos se encuentran los planos del edificio de oficinas en cada una de las etapas de diseño siguientes:

- Análisis de los puntos dentro de las instalaciones eléctricas.
- Análisis de los requerimientos de las áreas de trabajo.
- Puntos adicionales que agregan movilidad a la red.

Además, también se encuentran los planos pertenecientes al diseño del sistema de cableado estructurado para el mismo edificio, los diagramas de red de la acometida para PLC y el correspondiente a la LAN tradicional.

PRESENTACIÓN

Las tecnologías que hoy en día se tienen para compartir información dentro de redes de área local pueden ser cableadas o inalámbricas. Estas tecnologías se encuentran normalizadas y su instalación se basa en dichas normas.

Por otro lado, existe una tecnología que tiene bastante tiempo de ser utilizada y estudiada, pero muy poco aplicada al ámbito de las redes de área local, esta tecnología se denomina *Power Line Communications*, la cual utiliza la red eléctrica como medio de transmisión de la información.

En el mercado, los productos basados en esta tecnología ya existen, alcanzando grandes velocidades que permiten no sólo cumplir las necesidades de una red LAN con aplicaciones de oficina; sino, también manejar aplicaciones de audio y video que requieren mayores anchos de banda.

El presente proyecto de titulación, propone realizar una red de área local utilizando la tecnología PLC como alternativa al cableado estructurado, cumpliendo con la misma capacidad en cuanto a la satisfacción de las necesidades del usuario. Esta propuesta incluye el estudio normativo de la tecnología PLC, así como una comparación en costos y diseño con el sistema de cableado estructurado.

El diseño a realizar exige el conocimiento de instalaciones eléctricas, que permitirá conocer las condiciones del edificio sobre el cual se trabaja; y cableado estructurado, con el cual se podrá establecer un análisis comparativo.

Se espera que con el presente proyecto de titulación, quien lo analice pueda tener una nueva perspectiva del diseño LAN, y con ello, una alternativa más en el momento de realizar comparaciones en cuanto al tiempo de instalación, diseño, y costos.

CAPÍTULO 1

POWER LINE COMMUNICATIONS

1.1 CONCEPTOS GENERALES

Para desarrollar el estudio y diseño de una red de área local utilizando la tecnología PLC (*Power Line Communications*), es necesario conocer sus fundamentos, los cuales se encuentran definidos en los proyectos propuestos por distintas organizaciones, como por ejemplo, *Open PLC European Research Alliance* OPERA, *HomePlug*, *Universal Powerline Association* UPA, entre otros.

1.1.1 DEFINICIÓN DE PLC

“La tecnología conocida como PLC es aquella que permite, transmitir señales de voz, datos, Internet, telefonía y video, usando como medio de transmisión cableado de electricidad convencional.”^[53]

Tecnología, se refiere a la transformación de recursos en nuevos productos, sean éstos bienes o servicios, cuyo objetivo es la satisfacción de las necesidades de las personas.

En este caso el recurso a ser transformado es la electricidad, cuyo servicio resultante es la transmisión de datos a velocidades competitivas, que satisfacen las necesidades de comunicación con una característica propia de ubicuidad.

Comunicación, es un sistema que permite transmitir señales (voz, datos, texto, etc.) desde un punto hacia otro, siendo denominado al primer punto como transmisor y al destinatario como receptor, el cual desconoce la señal hasta haberla recibido.

Línea de energía, hace referencia al transporte de energía eléctrica, la cual es esencial para su distribución en el hogar u oficina; esta definición normalmente se amplía a líneas de alta tensión o líneas de transmisión. Según la EEQ (Empresa Eléctrica Quito), “las líneas de transmisión son líneas eléctricas de alto voltaje es decir de 46 o 138 KV; estas líneas son aquellas que transfieren la energía

eléctrica proveniente del sistema nacional interconectado o de las centrales de producción, y unen las subestaciones entre si.”^[82]

Una **señal**, es una onda proveniente de un estímulo luminoso, sonoro o eléctrico, que lleva información, con la cual se construye un mensaje.

El **medio de transmisión**, se puede definir como el camino entre el transmisor y el receptor para la transmisión de información.

Cableado de electricidad convencional, se refiere a las instalaciones eléctricas que distribuyen el servicio de energía en el hogar y oficina; también se lo puede tomar como referencia al tendido eléctrico, mediante el cual se provee este servicio.

Se puede definir a PLC para sistemas *Indoor*, como una tecnología que permite la transmisión de datos desde un punto hacia otro, mediante el empleo de las líneas de energía de hogares y oficinas como medio de transmisión.

1.1.2 REVISIÓN HISTÓRICA

La utilización de las instalaciones eléctricas para la transmisión de datos no es nueva, se puede señalar que la tecnología *Power Line Communications* se origina en los 50's, cuando su uso se limitaba al control de líneas eléctricas y a la transmisión de las lecturas de los telecontroles a bajas velocidades, esto último se denomina medición automática remota (AMR).^[20]

Con el pasar del tiempo, las empresas proveedoras del servicio eléctrico, empiezan a utilizar sus propias redes para la transferencia interna de información a mayores distancias, como por ejemplo, redes de generación remotas, entre las que se encuentran las centrales hidroeléctricas o los transformadores remotos.

Esta transmisión remota de datos a través de las líneas de alta tensión, se la realizaba a velocidades muy bajas pero que eran suficientes para el telecontrol.^[45]

A mediados de los 80's se comenzó a investigar la forma de emplear los cables eléctricos como medio de transmisión de datos; a finales de esta misma década, en Europa se emite la norma CONELEC EN50065 que permitía la transmisión de datos en la red de baja tensión, para lo cual se utilizaba la banda de 3 a 148,5 kHz y a velocidades muy bajas.

Desde la emisión de esta norma, se llevan a cabo proyectos piloto en varios países:

- Alemania: *Energie Baden-Württemberg*, GWS.
- España: Endesa, Iberdrola.
- México: Comisión Federal de Electricidad CFE.
 - Las primeras investigaciones fueron realizadas en el Instituto de Investigaciones Eléctricas y en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET (1988- 1991).
 - En Mérida Yucatán, se ejecutaron pruebas internas en el 2002, pruebas en líneas subterráneas de baja tensión para 25 usuarios, a distancias de 70 m, a una velocidad de 4.5 Mbps, tanto para transmitir voz como datos.
 - En el Estado de México, Jocotitlán, durante los años 2004 y 2005, se realizaron pruebas en el sector público, en líneas de media tensión a distancias de 277 m y en líneas de baja tensión a distancias de 100 m; ambas a velocidades de 3 a 7 Mbps
 - En Michoacán, San José de la Palma, se hacen pruebas piloto en conjunto con el Grupo IUSA.
 - En Morelia, se realizan pruebas piloto en el Palacio de Gobierno durante los años 2005 y 2006.^[28]

En el año de 1997, las compañías *United Utilities* de Canadá y *Northen Telecom* de Inglaterra, presentan al mercado la posibilidad que Internet fuese accesible desde la infraestructura eléctrica, tecnología a la que se denominó como *Power Line Communications*. A partir de este punto, las compañías eléctricas pensaron en formas para sacar un rendimiento mayor a sus redes.

Después se unieron los alemanes en la carrera por el desarrollo de esta tecnología, siendo los primeros en ofrecer PLC a nivel comercial.

A finales del año 1999 e inicios del 2000, España ingresó de igual forma a través de la empresa energética Endesa, y con los avances tecnológicos realizados se permitió alcanzar velocidades de transmisión en el orden de los *Megabits* por segundo, suficiente para el acceso a Internet y otros servicios de telecomunicaciones.^[51]

En la tabla 1.1 se muestran las pruebas que fueron llevadas a cabo en Europa hasta junio de 2001.

Para julio de 2001 en Essen, la empresa pionera *Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk* RWE, ofrecía servicios por 35 euros al mes y alcanzaba a los 20000 abonados; los principales suministradores de equipos fueron *Siemens* y *Ascom* de Suiza.

El 30 de septiembre de 2002, la empresa alemana RWE, cesó sus servicios de PLC, por las fuertes presiones de *Deutsche Telecom* y problemas regulatorios en cuanto al espectro radioeléctrico. Adicionalmente, en apoyo de esta tecnología, comienza a trabajar el *PLC Forum*, que cuenta con más de 100 miembros, entre los cuales se cuenta con fabricantes, operadores y otras organizaciones interesadas en su promoción y difusión; su sede está en *Interlaken* (Suiza).

En la tabla 1.2, se tienen las experiencias alrededor de todo el mundo para finales de octubre de 2003, mientras que en la tabla 1.3, se puede observar las características de las empresas *Ascom*, *Main.net* y *DS2*, para la misma fecha.

Lista de Pruebas llevadas a cabo en Europa			
Operadores Servicios Telco	País	Proveedores Tecnología	Comentarios
RWE	Alemania	Ascom / Keyin	A principios de 2000 la RWE completó su prueba piloto, testando las tecnologías de acceso desde el transformador de bajo voltaje a 200 hogares. Para las pruebas en Essen, 150 hogares fueron equipados con tecnología Ascom, y otros 50 con tecnología Keyin.
VEBA/AvaconOnline	Alemania	Online/Enikia	
EnBW/Tesion	Alemania	Siemens/NOR.WEB	Pruebas realizadas desde agosto de 1998 con 150 clientes.
MVV	Alemania	ABB/Alcatel	Fuchs Petrolub se convierte en el primer cliente industrial. Alcatel su socio tecnológico. Desde julio de 2000, 100 casas de la ciudad de Mannheim están conectadas por PLC.
EnterprisesElectriques Fribougeoises (EEF), diAx	Repúb. Checa	Ascom	La empresa realizó un test con 20 hogares, incluido en viejo fabricante de chocolates de Nestlé.
France Telecom	Francia	Ascom	Aún se encuentra testando los servicios potenciales y la aceptación de los clientes.
Enel	Italia	Ascom	PLC desde las casas a la subestación y fibra óptica desde ésta hasta el anillo.
Endesalberdrola	España	AscomDS2Nams	Las pruebas se han llevado a cabo en la Villa Olímpica del Puerto de Barcelona, Sevilla y Madrid
EDF	Francia	Ascom	
EVN	Austria	Ascom	
TIWAG	Austria	Ascom	
NESA	Dinamarca	Ascom	
Linanet	Islandia	Ascom	
VikenEnerginet	Noruega	Ascom	
EvicomSydkraft	Suecia	Ascom	Junto a los servicios se ha desarrollado un portal de banda ancha para la explotación de nuevos servicios y contenidos.
ELMU/Novaco	Hungria	Siemens	EnBW ha lanzado pruebas en Budapest con tecnología Siemens
R-KOM	Dinamarca	Alcatel	Muchas pruebas han sido realizadas, incluyendo a clientes como Danone.

Tabla 1.1 Lista de Pruebas PLC llevadas a cabo en Europa ^[32]

En Francia, la compañía EDF se encuentra con dos problemas, el primero la oposición de *France Telecom*, y la diversidad en cuanto a la propiedad de las infraestructuras eléctricas, ya que se encuentran en mano de los distintos municipios. ^[32]

En Estados Unidos, la red de acceso PLC no se encuentra extendida debido a la complicada topología de red eléctrica que poseen, por lo que se comienza a implementar la tecnología PLC *In-home*.

País	Operador	Servicios	Cobertura	Tecnología
Despliegue comercial				
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 Ellwangen	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 ¹	DS2
	Iberdrola	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet	200 clientes en Madrid ²	Nams, Ascom y DS2
Pruebas piloto				
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
Portugal	EDP	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet y telefonía	300 usuarios en Lisboa	DS2
Holanda	Nuon	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet (acuerdo con Disgstrom)	250 usuarios en varias ciudades	Mainnet
Francia	EdF (2)	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet	40 usuarios en Estrasburgo	Ascom, DS2 y Mainnet

Tabla 1.2 Experiencias PLC alrededor del mundo. Octubre de 2003 ^[14]

	ASCOM	MAINNET	DS2
Posicionamiento	<ul style="list-style-type: none"> Solución en acceso (no contempla MT) Solución in-home 	<ul style="list-style-type: none"> Solución en acceso (contempla MT) Solución in-home 	<ul style="list-style-type: none"> Solución en acceso (contempla MT) Solución in-home
Diseñadores	<ul style="list-style-type: none"> Sí 	<ul style="list-style-type: none"> No 	<ul style="list-style-type: none"> Sí
Fabricantes	<ul style="list-style-type: none"> Sí 	<ul style="list-style-type: none"> Sí 	<ul style="list-style-type: none"> No
Características técnicas	<ul style="list-style-type: none"> AB máximo: 4,5 Mbps Modulación: GSMK 	<ul style="list-style-type: none"> AB máximo: 4,5 Mbps Modulación: DSSS 	<ul style="list-style-type: none"> AB máximo: 45 Mbps Modulación: OFDM
Baja tensión (BT)	<ul style="list-style-type: none"> Chipset PROPIO 	<ul style="list-style-type: none"> Chipset ITRAN 	<ul style="list-style-type: none"> Chipset PROPIO
Media tensión (MT)	<ul style="list-style-type: none"> No 	<ul style="list-style-type: none"> Disponible con chipset ITRAN 	<ul style="list-style-type: none"> Disponible con chipset PROPIO
VoIP	<ul style="list-style-type: none"> Disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Disponible 	<ul style="list-style-type: none"> Disponible
Roadmap de producto	<ul style="list-style-type: none"> MT disponible con chipset DS2 en 1Q2003 BT disponible con chipset DS2 en 2004 	<ul style="list-style-type: none"> MT disponible con chipset DS2 en 2004 	<ul style="list-style-type: none"> Nuevo chipset 200 Mbps en 2Q2003 para MT y BT
Pruebas PLC en Europa con:	<ul style="list-style-type: none"> EDF EEF EnBW ENDESA ENEL TIWAG IBERDROLA 	<ul style="list-style-type: none"> EDF LINZ STROM MW NUON ENEL UNIÓN FENOSA VATTENFALL 	<ul style="list-style-type: none"> EDP ENDESA ENEL UNIÓN FENOSA IBERDROLA

Tabla 1.3 Empresas que trabajan con PLC. Octubre de 2003 ^[14]

PLC en el transcurso de su historia, ha tenido distintos alcances dentro de los sistemas de comunicaciones, como se describe:

- **Power Line Carrier:** telecontrol, supervisión, medición automática remota en líneas de alta y media tensión.
- **Power Line Communication:** transmisión de datos en alta y media tensión, distancias medias, velocidades menores a 1 Mbps.
- **Power Line Communication:** Banda ancha que permite velocidades mayores a los 10 Mbps.^[20]

Desde un primer momento, todos los estudios realizados contaron con el apoyo de las compañías eléctricas, porque veían en la tecnología *Power Line Communications*, una forma de mejorar su rentabilidad ofreciendo nuevos servicios con una mínima inversión, aprovechando una infraestructura creada para fines distintos y que llega a más de 3.000 millones de personas.

1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE PLC

Las siguientes, son las características generales de la tecnología *Power Line Communications*, que se tratarán, más ampliamente en puntos posteriores en el presente capítulo:

- Alcanza una velocidad de transmisión de 200 Mbps, la cual es definida por las características del enlace entre cada maestro y esclavo.
- Utiliza modulación *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), que permite, que los datos sean transmitidos de una portadora a otra, a medida que cambian las condiciones de ruido y características de la línea eléctrica.
- Se tiene clase de servicio, ya que cada tipo de servicio se prioriza, de acuerdo a sus características propias.
- Puede convivir con los demás equipos de interconexión de la red, utilizando los mismos protocolos de administración, monitoreo y seguridad.
- Se puede realizar transmisión simultánea de voz y datos, mientras el suministro eléctrico puede seguir siendo utilizado; por lo tanto, la toma

única para la alimentación y la transmisión de voz y datos, es el enchufe eléctrico.

- Ahorra la necesidad de un cableado adicional.
- El equipo básico para su conexión es un módem PLC.
- Se pueden implementar varios servicios como por ejemplo, Internet a altas velocidades, voz sobre IP, videoconferencias, redes de área local, entre otras aplicaciones.

La especificación UPA para sistemas en hogares digitales, incluyen las siguientes características para obtener una mayor velocidad en la transmisión de audio/video, teniendo dos escenarios, redes administradas y redes sin administración:

- Trabaja con 1536 portadoras, utilizando modulación OFDM.
- La velocidad en la capa física es de 200 Mbps.
- Presenta un control de acceso al medio libre de colisiones y con multiplexación por división de tiempo flexible.
- Su arquitectura de control es *master/slave*.
- Tiene dos modos de operación en cuanto al ancho de banda: modo normal y modo de coexistencia.
- Su eficiencia espectral se encuentra por encima de los 8 bits/s/Hz.
- Presenta una capa que permite una coexistencia independiente entre tecnologías de acceso/*In-home*, *In-home/In-home* y futuros sistemas.
- Utiliza encriptación 3DES.
- La calidad de servicio tiene 8 niveles de prioridad.
- Es compatible con el proyecto OPERA.

1.1.4 FRECUENCIAS UTILIZADAS

En la tecnología *Power Line Communications*, la señal utilizada para la transmisión de datos a través de la red eléctrica, tiene un rango de frecuencias, que va desde los 1,6 MHz hasta los 30 MHz, la cual difiere de la frecuencia

utilizada por la red eléctrica convencional (50 – 60 Hz), por lo que, la posibilidad de que exista algún tipo de interferencia entre estos rangos es nula.

Según *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), la distribución de frecuencias para PLC se la realiza de acuerdo a lo que se presenta en la figura 1.1.

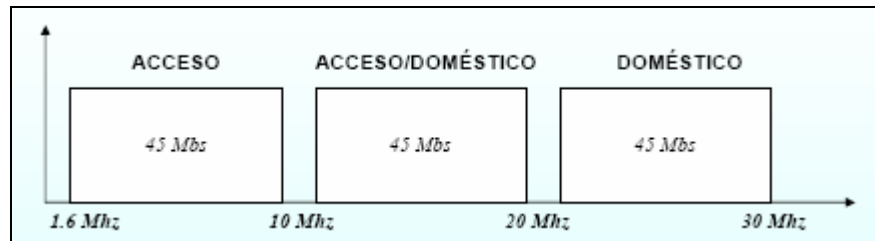


Figura 1.1 Distribución de frecuencias para PLC según la ETSI ^[43]

- **Acceso**, se refiere a la red de media y baja tensión, lo que en otras palabras se denomina como PLC *outdoor*.
- **Doméstico**, hace referencia a las aplicaciones *In-home*.

Por otro lado, el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica CENELEC, define en el estándar EN50065 un espectro de frecuencias desde los 9 kHz hasta los 140 kHz, como se señala en la tabla 1.4. Esta norma difiere significativamente de los estándares americanos y japoneses que especifican rangos de frecuencia por encima de los 500 kHz.

Banda	Rango de Frecuencias	Amplitud máxima	Aplicación
	kHz	V	
A	9 – 95	10	Utilidades
B	95 – 125	1.2	<i>Home</i>
C	125 – 140	1.2	<i>Home</i>

Tabla 1.4 Espectro de frecuencias CENELEC ^[1]

- **Utilidades**, son servicios relacionados a la comunicación entre centros de control, control remoto de dispositivos y lecturas de la medición de los usuarios.

- **Home**, se refiere a las bandas para uso privado, como la automatización de edificios y hogares.

UPA, en sus documentos presenta las siguientes bandas de frecuencia (se señala que estas bandas son para información, pero que deben ser validadas al realizar una aplicación práctica):

- Se dice que un sistema opera en la banda de frecuencia FB1, si solamente utiliza las frecuencias por debajo de los 12 MHz.
- Se dice que un sistema opera en la banda de frecuencia FB2, si solamente utiliza las frecuencias por encima de los 13 MHz.
- Se dice que un sistema opera en la banda de frecuencia FB3, si solamente utiliza las frecuencias por debajo de los 12 MHz y por encima de los 13 MHz.

HomePlug apoyándose en las características generales de la red eléctrica, se basa en valores experimentales, con el fin de determinar un rango de frecuencias desde los 4.5 hasta los 21 MHz para las aplicaciones *In-home* que esta empresa desarrolla.

1.1.5 FUNCIONAMIENTO

Mediante el uso de la tecnología PLC, cada contacto eléctrico se convierte en un puerto de datos que permite establecer conexiones o realizar redes locales, sin la necesidad de la implementación de un sistema de cableado estructurado.

La tecnología opera en el voltaje de los 120 V, donde la frecuencia es de 50 – 60 Hz, quedando disponible la banda de alta frecuencia de 1,6 a 30 MHz en la que opera PLC (de acuerdo a ETSI).

Para la implementación de este servicio se necesita un módem PLC por cada conexión particular, es decir, el usuario puede conectarse a la red, utilizando un módem desde cualquier contacto de la red eléctrica.

Se basa en una conexión maestro–esclavo punto-multipunto, donde cada uno de los equipos responde o reporta, según el caso, a un equipo central:

- **Head-End**, es el inyector de red y actúa como maestro.
- El equipo del usuario, **CPE**, actúa como esclavo.
- Los **repetidores** son los que actúan como esclavos del *Head-End*, y también como maestros de otros repetidores y CPE's.

1.1.5.1 *Head-End*

Es el equipo que inyecta la señal de datos en la red de baja tensión, su configuración varía dependiendo, si el *backbone* es una red de datos clásica o si se va a utilizar la red de media tensión.

Cuando se quiere conectar a una red de datos clásica, este dispositivo contará de una interfaz *Ethernet* para poder conectarse al *switch* o al *router* del *backbone*. En el caso de querer conectarse a la red de media tensión, se deberá incorporar una tarjeta PLC de media tensión, que permitirá la conexión con otro equipo PLC en la red de media tensión.

1.1.5.2 *Customer Premise Equipment (CPE)*

Normalmente consta del módem PLC, el cual es un dispositivo que realiza la misma función que un módem telefónico o de cable, es decir, modula la señal digital en una portadora analógica que permite la transmisión de información, a través de la red eléctrica y viceversa para el caso de la demodulación.

El **módem PLC**, está diseñado para interactuar en baja tensión, con las frecuencias tanto de corriente alterna, como las de datos que están por encima de 1 MHz. Desde el punto de vista *In-home*, pueden funcionar con el *outlet* (enchufe/regleta) de la casa; existen además adaptadores *Universal Serial Bus* USB denominados *powerline adapters*, que sirven para obtener el acceso conectándolos directamente al computador.

Internamente, implementa un acoplador eléctrico que permite separar las señales de datos y la eléctrica, como se muestra en la figura 1.2.

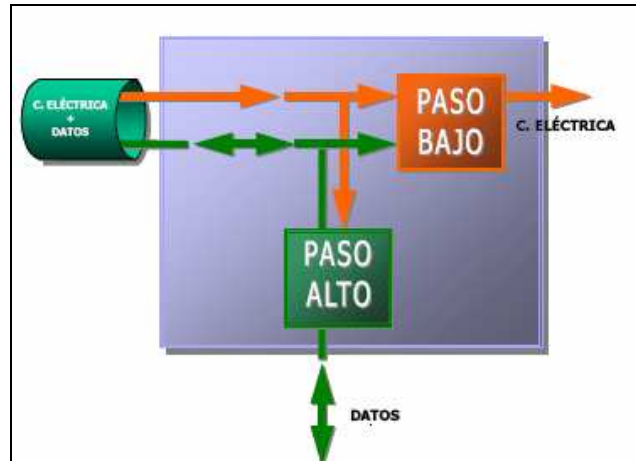


Figura 1.2 Acoplador eléctrico ^[29]

El acoplador también es quien se encarga de inyectar la señal de alta frecuencia en la red eléctrica. Es un dispositivo pasivo que consta básicamente de dos filtros:

- **Filtro paso-bajo**, que separa la corriente eléctrica.
- **Filtro paso-alto**, que extrae la señal de alta frecuencia perteneciente a los datos.

El módem recibe la señal de alta frecuencia y la demodula, extrayendo los datos que son entregados mediante una interfaz *Ethernet*, USB o *wireless* 802.11 b. Este dispositivo también permite tener comunicaciones de voz, ya que integra un *gateway* de VoIP, el cual mediante una interfaz RJ11 se puede conectar a un teléfono tradicional.

Además, implementa todas las funciones de la capa física incluyendo modulación y codificación, funciones de la capa enlace para sus ambas subcapas MAC (control de acceso al medio) y LLC (control lógico de enlace).

1.1.5.3 Repetidores

Se denominan también *home gateways* y son alojados por lo general en el cuarto de contadores (medidores de energía) de las viviendas o en los cuadros generales de protección. Normalmente los edificios disponen de una sola acometida eléctrica, que en el cuarto de contadores se divide en acometidas para cada abonado.

Este dispositivo realiza las siguientes funciones:

- Distribuye la señal PLC desde la acometida del edificio hacia las acometidas individuales, dividiendo el acceso PLC en varios segmentos de red, esta división se logra usando diferentes *time slots* o distintas bandas de frecuencia, tal como lo muestra la figura 1.3.

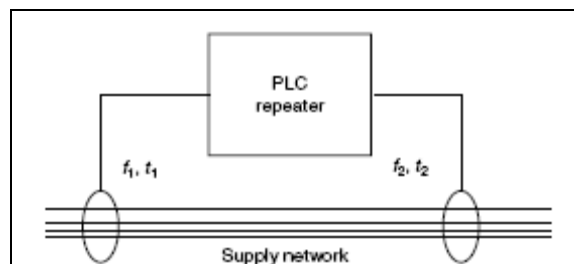


Figura 1.3 Repetidor PLC ^[1]

En el caso de la división por *slots* de tiempo, el primer *time slot* corresponde a la transmisión del primer segmento de red y el segundo, a la transmisión dentro del segundo segmento de red.

Para el caso de la segmentación de la red basada en la frecuencia, figura 1.4, el repetidor recibe la señal en la frecuencia 1, la amplifica e inyecta dentro de la red, convirtiéndola en frecuencia 2 para el siguiente segmento de red. En la transmisión, en dirección opuesta, la conversión se la realiza de la frecuencia 2 a la frecuencia 1.

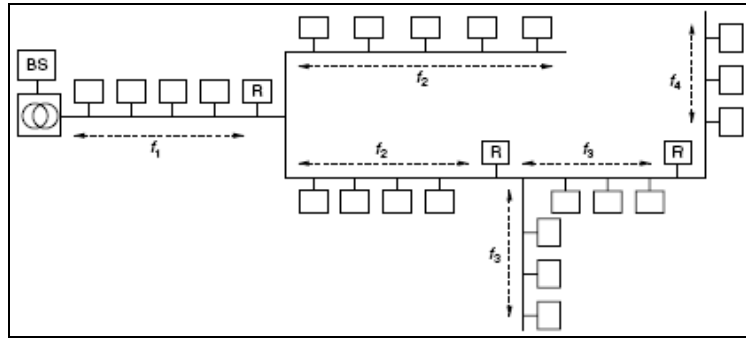


Figura 1.4 Segmentación de red basada en frecuencia ^[1]

- Controla el acceso al medio entre todos los módems instalados en el edificio.
- Puede incluir funciones de modulación/demodulación de la señal a ser transmitida.

En la figura 1.5, se muestra que los repetidores se conectan a la red eléctrica, a través de acopladores eléctricos, similar al caso del módem; con la diferencia, de que se utiliza un acoplador para la acometida del edificio (*upstream*) y varios acopladores para las acometidas individuales (*downstream*), esto es, un acoplador por cada usuario abonado al servicio.

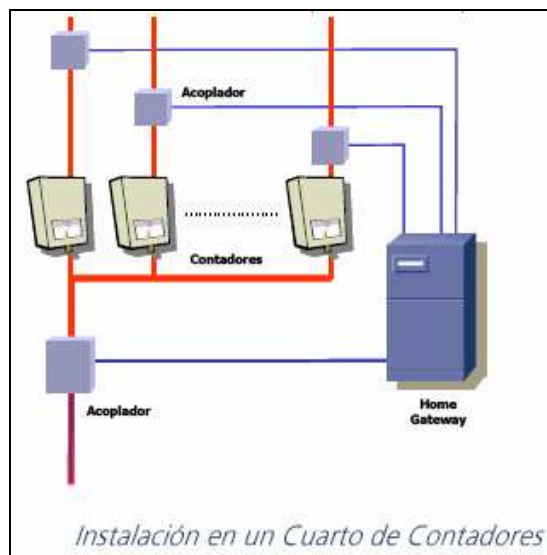


Figura 1.5 Instalación en un cuarto de contadores ^[29]

en la capa red. La información recibida es entregada a las capas superiores hasta llegar a la capa aplicación.

En la figura 1.7, 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.

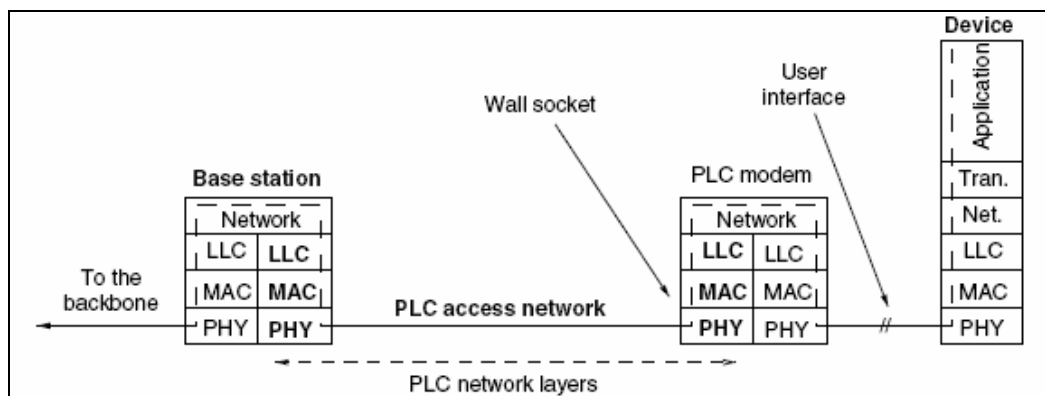


Figura 1.7 Capas de la red PLC ^[1]

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 1.8.

Cada celda opera en una banda de frecuencia independiente, denominada modo; están compuestas por equipos *Head-End*, equipos repetidores TDR (*Time Domain Repeaters*), o por CPE's.

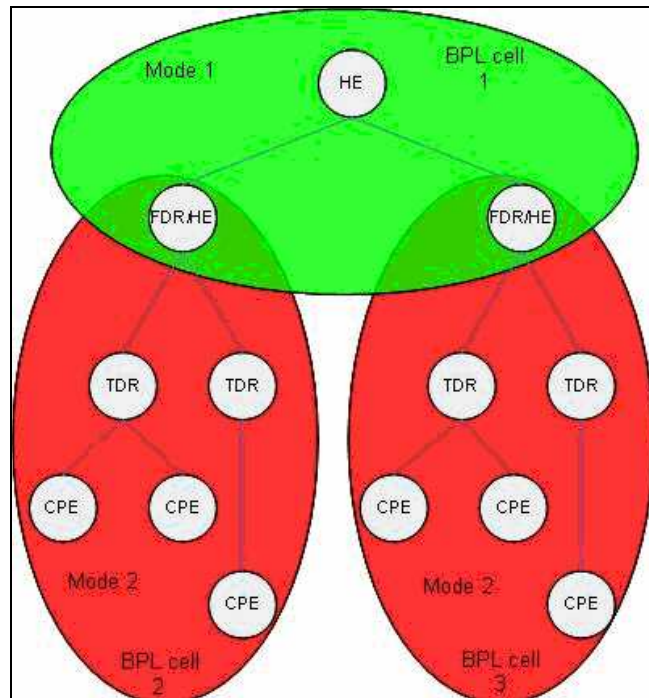


Figura 1.8 Distribución de celdas en las unidades PLC ^[22]

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.

1.3 MODELO PLC

El estudio del modelo de la tecnología *Power Line Communications*, ayuda a vislumbrar cómo se encuentra estructurado en relación a las capas del modelo ISO/OSI y de esta forma comprender su funcionamiento, principalmente a nivel de las capas física y enlace.

1.3.1 FORMATO DE TRAMA

OPERA define dos tipos de tramas: las regulares y las de estimación de canal.

1.3.1.1 Tramas Regulares

Usadas para llevar los datos entre los nodos y ser transmitidas por un testigo. Contienen *payload* PLC y dependiendo del tipo de testigo, las tramas regulares pueden ser clasificadas en los siguientes tipos:

- **Tramas de datos**, contienen un testigo que da acceso al canal a otro nodo.

- **Tramas silenciosas**, similares a las anteriores pero el testigo es retenido por el nodo que está transmitiendo.
- **Tramas de sondeo**, usadas por los nodos *Head-End* y repetidores para actualizar el estado de las conexiones. Se sondea a los nodos en estado de reposo para saber si éstos tienen datos pendientes para transmitir y así poder añadirlos a la lista de nodos activos.

El nodo que recibe la trama de sondeo, responde con una señal si el nodo tiene información pendiente para enviar. De esta forma no se gastan los recursos de los canales ya que los nodos inactivos no reciben testigo.

- **Tramas de acceso**, usadas por los nodos *Head-End* y repetidores, con el fin de invitar a nuevos nodos a unirse a la red PLC. Una vez que se recibe esta trama, los nuevos nodos compiten por el acceso al canal utilizando el algoritmo de *back-off*. Una vez que uno de ellos ha ganado el acceso, se inicia la conexión entre el nodo que envió la trama de acceso y el nuevo nodo, aquí se ponen de acuerdo en cuanto a parámetros de calidad de servicio, modulación, etc.
- **Tramas de respuesta a acceso**, son tramas enviadas como respuesta a las tramas de acceso.
- **Tramas de datos no retornables**, usadas para dar acceso al canal a varios nodos de manera simultánea, esto se utiliza para proveer un reuso espacial.

La capacidad de reuso espacial incrementa el rendimiento de la red, ya que le agrega capacidad a toda la celda PLC.

- **Tramas de sincronización**, sincronizan todos los nodos de una celda PLC; cada nodo tiene un temporizador que se deriva de un reloj con una frecuencia de 312.5 kHz. La información transmitida con esta trama, son los ciclos restantes para alcanzar el período final del temporizador; esto es usado en el nodo receptor para realizar cálculos del retardo entre su temporizador y el correspondiente a su transmisor. Si existe un retardo con el maestro, éste es utilizado para compensar el temporizador propio.
- **Trama CSMA**, provee a los nodos que no han accedido todavía al canal la oportunidad de ganar acceso al mismo. Es direccionada a los nodos en estado de reposo que tienen paquetes que enviar, con la finalidad de

convertirlos en nodos activos o nodos en reposo, pero con tráfico en ráfagas. El nodo que gane el acceso al canal mediante el algoritmo de *back-off*, es el que tiene derecho a transmitir.

- **Tramas de distribución**, usadas para dar acceso al canal a aquellos nodos que se encuentran en la lista de distribución. Indica el orden de transmisión de los nodos, la sesión permitida para cada uno y el tiempo en el canal asignado. El nodo maestro, puede configurar esta lista de distribución con un número máximo de cinco nodos.

1.3.1.2 Tramas de estimación de canal

Son enviadas periódicamente por cada nodo, de esta forma se puede informar acerca de la capacidad del canal y ajustar el número de bits por portadora que se está utilizando en un canal determinado.

1.3.2 MODELO DE REFERENCIA

El modelo descrito a continuación, se basa en la especificación OPERA la cual se remite al grupo de trabajo de la IEEE P1901. Se describen los distintos niveles del *stack* de protocolos para PLC, tal como se encuentra en la figura 1.9.

A continuación, se presenta un resumen de las características en las distintas capas:

Capa Física, define la transmisión de datos físicos en el medio.

- Velocidad de hasta 205 Mbps, utilizando modulación OFDM.
- Eficiencia espectral de 8 bits/s/Hz
- Ancho de banda flexible con 1536 portadoras activas.
- Se puede utilizar división por tiempo y por frecuencia en los repetidores, para garantizar una mayor cobertura.
- Modos robustos que permiten que los canales más complicados, sean confiables.
- Tecnología que permite una coexistencia independiente para permitir la coexistencia entre la red de acceso y las aplicaciones *In-home*.

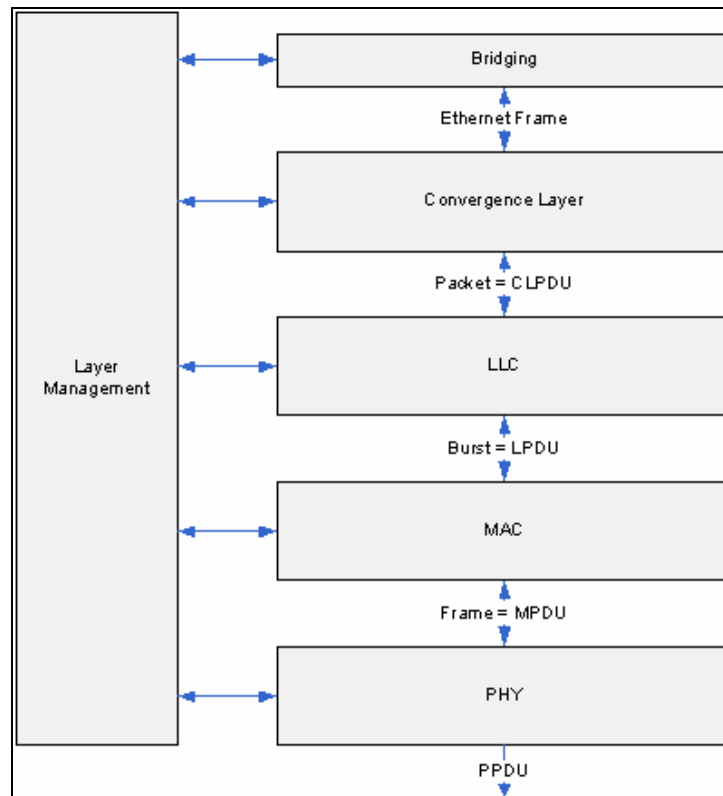


Figura 1.9 Modelo de referencia PLC ^[22]

Capa MAC, define cómo los nodos son destinados a tener una oportunidad para la transmisión.

- Arquitectura maestro-esclavo, *Head End* – CPE's.
- Mecanismo de paso de testigo, el cual permite la adaptación a diferentes topologías y tipos de tráfico.
- Transmisión punto-multipunto.
- Capacidad de reuso espacial.

Capa LLC, define cómo se mejora la comunicación entre los nodos para lograr que esté libre de errores.

- Selectividad en los acuses de recibo ACK's.

Capa de convergencia, define cómo los estándares, como por ejemplo el IEEE 802.3 *Ethernet*, son adaptados para que OPERA los maneje, y cómo se realiza el encapsulamiento para lograr este objetivo.

Bridging, en sí no es una capa del modelo PLC, solamente se hace referencia al mismo, por ser un mecanismo para el soporte de redes virtuales VLAN IEEE 802.1Q y de IEEE 802.1 D.

Capa de administración, define cómo las capas se encuentran adecuadas para permitir el cambio de las condiciones de red.

- Facilidad en la administración de red mediante SNMP y MIB.

1.3.2.1 Capa Física

Se basa en la modulación OFDM, ya que puede adaptarse en presencia de canales con frecuencias selectivas, presenta robustez ante señales de ruido impulsivo y tiene capacidad de mejorar la eficiencia del espectro.

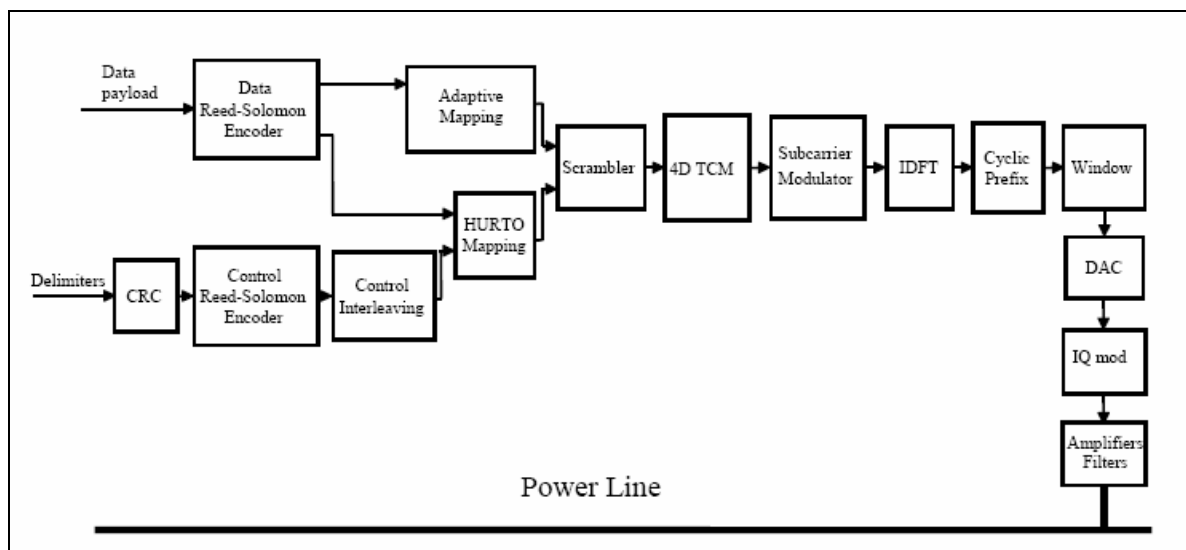


Figura 1.10 Transmisión en la Capa Física [22]

Se asegura un alto rendimiento en los peores casos, ya que como se muestra en la figura 1.10, se cuenta con la concatenación de cuatro modulaciones de *Trellis* (TCM, *Trellis Coded Modulation*) y adicionalmente con la utilización de la

corrección de errores *Reed-Solomon*. Esto se complementa por el *scrambling* e *interleaving* de las ráfagas transmitidas, con lo que se logra un mecanismo de transmisión robusto, mediante una implementación menos compleja.

1.3.2.1.1 Capacidades de ancho de banda

La capa física permite una velocidad de transmisión de 200 Mbps o un poco mayor. Esta capa tiene características configurables en cuanto a las bandas de frecuencia, las cuales tienen anchos de banda de 10, 20 o 30 MHz. La flexibilidad en cuanto a estas características, ayuda a que el sistema soporte la división por frecuencia y mecanismos de coexistencia. A los 30 MHz, el sistema puede alcanzar una velocidad de 204.94 Mbps.

1.3.2.1.2 Adaptive bit loading

Los parámetros de modulación para cada par (transmisor-receptor), son adaptados en tiempo real, esto depende de la calidad del canal para cada subportadora. La relación señal a ruido es medida para cada subportadora, y mediante la modulación, se mejora la velocidad de transmisión manteniendo a la vez el BER (*Bit Error Rate*) deseado.

En la figura 1.11, la línea de color negro representa la relación señal a ruido SNR y la línea de color azul, a la modulación.

1.3.2.1.3 Símbolos OFDM

Los símbolos OFDM operan con 1536 sub-portadoras, con una densidad de modulación de 1 a 10 *bits*, aplicada independientemente en cada una de las sub-portadoras. Una razón para tener este número de sub-portadoras, es mejorar la precisión cuando se estime la relación señal a ruido y al momento de realizar la modulación de cada portadora.

1.3.2.1.4 Forward Error Correction (FEC)

La capa física provee dos niveles de confianza:

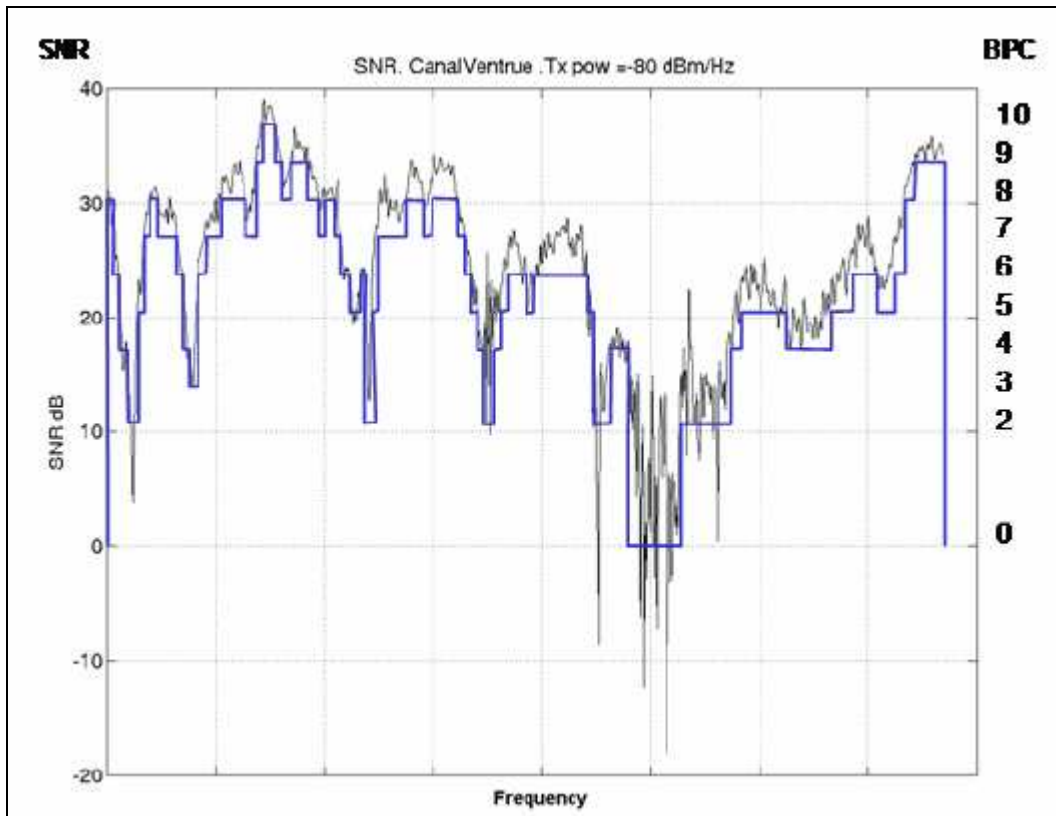


Figura 1.11 Relación señal a ruido y modulación en un canal *powerline* ^[22]

El más confiable, el **modo HURTO**, inclinado hacia la información considerada crítica para la correcta operación del sistema, como información de los *headers* y de control. Con el fin de mejorar la fiabilidad en la transmisión de los datos, se utiliza *interleaving* y redundancia de frecuencias, con una modulación robusta, así se asegura la demodulación en el lado del receptor, aún en las peores condiciones.

La información que se considera como normal, utiliza un **mapeo adaptativo** que le permite ajustarse a las características del canal, con ello llegar a obtener el mayor rendimiento posible. La adaptación al canal incluye los *bits* por portadora que pueden ser usados para lograr un cierto BER, además, una configuración dinámica *Reed-Solomon* para cada ráfaga transmitida, dependiendo del estado del canal.

Una vez que los símbolos OFDM han sido construidos, se realiza una modulación de *Trellis* para incrementar la confiabilidad de la señal transmitida.

1.3.2.1.5 Transmisión de símbolos

Primero, cada subportadora es modulada independientemente y luego, la señal es procesada en el dominio de la frecuencia por un bloque IFFT (*Inverse Fast Fourier Transformation*), después, se añade un ciclo de prefijo y por último se aplica la ventana de transmisión.

El bloque final representa la modulación IQ, la cual permite ubicar la banda de transmisión a diferentes frecuencias; al que le siguen el *Front End* analógico y la unidad acopladora que inyecta la señal OFDM al canal *powerline*.

1.3.2.2 Capa MAC

1.3.2.2.1 División por tiempo

La tecnología de OPERA utiliza la multiplexación por división dinámica de tiempo (*Advanced Dynamic Time Division Multiplexing* ADTDM), lo que optimiza la distribución cuando se transmite información como Audio/Video, haciéndolo con un alto rendimiento, reservando ancho de banda, priorizando el tráfico y la calidad de servicio.

El control de acceso al medio con ADTDM, ayuda a tener un acceso libre de colisiones, el cual puede ser ajustado a diferentes tipos de aplicaciones como por ejemplo datos, VoIP, video, entre otras.

1.3.2.2.2 Acceso al medio CSMA

En clases de servicios como el AMR o servicios a bajas velocidades de transmisión, el nodo se encuentra generalmente inactivo y transmite paquetes de datos en ráfagas sin ninguna latencia en particular o sin necesidad de fijar una velocidad de transmisión; por ello, se utiliza ADTDM con el acceso CSMA, ambas trabajando en paralelo para proveer a estos nodos un mecanismo basado en colisiones y el mecanismo de *back-off* para ganar el acceso al canal. Los nodos para este esquema son:

- **Nodos no registrados** en la red que desean entrar a la misma.

- **Nodos inactivos**, que tienen paquetes pendientes por transmitir, por ejemplo, paquetes para administración con requerimiento de recursos, tráfico en ráfagas que necesitan una menor prioridad en el tráfico.

Con la finalidad de garantizar el acceso al canal, todos los nodos HE/TDR en la red, envían periódicamente tramas CSMA para permitir períodos de contención.

1.3.2.2.3 Mecanismo de reuso espacial

Existen dos mecanismos complementarios para improvisar el acceso al canal en topologías tipo árbol, permitiendo el reuso espacial del testigo:

- **Testigo no retornable:** transmitido desde el maestro a varios esclavos (hasta 8, generalmente TDR's). Indica cuáles son los nodos de destino y cuánto tiempo serán permitidos para transmitir; este tiempo se lo conoce como validación del testigo y es expresado como un número de símbolos.
- **Testigo de distribución:** asigna al canal una lista de nodos indicando el orden de transmisión, la sesión permitida para transmitir y el tiempo de canal asignado para cada uno de ellos.

1.3.2.2.4 Arbitraje de canal y testigos

OPERA utiliza un mecanismo de control de acceso al medio con las siguientes ventajas:

- Tráfico con QoS garantizada, las colisiones son completamente evitadas.
- El *Head-End* tiene el control sobre cuánto tiempo cada nodo tiene el canal.
- Existencia de un límite superior acerca de cuánto tiempo le tomará a un nodo dado, ganar acceso al canal.
- Los períodos de contención CSMA son usados para tráfico en ráfagas y/o no predecible.
- No se desperdicia ancho de banda si un nodo dado no tiene datos a transmitir.

La figura 1.12, muestra una **red con visibilidad completa**, es decir que los nodos A, B y C pueden comunicarse directamente.

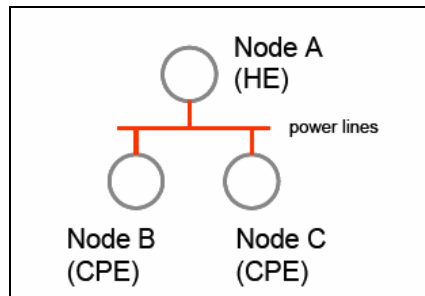


Figura 1.12 Red con visibilidad completa ^[22]

En la figura 1.13, se muestra una **red con visibilidad incompleta**. Mientras los nodos A y B pueden comunicarse directamente, así como entre los nodos B y C, la atenuación entre A y C hace que la comunicación entre estos nodos sea solamente posible mediante la repetición de la señal por el nodo B.

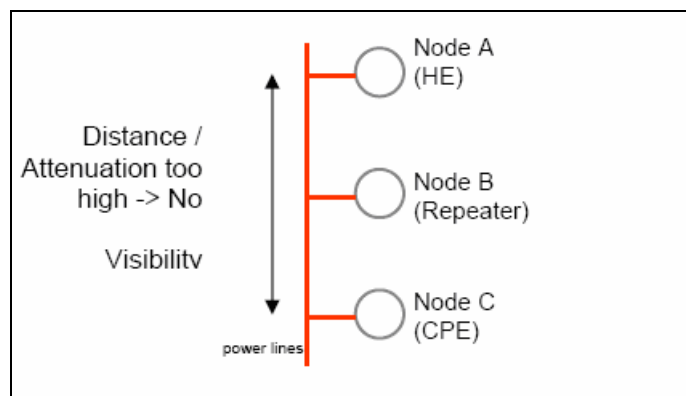


Figura 1.13 Red con visibilidad incompleta ^[22]

1.3.2.2.5 Mecanismos auxiliares de control de acceso al medio

El protocolo MAC incluye un conjunto de mecanismos auxiliares que garantizan la correcta operación del mismo:

- Sub-protocolo para manejar nuevos nodos que se van añadiendo a la red.
- Sub-protocolo para descubrimiento automático de la topología de la red, lo que permite a los nodos con visibilidad incompleta comunicarse con otros nodos, fuera de su alcance mediante el uso de repetidores.

- Sub-protocolo para el aprendizaje de cuáles son los *hosts*/dispositivos alcanzados a través de cada dispositivo PLC, basado en el modelo de aprendizaje IEEE 802.1 d.
- Sub-protocolo para manejar los nodos que han sido desconectados de la red.
- Sub-protocolo para la recuperación del testigo, en caso de que el dueño del canal haya sido un nodo que se acaba de desconectar.

1.3.2.3 Capa LLC

Esta capa asegura la transmisión de datos libre de errores entre pares de nodos PLC. Esto se logra en la parte de transmisión, mediante la codificación del *payload* de datos, proporcionada por la capa de convergencia dentro de secuencias de claves de acceso, denominadas ráfagas, las cuales son transmitidas entre pares de nodos utilizando un esquema opcional de acuse de recibo.

1.3.2.3.1 Estructura de la ráfaga

Está compuesta por una cabecera delimitadora seguida de un *payload* de datos, incluyendo uno o varios paquetes fragmentados y/o completos. Una cabecera que no tiene un *payload* después de ella, es usada como acuse de recibo (ACK) cuando no hay datos a ser transmitidos.

La figura 1.14, muestra el encapsulamiento de una trama *Ethernet* 802.3 realizado por OPERA, en el caso de que el paquete no se encuentre fragmentado en varias ráfagas:

1. El paquete es dividido para llenar las secciones de *payload* de las claves de acceso, a las cuales se añadirán datos de redundancia *Reed-Solomon*.
2. La cabecera es añadida a cada *codeword*, que contiene información que servirá para unir todos los *codewords* en la trama *Ethernet* original.
3. Grupos de *codewords* son concatenados en una ráfaga.

1.3.2.3.2 Esquema de acuse de recibo

OPERA utiliza el esquema de ventana corrediza y retransmisión selectiva, para administrar una transmisión confiable punto a punto. Cada paquete *Ethernet* tiene un número de identificación. Durante la operación normal del sistema, el receptor envía acuses de recibo para confirmar la correcta recepción de paquetes y pedir la retransmisión de los paquetes no recibidos o incorrectos.

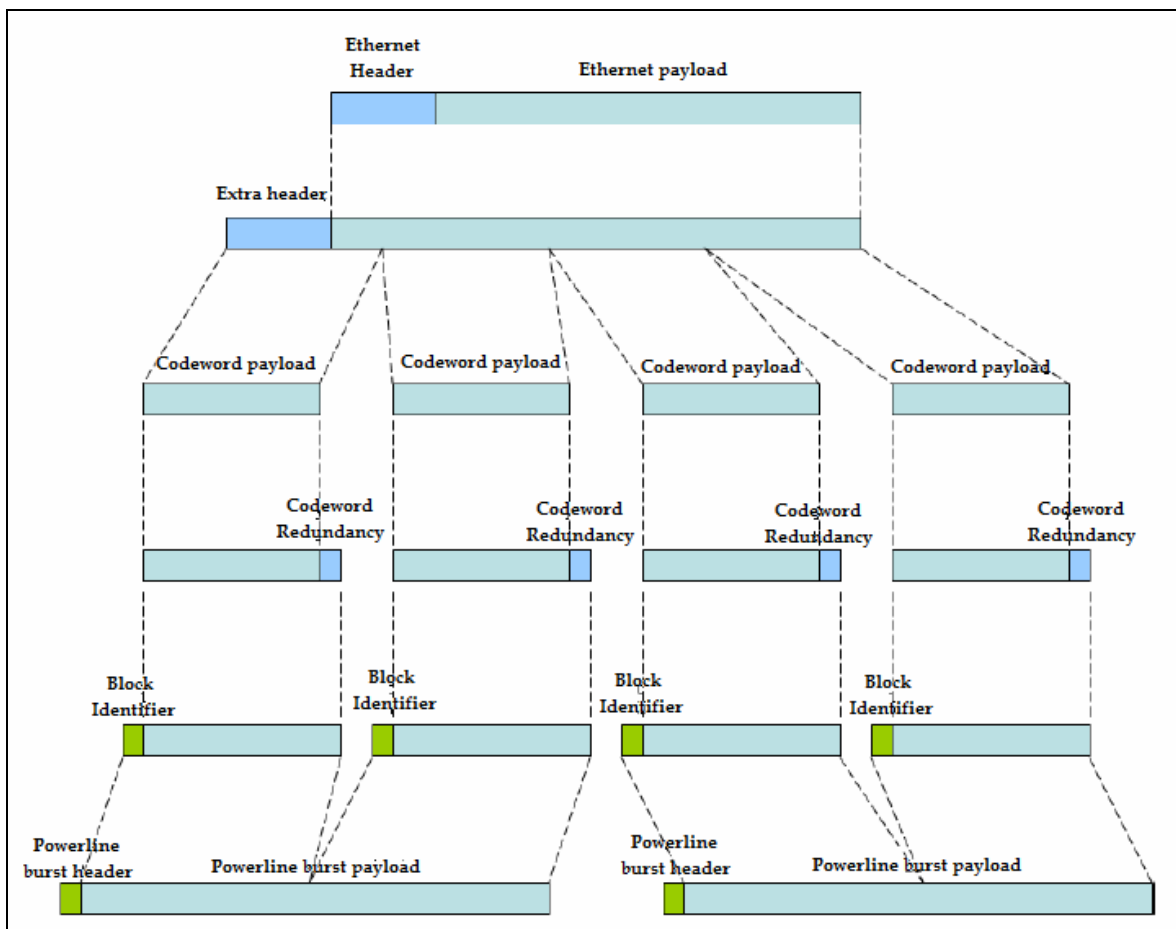


Figura 1.14 División de la trama *Ethernet* en ráfagas PLC ^[8]

La figura 1.15 muestra cómo trabaja el protocolo ACK:

1. El nodo de la izquierda transmite una serie de paquetes, incluyendo una ráfaga que contiene los números de identificación: 1, 2 y 3, al nodo derecho. El nodo que realizó la transmisión guarda estos paquetes en el *buffer* de transmisión, en caso de que necesiten ser retransmitidos.
2. El ruido de canal afecta al paquete 3, por lo que solamente los paquetes 1 y 2 son recibidos correctamente.

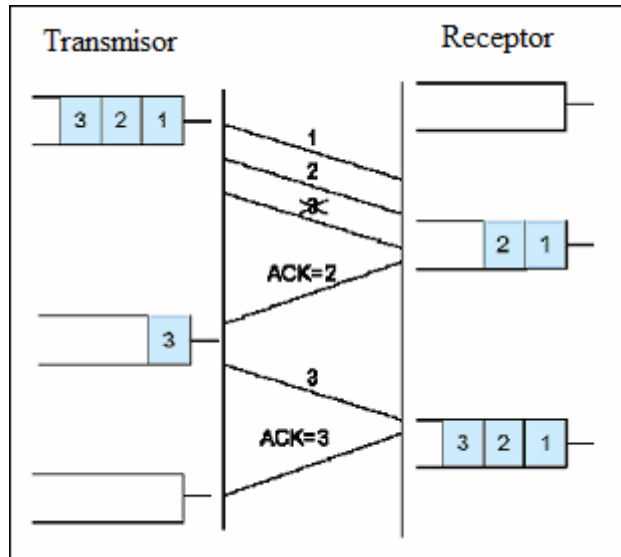


Figura 1.15 Esquema de retransmisión de paquetes ^[22]

3. El nodo de la derecha envía un ACK hacia el nodo de la izquierda, diciéndole que los paquetes 1 y 2 llegaron, pero pidiendo la retransmisión del paquete 3.
4. El nodo de la izquierda quita a los paquetes 1 y 2 del *buffer* de transmisión y reenvía el paquete 3.
5. El paquete 3 es recibido correctamente, entonces, el nodo de la derecha envía un nuevo mensaje para informar que el paquete 3 ha sido recibido correctamente.
6. Al recibir el ACK, el nodo de la izquierda quita el paquete 3 del *buffer* de transmisión.

Las ventajas de este protocolo son:

- Un grupo de varios paquetes puede ser enviado a un nodo dado, sin esperar por un ACK específico. Esto permite la transmisión de grandes tramas lo cual incrementa la eficiencia. Los paquetes pueden ser transmitidos sin recibir los acuses de recibo mientras haya lugar en la ventana de transmisión.
- La pérdida de paquetes es oculta a la capa aplicación, la cual solamente percibe un canal sin pérdidas.

- La ventana corrediza, permite el control de la secuencia de los paquetes recibidos, ordena los paquetes y elimina los que estén duplicados.
- La retransmisión selectiva, envía ACK para informar la correcta recepción de los paquetes y pide la retransmisión de aquellos que no llegaron o que son incorrectos.

1.3.2.4 Capa de convergencia

Su función es encapsular los paquetes que provienen de aplicaciones externas, por ejemplo, las tramas *Ethernet* 802.3, antes de pasarlas a la capa LLC para la transmisión.

La trama *Ethernet* es encapsulada en un paquete *powerline*, el cual se encuentra formado por la trama original *Ethernet* más una cabecera *powerline*, que incluye información como el nivel de prioridad, control de transmisión, etc.

1.3.2.5 Capa de administración

1.3.2.5.1 Protocolos de control

OPERA define un formato específico para el control del intercambio de información entre los nodos que utilizan encapsulamiento SNAP (*SubNetwork Access Protocol*), para tramas *Ethernet*. Los principales protocolos de control son:

- **Protocolo *bit-loading***, usado para intercambiar tablas *bit-loading* con el fin de adaptar las características de transmisión, al canal.
- **Protocolo de acceso**, para aceptar nuevos nodos en la red.
- **Protocolo de solución de puertos**, intercambia información de direccionamiento entre los nodos.
- **Protocolo de descubrimiento de *clusters***, permite descubrir nodos que pueden transmitir simultáneamente sin interferencia de otro.
- **Protocolo de control de admisión de conexiones (*Connection Admission Control CAC*)**, reserva recursos para flujo de datos.

1.3.2.5.2 Protocolos Spanning Tree

Estos protocolos son configurados por el operador, incluyendo el algoritmo *Rapid Spanning Tree*, especialmente optimizado para redes PLC, ya que toma en cuenta no sólo la estructura de la red, sino también los parámetros de la capa física con el fin de obtener los mejores caminos en la red.

1.4 CALIDAD DE SERVICIO

Muchas de las aplicaciones de datos, audio y video, tienen requerimientos específicos en cuanto a ancho de banda, latencia, *jitter* y pérdida de paquetes. La capa MAC con soporte de QoS, contiene funcionalidad para cumplir con los diferentes servicios y satisfacer los niveles de acuerdo de servicio (*Service Level Agreement*, SLA) de cada usuario.

El principal objetivo de la calidad de servicio es garantizar un nivel de ancho de banda y latencia para diferentes usuarios, dependiendo de los servicios que éstos deseen y del tipo de servicio a ser transmitido.

Según OPERA, existen ocho clases de servicios con cuatro diferentes latencias. El tráfico de llegada pasa a través de un módulo denominado Clasificador de Tráfico, el cual prioriza los paquetes basándose en simples reglas.

En la tabla 1.5 se puede observar que son cuatro los parámetros necesarios para describir la clase de servicio:

- **Prioridad:** los valores se encuentran entre 0 y 7, siendo 0 el de menor prioridad. Si se presenta una falta de recursos, los paquetes de menor prioridad son los que van a ser eliminados. Cuando se tienen datos con distintas prioridades direccionados al mismo destino, los de mayor prioridad serán transmitidos primero.
- **Tiempo máximo de acceso a la sub-celda:** este tiempo corresponde a la máxima duración del flujo para el acceso al canal en el nivel de subcelda. Se considera un parámetro de latencia a ser configurado dentro de cualquier maestro de una celda PLC.

SLA	Prioridad	Recursos reservados	Latencia (ms)
7	7	Mejor esfuerzo	80
6	5	CBR	10
5	4	VBR	20
4	4	VBR	40
3	4	VBR	40
2	2	VBR	40
1	1	Mejor esfuerzo	80
0	0	Mejor esfuerzo	80

Tabla 1.5 Clases de servicio ^[22]

- **Reservación de recursos:** pueden ser:
 - **Del mejor esfuerzo**, no existen garantías en los recursos del nodo y del tiempo.
 - **ABR (Available Bit Rate)**, recursos de nodo y tiempo para los cuales se tiene un mínimo de ancho de banda garantizado.
 - **VBR (Variable Bit Rate)**, recursos de nodo y tiempo para los cuales se garantiza un promedio de ancho de banda con una variación máxima.
 - **CBR (Constant Bit Rate)**, para dar garantías individuales de los recursos de nodo y tiempo, estos recursos no son compartidos; se tiene un ancho de banda garantizado.
- **Fiabilidad del servicio**, define el modo en que el acuse de recibo es habilitado dentro de cada clase de servicio.

1.4.1 PRIORIZACIÓN DE PAQUETES

Con el fin de manejar diferentes servicios y aplicaciones adecuadamente, los dispositivos necesitan identificar la clase de servicio a la que cada trama *Ethernet* corresponde. El mecanismo para lograrlo se denomina módulo clasificador de servicio.

El módulo clasificador de servicio, es el responsable de determinar el nivel de prioridad de cada trama de acuerdo a un conjunto de reglas establecidas por el fabricante del dispositivo, el proveedor del servicio o el usuario final.

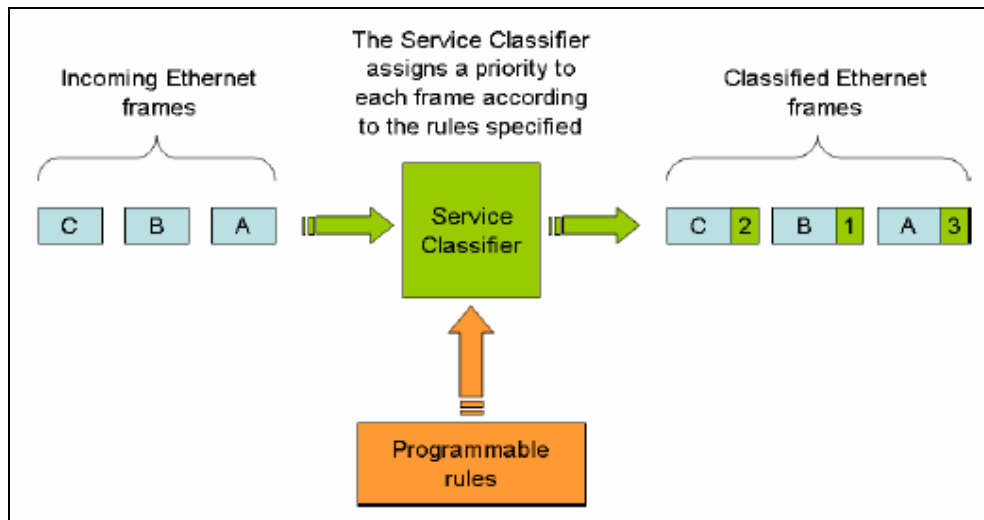


Figura 1.16 Módulo Clasificador de servicio ^[22]

La figura 1.16 muestra cómo funciona esta entidad:

- Las tramas que llegan son inspeccionadas una por una, buscando el patrón que el clasificador de servicio puede usar para determinar sus prioridades.
- Una vez que se ha determinado la prioridad, se añade una etiqueta a la trama para luego ser identificada por otras entidades como por ejemplo *buffers* de administración de prioridades.
- El conjunto de reglas programables son por lo general de los siguientes tipos: si el *byte* en *offset AA* de una trama *Ethernet*, es BB, la prioridad del paquete es CC.

Para realizar la administración de latencia, los nodos de infraestructura detectan las prioridades de transmisión y recepción, entonces los mecanismos de calendarización se adaptan al tipo de tráfico y a los SLA's especificados. Por ejemplo, un nodo que transmite tráfico de alta prioridad recibirá un mejor servicio que un nodo que transmite tráfico de baja prioridad.

1.4.2 CONTROL DE ANCHO DE BANDA

Este control asegura que el rendimiento de los nodos sea de un valor específico todo el tiempo. El control de ancho de banda es llevado a cabo en el lado del transmisor, con la finalidad de maximizar la eficiencia del sistema.

En la actualidad existen equipos que permiten realizar la administración de ancho de banda, incluso los propios dispositivos de interconexión como *switches* que tienen características de realizar este control de ancho de banda, por cada uno de sus puertos o dispositivos propiamente creados para realizar este trabajo.

Estos últimos se denominan controladores de ancho de banda, que ayudan a su administración por medio de *pipes* y políticas diseñadas por el administrador de la red, para asegurar que aplicaciones no deseadas saturen la red.

Como un ejemplo de equipos controladores de ancho de banda, se tiene al *NetEnforcer*, caracterizado por ser un dispositivo de capa aplicación, que permite enlazar las políticas de negocio con acciones específicas en la red.

1.4.3 ADMINISTRACIÓN DE CONGESTIÓN

Se pueden aplicar diferentes políticas a este bloque para adaptar al sistema a los diferentes tipos de tráfico. Estas políticas son:

- **Administración imparcial de congestión**, en caso de congestión, el rendimiento se reduce de manera global.
- **Administración prioritaria de congestión**, en caso de congestión:
 - El rendimiento se reduce primero para el flujo de baja prioridad.
 - El flujo de alta prioridad no se ve afectado
- **Administración de congestión basada en calidad de servicio**, en caso de congestión:
 - El rendimiento se reduce primero para el tráfico de menor prioridad.
 - Los parámetros de sesión de calidad, son usados para priorizar el flujo con la misma clase de servicio.

1.4.4 PERFILES DE USUARIO

Para definir el perfil de calidad de servicio de diferentes conexiones en la red PLC, se utiliza el concepto de perfiles de usuario, que son archivos especiales para especificar las características de conexiones en términos de parámetros, como

anchos de banda máximo para transmisión y recepción, permitiendo tipos de tráfico y especificando tipos de servicio. Estos perfiles se encuentran almacenados en un servidor central dentro de la red.

1.5 SEGURIDAD

Como cualquier medio de transmisión, la red eléctrica también presenta el problema de la seguridad de la información.

El propio *hardware* para la implementación física de la tecnología PLC, incluye mecanismos de encriptación, de tal forma que todos los paquetes son encriptados antes de su transmisión a través de la red eléctrica.

La especificación OPERA, incluye una estructura de seguridad basada en la encriptación AES-128 CCM y un mecanismo de integridad, que garantiza la privacidad en cada comunicación entre los nodos. Una llave particular puede ser seleccionada por cada *link* de comunicación de un nodo específico, incrementando la protección del intercambio de datos. Además, cada trama puede ser codificada utilizando subclaves, que cambian cada cierto tiempo (dado en microsegundos), haciendo más dificultoso que un intruso vea la información. La distribución de llaves para la encriptación utiliza el estándar IEEE 802.1 X.

La autenticación de cada nodo puede ser realizada por un servidor RADIUS, que incluye la lista de direcciones MAC de los nodos permitidos en la red.

Por otro lado, UPA implementa dos mecanismos para asegurar la privacidad y seguridad:

- **Aislamiento de redes lógicas**, utilizando el concepto de identificador de red.
- **Encriptación de datos**, usando un esquema de encriptación híbrido 3DES/DES.

Ambos mecanismos son independientes y pueden utilizarse juntos o por separado.

1.5.1 IDENTIFICADOR DE RED Y REDES VECINAS

El identificador de red es similar a la funcionalidad del SSID (*Service Set Identifier*) de 802.11.

Se implementa además un filtro *Ethernet*, previniendo:

- Que las tramas *Ethernet* de un usuario se escapen hacia otro.
- Que las tramas de una subred se escapen hacia otra.

1.5.2 ENCRIPCIÓN 3DES

La especificación de UPA se basa en la encriptación 3DES de 168-bits, lo que garantiza la privacidad de comunicaciones entre los dispositivos.

Cada dispositivo debe soportar varias claves de encriptación, para poder comunicarse con los demás usando diferentes llaves.

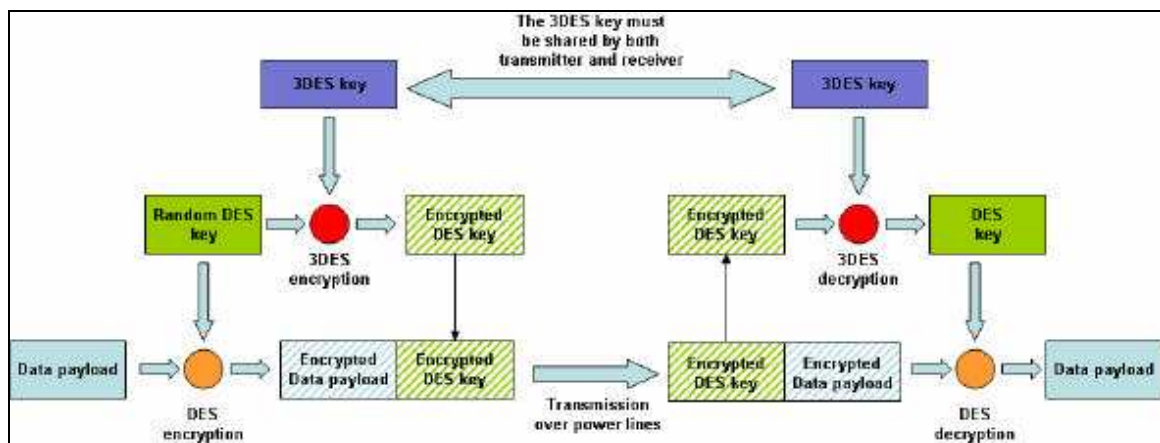


Figura 1.17 Encriptación basada en 3DES/DES [36]

La figura 1.17, muestra la arquitectura de encriptación basada en el híbrido 3DES/DES; el mecanismo trabaja de la siguiente manera:

1. El transmisor y el receptor se ponen de acuerdo con manejar llaves de encriptación para 3DES de 168 bits.
2. Una vez que una trama necesita ser transmitida, una nueva llave es creada de forma randómica para encriptación DES de 56 bits.
3. La trama de datos es codificada con la llave DES.
4. La llave randómica DES es codificada con una llave de encriptación 3DES, y añadida a la trama encriptada.
5. Tanto la trama como la llave codificadas son transmitidas a través del canal *powerline*.
6. El receptor obtiene la llave DES y la descifra usando la llave 3DES.
7. El receptor usa la llave DES para descifrar la trama codificada.

Sus ventajas son:

- La llave 3DES nunca es transmitida a través del canal *powerline*.
- La llave randómica DES es generada para cada trama de datos, lo que elimina el riesgo de que un intruso rompa el código.
- Al utilizar DES para la encriptación de los datos, se reduce el procesamiento ya que es un proceso de encriptación simple.

1.6 TECNOLOGÍA DE TRANSMISIÓN

Los sistemas de suministro eléctrico consisten en tres niveles de red, como se muestra en la figura 1.18, que pueden ser usados como un medio de transmisión para la realización de redes con tecnología PLC.

- **Redes de alto voltaje** (110-380 kV), conectan estaciones que suministran el servicio a grandes regiones o a una gran cantidad de clientes. Abarcan por lo general largas distancias.
- **Redes de medio voltaje** (10 – 30 kV), dan suministro a grandes áreas, ciudades o industrias. Abarcan distancias relativamente pequeñas en comparación con las redes de alto voltaje.

- **Redes de bajo voltaje** (230/400 V, 110 V), dan suministro a los usuarios que corresponden a clientes individuales. Su longitud es usualmente de algunos cientos de metros.

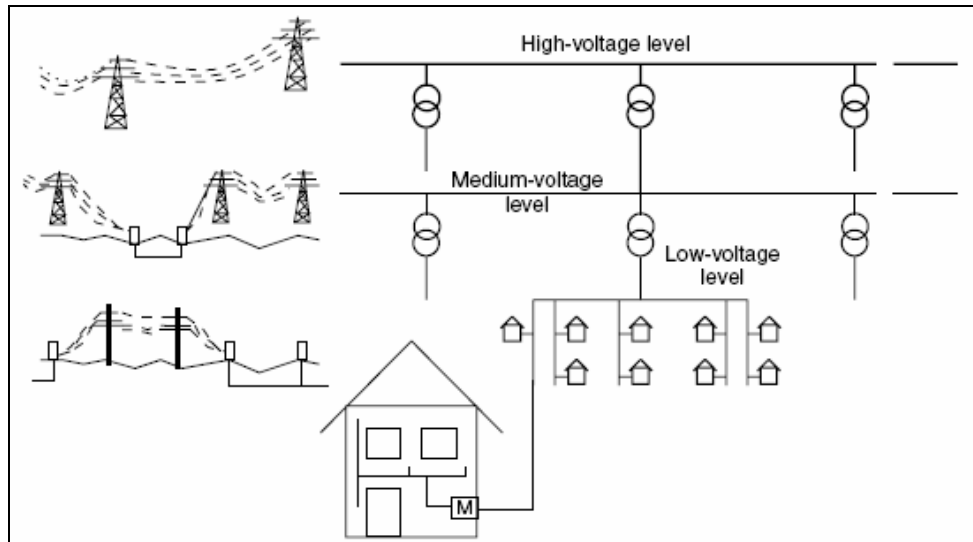


Figura 1.18 Niveles de red de voltaje ^[1]

La tecnología PLC utiliza dos portadoras:

- **Portadora Física:** encargada de la transmisión.
- **Portadora Virtual:** señal de sincronización que permite conocer si el medio se encuentra ocupado.

La trama de transmisión utilizada en esta tecnología, consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final, como se muestra en la figura 1.19.

El núcleo contiene el *payload* conformado por una cabecera, el cuerpo de la trama con su respectivo relleno (B-PAD) y la verificación de errores (*Frame Check Sequence*). En el delimitador final, se destaca el segmento EFG (*End-of-Frame Gap*) que son 1,5 μ s utilizados para procesamiento e indicar el fin del *payload*.

La información dentro del campo de control de cada delimitador, permite al receptor determinar cuánto tiempo va a estar el canal ocupado para la transmisión, inclusive si el receptor pierde la sincronización de la trama.

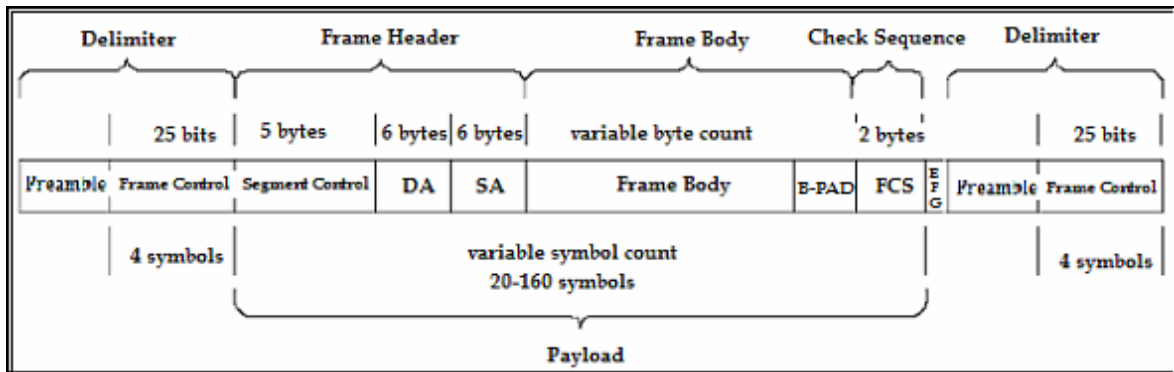


Figura 1.19 Trama de transmisión PLC ^[31]

Se implementa una función de segmentación de las tramas, de tal forma que, se segmentan aquellas que excedan determinada duración y que pudieran hacer que tramas de alta prioridad, se vean obligadas a esperar en cola hasta que las de menor importancia y elevada longitud, se terminaran de transmitir; con lo que las tramas de alta prioridad, pueden enviarse entre tramas segmentadas de menor importancia.

1.7 COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN

El presente proyecto de titulación, pretende aprovechar las ventajas de la tecnología *Power Line Communications*, con el fin de considerarlo como una alternativa a los sistemas de cableado estructurado; por lo que resulta necesario el conocimiento de las ventajas y desventajas de esta tecnología.

1.7.1 VENTAJAS

No más cableado adicional

- No hay la necesidad de implementar un cableado adicional, aprovechando el ya existente, es decir, las instalaciones eléctricas.
- No afecta al usuario en cuanto a cambios en la infraestructura.

Gran ubicuidad

- Permite un despliegue de la tecnología ya que la red se encuentra implementada, asegurando una instalación rápida.
- Cualquier enchufe se convierte en un punto de acceso único para voz y datos.

Estabilidad frente a interferencias

- Estabilidad frente a interferencias, ya que utiliza bandas superiores a los 50 – 60 Hz, lo que impide algún tipo de interferencia con el suministro energético.

Convergencia

- Permite la convergencia de servicios con la misma plataforma tecnológica IP; un único módem permite el acceso a Internet, telefonía, domótica, televisión interactiva, seguridad, etc.

Movilidad

- Como tecnología *In-home* o *indoor*, aporta movilidad dentro de los edificios.
- A diferencia de las tecnologías inalámbricas, no se atenúa por obstáculos como por ejemplo, las paredes.

VoIP

- Presenta una buena calidad para el servicio de voz sobre IP.

Como tecnología de acceso

- Deja a un lado la necesidad de una línea telefónica.
- Se pueden llegar a velocidades muy por encima de las logradas mediante una conexión *dial-up*.
- Presenta mejores prestaciones, mayores velocidades y acceso simétrico.
- La gran capacidad de ancho de banda que permite PLC como red de acceso, ayudará a que se puedan contar con servicios multimedia como radio y televisión digitales, audio y video a la carta, videoconferencia, teleasistencias y mejores sistemas de seguridad.
- La tabla 1.6, muestra una comparación entre las distintas tecnologías para red de acceso.

1.7.2 DESVENTAJAS

Mal estado de instalaciones eléctricas

Instalaciones eléctricas en mal estado pueden deteriorar el desempeño de la tecnología PLC, ya que cuando una línea se encuentra llena de empalmes o no está debidamente aislada, puede malograr sus características físicas y eléctricas, causando que la señal no viaje de manera confiable a todos los conectores.

TECNOLOGÍA	PLC	FIBRA ÓPTICA	CABLE	WIRELESS LOCAL LOOP	XDSL	SATELLITE VSAT
ANCHO DE BANDA / FLUJO	200 Mbps / Simétrico-Asimétrico	1,000 Mbps / Simétrico	20 Mbps / Asimétrico	100 Mbps / Asimétrico	2 Mbps / Asimétrico	1 Mbps / AsimétricoResidencial
APLICACIÓN TÍPICA	Residencial / Comercial / In Home	Comercial	Residencial	Comercial	Residencial / Comercial	Residencial / Comercial
VENTAJAS	Omnipresencia Bajo Costo	Capacidad / mas Fiable	Bajo Costo / Múltiples servicios	Omnipresencia	Bajos Costos Múltiples Servicios	Omnipresencia
PRINCIPALES DESVENTAJAS	Tecnología en desarrollo / Sin Estándares	Alto Costo / Difícil Instalación	Cobertura / Costo	Costo / Línea de Vista Forzosa	Límite de Cobertura / Distancia	Bajo Ancho Banda / Alto costo CPE

Tabla 1.6 Comparación entre distintas tecnologías de acceso ^[44]

Ruido

La red eléctrica es muy susceptible al ruido.

Interferencia con ondas de radio

El cable eléctrico genera a su alrededor ondas electromagnéticas que pueden interferir con las frecuencias de otras ondas de radio. Existe un problema de radiación por ruido hacia otras señales en la misma banda de frecuencias, por lo que será necesario aplicar algoritmos de cifrado.

Características variables

Las líneas eléctricas no están sometidas a una carga constante y controlada, ya que pueden existir cargas conectadas a esa línea que pueden ser desconectadas y nuevamente conectadas en cualquier momento. Por ejemplo, lámparas que se encienden y apagan, esto hace que la línea vaya variando sus características de funcionamiento a lo largo del tiempo, cosa que no sucede con una línea *Ethernet* que tiene características fijas e invariables en el tiempo.

Las desventajas mostradas, se pretenden solucionar por parte de las empresas fabricantes de equipos, mediante mecanismos que posibiliten la transmisión de

datos a través de un medio con características variables, esto se consigue mediante la división ortogonal y la multiplexación de frecuencias.

1.7.3 EJEMPLO DE COMPARACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS *IN-HOME*

En el ejemplo mostrado en la figura 1.20, se realiza la comparación de las tecnologías PLC (*HomePlug* 1.0 y *HomePlug* AV) y WLAN, en dos departamentos con características distintas.

- **Departamento A (Izquierda):** construido en los 60's, paredes de concreto reforzadas con acero, instalaciones eléctricas en mal estado; características que disminuyen la eficiencia de las tecnologías PLC y WLAN.
- **Departamento B (Derecha):** construcción antigua con instalaciones eléctricas actualizadas.

Los resultados se pueden observar en las tablas 1.7 y 1.8, correspondientes a los departamentos A y B.

Departamento A		
Tecnología	Velocidad teórica	Velocidad experimentada
	Mbps	Mbps
WLAN 802.11g	54	8.5
<i>HomePlug</i> 1.0	85	19.6
<i>HomePlug</i> AV	200	40.3

Tabla 1.7 Velocidades teóricas y experimentales para el Departamento A ^[12]

Departamento B		
Tecnología	Velocidad teórica	Velocidad experimentada
	Mbps	Mbps
WLAN 802.11b	11	3.7
WLAN 802.11g	54	10.6
<i>HomePlug</i> 1.0	85	25.9
<i>HomePlug</i> AV	200	52.9

Tabla 1.8 Velocidades teóricas y experimentales para el Departamento B ^[12]

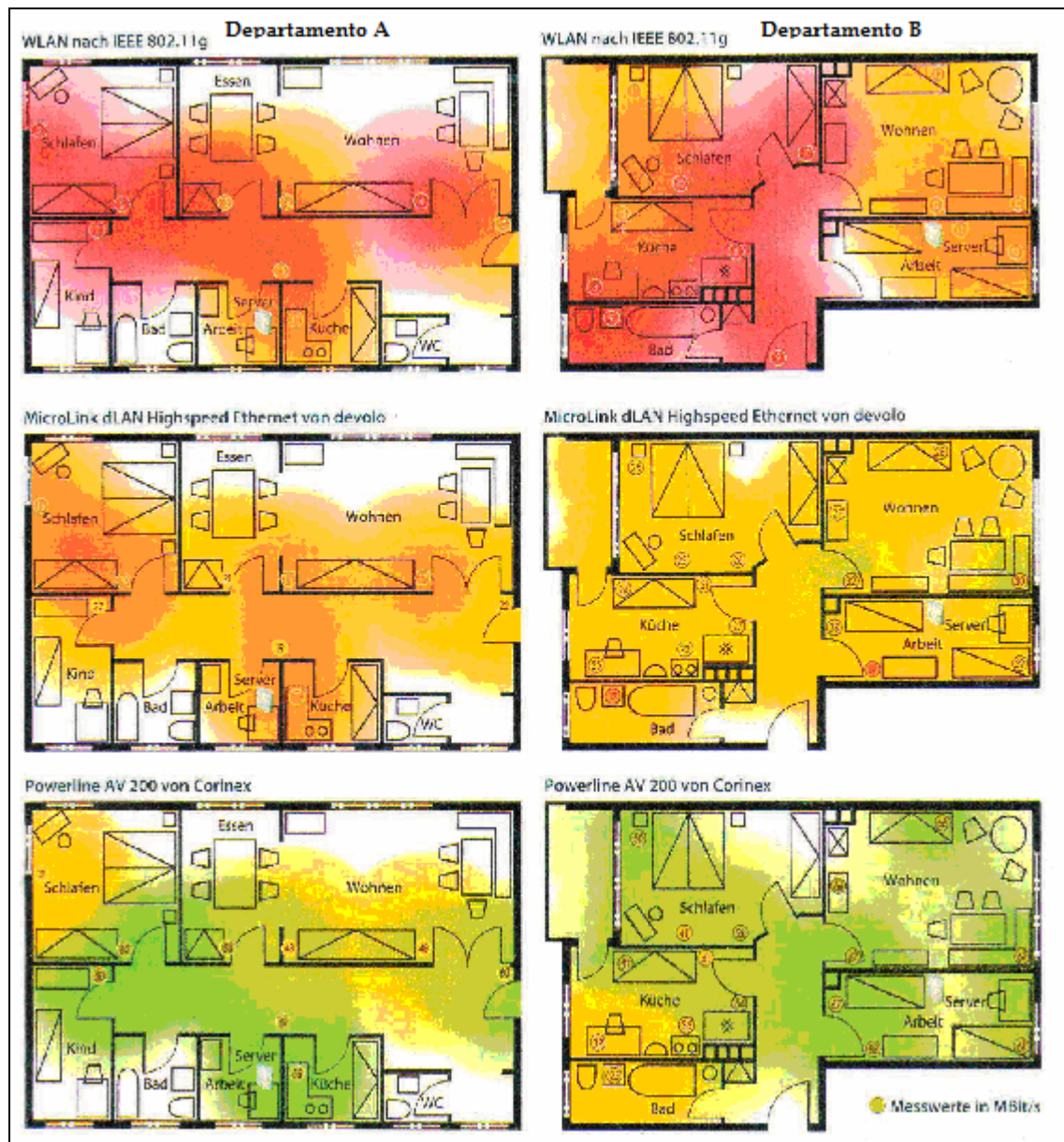


Figura 1.20 Pruebas de tecnologías *In-home* en los departamentos A y B ^[12]

La tecnología WLAN, no parece ser la mejor solución para ambos casos; podría ser necesario conectar la WLAN a una red *Ethernet* para llegar a todos los dispositivos.

Las mayores velocidades se obtuvieron mediante el uso de la tecnología PLC, aunque se podrían lograr mejores resultados, utilizando PLC con *Ethernet*, así el ancho de banda no se vería disminuido cuando todos quieran ingresar a la red simultáneamente.

1.8 UTILIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC EN EL ECUADOR

En nuestro país, ya se transmiten voz y datos sobre cables de la red eléctrica de transporte de alta tensión, básicamente con fines de teleoperación y telecontrol, en su forma analógica y con una baja tasa binaria.

El 26 de febrero de 2007, la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), invita al concurso de “Selección de un Operador para prestar Servicios de Telecomunicaciones Soportados sobre la Infraestructura de la EEQ S.A. utilizando tecnologías BPL (*Broadband over Power Line*) o PLC (*Power Line Communications*)”, con lo cual muestra su interés en el desarrollo de esta tecnología como red de acceso utilizando su red de distribución.

La EEQ en el documento acerca de las bases del concurso presenta su infraestructura de la siguiente manera:

“La infraestructura de la EEQ S.A. utilizable para soportar servicios de telecomunicaciones se indica a continuación:

- a. Conductores eléctricos de las redes de baja y media tensión para el despliegue de la plataforma BPL o PLC de EL OPERADOR.
- b. Postes y canalizaciones que forman parte de las redes de baja y media tensión para el despliegue de la plataforma BPL o PLC, o tecnologías complementarias.
- c. *Backbone* metropolitano de fibra óptica, en la modalidad de fibras oscuras.
- d. Infraestructura civil que podría ser de utilidad para permitir a EL OPERADOR la instalación de puntos de presencia, centros de gestión, nodos, salas de equipos, etc. (subestaciones, agencias, etc.).
- e. Sistema de Gestión para la Comercialización conformado por Agencias de Recaudación, Centros Autorizados de Recaudación - CAR-, Aplicaciones Informáticas, Bases de Datos y un Sistema de Información Geográfico -GIS-, entre otros, que podrían ser de

utilidad para la administración del negocio y la comercialización de servicios.” [9]

Su área de concesión es de 14900 km², correspondientes a los cantones: Quito, Rumiñahui, Mejía, Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de los Bancos, parte de Puerto Quito y de Cayambe en la provincia de Pichincha; Quijos y el Chaco en la Provincia de Napo.

Hasta el 22 de junio de 2007, se tienen preseleccionados para la negociación:

- Consorcio *Telconet – Gilauco – Brightcell*, presentaron una prueba de conexión PLC en las instalaciones de la EEQ, mediante la utilización de equipos CORINEX.
- *EBA PLC Norte Limited*
- Consorcio *Interactive – CITIC – Alda*

Se prevé que la inversión de la empresa ganadora oscile entre los USD 10 y 15 millones. El servicio se empezaría a ofrecer a mediados del 2008.

La empresa de telecomunicaciones que implemente el BPL deberá presentar los títulos habilitantes y la homologación de los equipo ante la Superintendencia de Telecomunicaciones y el Consejo de Telecomunicaciones. Esto, para obtener los permisos y operar bajo este sistema.

El 21 de noviembre de 2007, la EEQ firma con el consorcio TGB el convenio sobre el servicio de Internet mediante tecnología BPL. Se asegura que los costos estarán por debajo de los que se encuentran actualmente en el mercado para otras tecnologías de acceso.

La EEQ espera que para el mes de Mayo de 2008 se puedan brindar los servicios sobre la red eléctrica.

Según la Asociación de Empresas de Telecomunicaciones del área Andina, en cinco años la EEQ podría tener 230 000 abonados de banda ancha en su área de concesión. La figura 1.21, muestra la cronología del proceso.

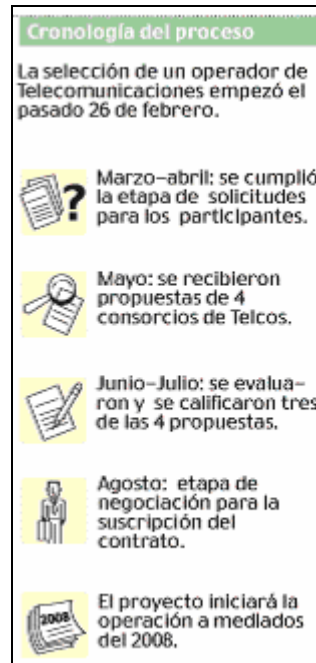


Figura 1.21 Cronología: proceso para la selección de un operador de telecomunicaciones EEQ ^[80]

En la opinión del Ingeniero Miguel Araujo, Jefe de Comunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito, la tecnología PLC en el Ecuador puede ser probada tanto para enlaces de última milla, como para aplicaciones *In-home*.

Por su parte, Diego Rodas, coordinador del proyecto en la EECS (Empresa Eléctrica Regional Centro Sur de Cuenca), señala que tiene como fin, de igual manera que en Quito, utilizar el tendido de la red eléctrica en Azuay, Cañar y Morona Santiago. La distribuidora tiene unos 250000 abonados en las tres provincias.

1.9 APLICACIONES EN REDES DE ÁREA LOCAL

La tecnología *Power Line Communications* como red de área local, tiene dos tipos de aplicaciones de manera muy general, como redes de distribución en edificios, y como redes para aplicaciones multimedia en los hogares. Ambas son muy importantes, ya que la primera se encuentra enfocada a empresas, mientras que

la segunda cubre las necesidades de comunicación multimedia dentro de residencias.

Entre las aplicaciones de red más difundidas se tiene:

- **Receptores de Satélite/Televisión por cable**, se pueden tener múltiples canales alrededor del hogar.
- **Reproductores multimedia** en cualquier lugar.
- **Home Theater**, el audio se puede distribuir hacia cualquier lugar.
- **HDTV**, recibir contenido desde un servidor remoto de multimedia.
- **Home Audio**, capacidad de escuchar MP3 y radio (Internet) en cualquier sitio del hogar.
- **Telefonía IP**
- **Conexión instantánea** de computadoras hacia la red.
- **Routers SOHO**, los cuales tienen mayor cobertura que un inalámbrico.
- **Extensores Wi-Fi**, vence el rango de limitación inalámbrico.
- **Adaptadores multimedia**, permiten ver video digital en cualquier sitio del hogar.
- **Home Media Centres**, para almacenamiento, con el fin de distribuir aplicaciones multimedia.
- **Dispositivos NAS** (*Network Access Storage*)
- **Videoconferencia**
- **Domótica**
- **Teleseguridad**, por ejemplo alarmas de robo o de incendio.

Entre los principales interesados en esta tecnología, se puede contar con sistemas nómadas como organismos gubernamentales, empresas consultoras, PYME's en expansión, oficinas temporales, contratistas; en fin, todo tipo de entidades o empresas que requieran implementar una red flexible y con capacidad de ser mudada y reutilizada en otros sitios.

Dentro de las aplicaciones *In-home*, **UPA** presenta en la tabla 1.9, datos la velocidad y latencia recomendadas para cada uno de los tipos de aplicaciones que considera.

UPA se enfoca principalmente en dos tipos de aplicaciones *indoor*:

- Audio/Video (AV) de alta velocidad
- Distribución de servicios *triple play* (Voz, Video y Datos)

AV de alta velocidad

Los dispositivos que permiten una transmisión de audio y video de alta definición, comparten dos necesidades principales que son: requerimientos de alta velocidad en el orden de los 20 – 40 Mbps y la incapacidad de moverse alrededor del sitio.

En la figura 1.22, se puede ver un ejemplo de distribución de video, con un servidor interno.

Tipo de aplicación	Velocidad mínima	Latencia (ms)	Pérdida de sensibilidad
VoIP	256 kbps	< 30 ms	Baja < 5 %
Audio	6 Mbps	< 30 ms	Baja < 1%
Streaming de video IPTV	60 Mbps	< 150 ms	Baja < 1%
Mail	12 Mbps	< 2 s	Alta
Internet	12 Mbps	40 ms	Alta
Comercio electrónico	12 Mbps	40 ms	Alta
Automatización de hogares	256 kbps	< 150 ms	Alta

Tabla 1.9 Aplicaciones *In-home* UPA ^[27]

La figura 1.23, muestra un ejemplo de distribución de video cuya señal proviene de otra tecnología.

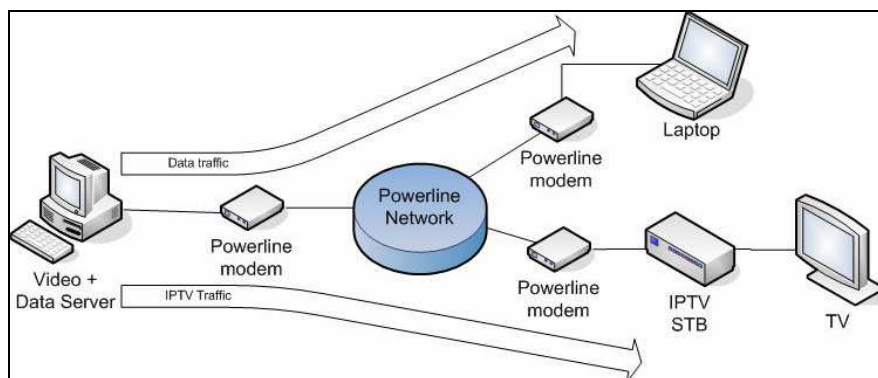


Figura 1.22 Distribución de video con la ayuda de un servidor interno ^[36]

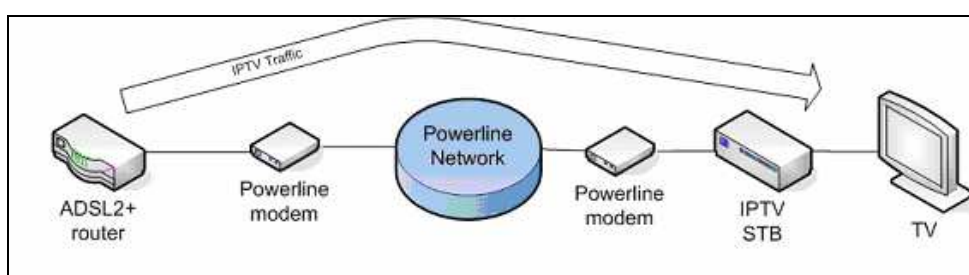


Figura 1.23 Distribución de video a partir de una señal externa ^[36]

Se aprovecha no sólo las instalaciones eléctricas, sino también la infraestructura por la cual se brindan servicios como la televisión por cable, que hace uso de cable coaxial. Para esto se utilizan dispositivos que permiten un rendimiento híbrido *powerline/coaxial*, como se muestra en la figura 1.24.

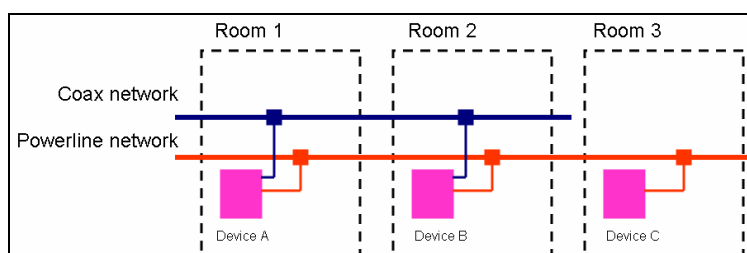


Figura 1.24 Diagrama de bloques de una red híbrida coaxial/*powerline* ^[36]

Los dispositivos A y B transmiten en sus altas frecuencias sobre el cable coaxial y el *powerline*, de manera simultánea. Cuando el dispositivo B recibe la señal de A, probablemente recibirá una señal más fuerte del cable coaxial que del cable *powerline*; en este caso, se garantiza una velocidad de 200 Mbps en el 99,99% de las situaciones ya que al tener una buena propagación, la relación SNR es alta.

En cambio, cuando el dispositivo B recibe una señal de C, sólo recibirá una señal de *powerline* y ninguna del cable coaxial, en este caso el rendimiento dependerá de la calidad de la línea *powerline* en cuanto a la relación SNR, la cual típicamente tiene velocidades en el rango de 100 a 200 Mbps, como anteriormente se lo ha mencionado.

Por último, entre las aplicaciones que se pueden considerar dentro del ámbito de redes para oficina, se tiene:

- **Trabajo en Grupo**, compartir, ver y modificar documentos de forma simultánea.
- **Redes Privadas Virtuales**, se pueden implementar para la comunicación de oficinas para la transmisión privada de voz y datos.
- **PYMES**, ya no tienen que afrontar los costos de instalaciones telefónicas y cableado adicional para tener su red local.

1.10 SITUACIÓN ACTUAL Y EXPECTATIVAS DE LA TECNOLOGÍA PLC

Actualmente, la tecnología PLC se ha desarrollado mucho, gracias a organizaciones y empresas que trabajan conjuntamente con el objetivo de lograr el crecimiento de la misma, para que ésta llegue a ser competitiva, tanto frente a otras tecnologías de acceso en cuanto a las estructuras *outdoor*, como frente a otras tecnologías de transmisión, refiriéndose en términos *In-home*.

1.10.1 PLC ALREDEDOR DEL MUNDO

Existen muchas experiencias alrededor del mundo, alrededor de 100 proyectos piloto desarrollados en 40 países distintos; muchas de estas experiencias son modelos de prueba, sólo una pequeña porción son modelos comerciales. Los principales movimientos se concentran en Estados Unidos y en Europa, siendo este último donde se registra un mayor desarrollo.

Entre las experiencias más significativas en Europa, se tienen:

- Iberdrola: con varias pruebas piloto en España, ha comercializado accesos PLC a Internet en las ciudades de Madrid y Valencia, además se están

probando soluciones para temas internos de las empresas eléctricas (telemando, telemedida, etc.).

- Endesa: ha realizado pruebas en Barcelona, ofreciendo telecontrol, AMR, activación/desactivación del contador, detección de fraude y gestión de carga. Utiliza tecnología DS2.
- PPC: ha realizado experiencias de AMR sobre PLC de banda ancha en *Zürich* y de acceso a Internet en Alemania.

Estados Unidos también cuenta con pruebas piloto, entre las que se puede destacar las que se señalan en la tabla 1.10.

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

La figura 1.25, muestra la cobertura 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.

1.10.2 EMPRESAS Y ORGANIZACIONES

En la tabla 1.11 se tienen algunas de las empresas y organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología PLC; adicionalmente se muestran sus respectivos miembros, con lo que se puede ver la extensión que tiene actualmente esta tecnología alrededor del mundo.

Empresa	Fabricante	Lugar	Naturaleza
Arizona Public Service	Mitsubishi	Cottonwood, Arizona	piloto de pruebas
Ameren	Main.net	Cape Girardeu, MO	
AEP	Amperion	Dublín, OH	
Central Virginia Electric Cooperative	IBEC	Nelson County	
Cinergy	Current Technologies	Cincinnati, OH	despliegue comercial
Ciudad de Manassas	Main.net	Ciudad de Manassas	
Ciudad de Solvay, NY	New Visions	Ciudad de Solvay	Despliegue comercial
ConEdison	Ambient	Briarcliffe Manor, NY	Primera prueba en US
Consumers Energy	Shpigler Group	Grand Ledge, MI	Despliegue comercial
Cullman Electric Cooperative	IBEC	Cullman, AL	Prueba rural
Duke	Main.net	Charlotte, NC	
HECO	Current Technologies Honolulu, HI		
Hilco Elec. Cooperative	Amperion	Glen Heights, TX	
IdaComm	Amperion	Boise, Idaho	
Ciudad de Salem, VA	Amperion	Salem, VA	
PEPCO	Current Technologies	Potomac, MD	
PPL	Main.net/Amperion	Allentown, PA	
Southern	Main.net/Amperion	Birmingham, AL	

Tabla 1.10 Pruebas Piloto PLC realizadas en Estados Unidos ^[38]

1.10.3 EXPECTATIVAS DE LA TECNOLOGÍA PLC

Lo que se busca en un futuro en cuanto a esta tecnología, es obtener mayores velocidades a menores costos; además de saltar dificultades como la interferencia a la banda de radioaficionados.

HomePlug, para lograr este objetivo utilizaría métodos propietarios, enfocándose en las técnicas de modulación, mejora de protocolos y optimización en el diseño de los circuitos.







Figura 1.25 Cobertura PLC Ventures en Guatemala ^[11]

Las pruebas que se encuentran realizando en **Argentina**, tienen como objetivo proveer el servicio de acceso a Internet para mediados del 2008, para lo que también se mantienen contactos con empresas que desarrollan equipos capaces de prestar estos servicios. Lo que se espera es también aprovechar esta tecnología para brindar servicios *triple Play*.

En **Perú**, de cumplirse las expectativas de crecimiento planteadas por los desarrolladores del proyecto *Optical IP – Luz del Sur*, se abren las posibilidades para el desarrollo en el mercado de la provisión de accesos de banda ancha para

el sector corporativo, residencial y PYME's. Con esto, se dispondrán de más ofertas en términos de precio y calidad, términos importantes para el soporte de aplicaciones y servicios en banda ancha.

Organizaciones	Fin	Miembros (Ver Anexo A)
<p style="text-align: center;">OPERA</p>  <p style="text-align: center;">www.ist-opera.org</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es una iniciativa para fomentar el despliegue de PLC mediante el desarrollo de tecnología, que permita a las redes eléctricas ser usadas para dar un alto rendimiento a un menor costo, para utilizarlas como redes de acceso. • El propósito del proyecto no es sólo proveer de un estándar para PLC, sino también, compartir su visión con el mundo donde operadores y suscriptores obtengan beneficios de esta tecnología. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Swiss Federal Institute of Technology</i> (Suiza) • Universidad de Comillas (España) • Universidad de <i>Duisburg-Essen</i> (Alemania) • EDEV-CPL (Grupo EDF) (Francia) • IBERDROLA (España) • UNION FENOSA (España) • DS2 (España) • Amperion (UK) • Dimat (España) • <i>Schneider Electric Powerline Communications</i> (Suecia) • Eichhoff (Alemania)

<p style="text-align: center;">UPA</p>  <p style="text-align: center;">www.upapl.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentran íntimamente relacionados con el proyecto OPERA, incluso han presentado una propuesta de estándar PLC de manera conjunta en la IEEE. • Su propósito principal es promover entre los líderes de gobierno e industrias, el tremendo potencial de las tecnologías PLC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comtrend • Corinex • Cypress Perform • DS2 • Duke Power • Ileo • Netgear • Pirelli Broadband Solutions • Toyo Network Systems • Toshiba
Organizaciones	Fin	Miembros (Ver Anexo A)
<p style="text-align: center;">HOMEPLUG</p>  <p style="text-align: center;">www.homeplug.org</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Su meta en un principio fue crear la manera de que las instalaciones eléctricas puedan ser utilizadas para interconectar dispositivos y tener acceso a Internet. • Ahora, <i>HomePlug</i> es un estándar reconocido para redes de alta velocidad utilizando líneas <i>powerline</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Linksys • Intel • LG • Motorota • RadioShack • Samsung • Sharp • Texas Instruments • Huawei • Intellon • ComTek • Devolo • Telkonet
<p style="text-align: center;">PLC FORUM</p>  <p style="text-align: center;">www.plcforum.org</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es una importante asociación internacional que representa los intereses de fabricantes, empresas eléctricas y otras organizaciones en el campo de la tecnología PLC como red de acceso e interiores. • Entre sus principales objetivos está emitir regulaciones y la 	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Dresden • ETSI - <i>The European Telecommunications Standards Institute</i> • Itochu • LINZ AG for Energy, <i>Telecommunications, Transport and Community Services</i> • Mitsubishi Materials Corporation • UPLC (<i>United PowerLine Council</i>) • Toyo Network

	divulgación de la tecnología en el mercado.	Systems Co. Ltd
--	---	-----------------

Tabla 1.11 Organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología PLC

En cuanto a **DS2**, *Design of Systems on Silicon* S.A. (DS2), que es el principal proveedor de dispositivos y *software* para la tecnología PLC, lo que se espera es obtener *chips* que permitan mayores velocidades, mejor rendimiento, todo esto a menores costos.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL (LAN) PARA VOZ Y DATOS, UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA *POWER LINE COMMUNICATIONS* (PLC), COMO ALTERNATIVA AL CABLEADO ESTRUCTURADO

2.1. ANTECEDENTES, OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1.1. ANTECEDENTES

La planificación de este edificio se realizó en el año 1983, su construcción se empezó en 1984 y se terminó en 1986. En el transcurso de 1986 al 2007, ha sufrido algunos cambios físicos internos por necesidades de los servicios que se prestan en las diferentes oficinas administrativas y técnicas.

El edificio consta de un tablero principal de distribución que se encarga de distribuir, a través de cada disyuntor, la energía a los paneles de cada piso.

Como se muestra en la figura 2.1, cada uno de los pisos tiene 2 paneles que se ocupan de los circuitos tanto para la red eléctrica de la parte izquierda, como para la parte derecha del edificio, estos paneles manejan circuitos trifásicos.

En la acometida del edificio se encuentran adicionalmente, entre otros:

- UPS's, que permiten mantener la red estabilizada (figura 2.2)
El UPS Principal se encuentra distribuido de la siguiente manera: 1 *breaker* trifásico con el que se energiza un tablero principal, del cual se sale a subtableros que se encuentran situados en las alas de los pisos, estos alimentan con una red estabilizada a las diferentes oficinas.
- Un banco de baterías, para almacenar energía.
- Transformadores.
- Tablero de distribución principal UPS, figuras 2.3 y 2.4.
Estos elementos sirven para realizar un *bypass* entre la energía del UPS y la del banco de baterías.

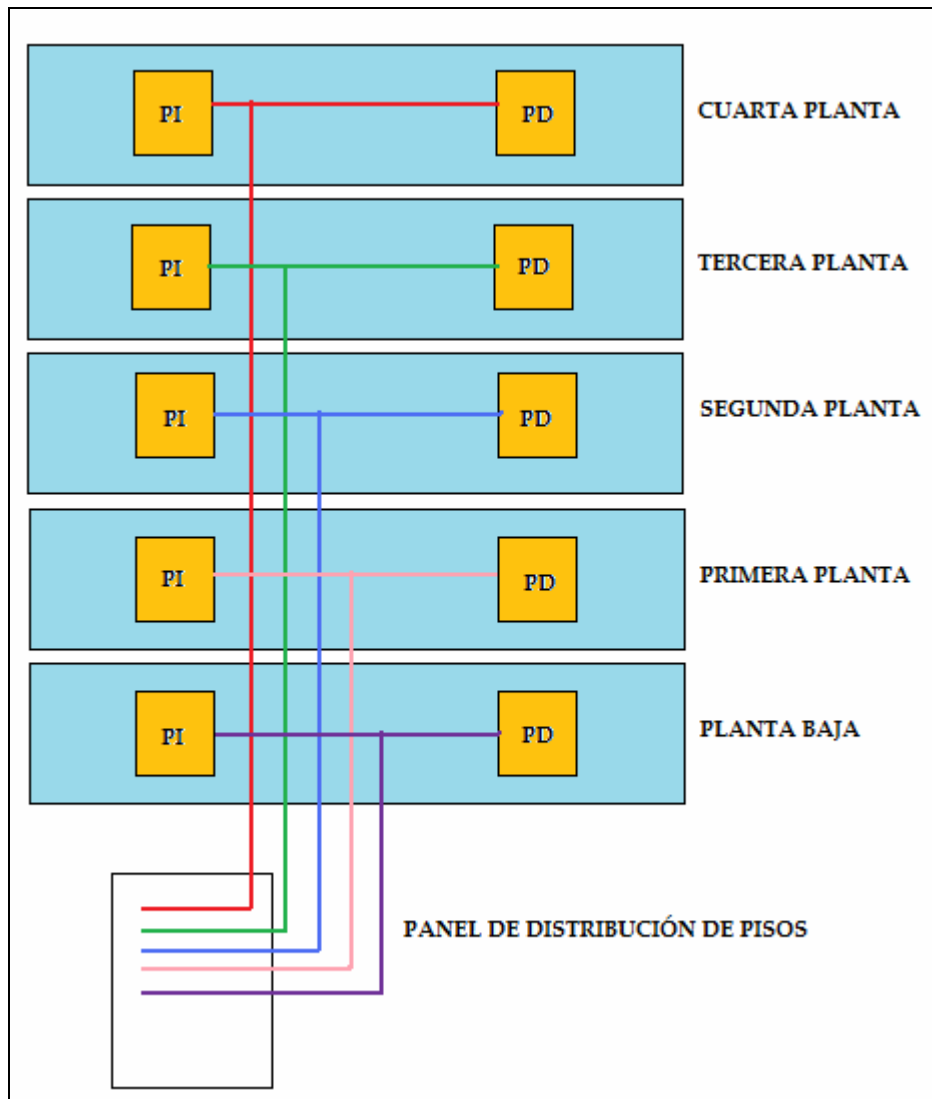


Figura 2.1 Diagrama de paneles de distribución por piso

- Tablero general de distribución, figuras 2.5 y 2.6.
Distribuye la energía a los subtableros ubicados cada dos pisos, los cuales energizan a los tableros de las alas de cada piso.
- Generador, se activa en caso de ser necesario el suministro de energía cuando no se cuente con el de la Empresa Eléctrica, manda la señal a la transferencia principal.
- Banco de condensadores, que suprimen los armónicos presentes en la señal eléctrica. Figuras 2.7 y 2.8.
- Escalerillas de distribución, distribuyen los cables entre dispositivos y hacia el ducto que los llevará a cada piso. Figura 2.9.



Figura 2.2. UPS PowerWare 9315 225 KVA
Firmesa



Figura 2.4 Tablero de Distribución Principal
UPS (interior)



Figura 2.3 Tablero de Distribución Principal
UPS (exterior)



Figura 2.5 Tablero General de
Distribución (exterior)

- Computadoras que se encargan del control del generador. Figura 2.10.
- Control de la energía que llega de la Empresa Eléctrica. Figura 2.11.



Figura 2.6 Tablero General de Distribución (interior)



Figura 2.7 Banco de condensadores (exterior)



Figura 2.8 Banco de condensadores (interior)



Figura 2.9 Escaletas de distribución



Figura 2.10 Computadoras para el control del generador



Figura 2.11 Control de energía

2.1.2. OBJETIVOS

- Diseñar una Red de Área Local (LAN) para voz y datos, utilizando las instalaciones eléctricas de un edificio de oficinas, con tecnología *Power Line Communications*.
- Cumplir con todos los requerimientos, que una red LAN con una tecnología de cableado tradicional puede cubrir.
- Evaluar el costo resultante de la red diseñada, con respecto al de otras tecnologías utilizadas para el diseño de una LAN.

2.1.3. ALCANCE

Se realizará un Diseño de una Red de Área Local (LAN) para voz y datos, en una infraestructura de un edificio de oficinas, utilizando PLC como alternativa al

cableado estructurado, según las normas ANSI/EIA/TIA; esta aplicación se la realizará utilizando las instalaciones eléctricas con las que cuenta el edificio.

La red LAN diseñada, cubrirá todos los requerimientos, que cualquier sistema de cableado estructurado tradicional pueda cumplir. Adicionalmente al diseño, también se elaborará una evaluación y comparación de costos.

2.2. CONDICIONES Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

2.2.1. CONDICIONES PARA EL DISEÑO

La tabla 2.1, indica los tomacorrientes (puntos) que existen por cada uno de los circuitos en cada una de las plantas, señalando si los mismos se encuentran alimentados desde el panel derecho o izquierdo del edificio.

Los distintos departamentos del edificio de oficinas sobre el cual se realizará el diseño del presente proyecto, se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

- **Planta Baja:** el ala derecha es ocupada por el Departamento Financiero, el ala izquierda, por el Departamento de Bienestar de Personal.
- **Primera Planta:** toda la planta es ocupada por el Departamento de manejo de Personal.
- **Segunda Planta:** el ala derecha, al igual que en la planta baja, es ocupada por el Departamento Financiero; el ala izquierda es ocupada por el Departamento de Sanidad.
- **Tercera Planta:** toda la planta es ocupada por el Departamento de Logística.
- **Cuarta Planta:** en el ala derecha de la planta se ubica la Presidencia, y en la izquierda, la Vicepresidencia.

2.2.2. REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

2.2.2.1. Requerimientos de *Hardware*

El *hardware* informático con el que se cuenta es el que se indica en la tabla 2.2.

Se requiere que la red a diseñar:

- Provea puntos de voz y datos.
- Existan puntos de impresión por planta.
- En cada sala tenga acceso inalámbrico a la red.

2.2.2.2. Requerimientos de *Software* de Aplicaciones

En la presente red, se pretende manejar las siguientes aplicaciones:

- Correo electrónico.
- Acceso a Internet.
- Compartir archivos.

2.3. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CABLEADO

ESTRUCTURADO

Los sistemas de cableado estructurado requieren de normalización en su instalación y obtención de certificación del mismo.

Circuitos	Puntos	Panel Derecho	Panel Izquierdo
Planta Baja			
Circuito 1	8	X	
Circuito 2	8	X	
Circuito 3	5		X
Circuito 4	16		X
Circuito 5	8		X
Circuito 6	8		X
Primera Planta			
Circuito 1	8	X	
Circuito 2	10	X	
Circuito 3	6	X	
Circuito 4	9	X	
Circuito 5	4	X	
Circuito 6	7	X	
Circuito 7	13		X
Circuito 8	10		X
Circuito 9	10		X
Circuito 10	9		X
Circuito 11	8		X
Segunda Planta			
Circuito 1	6	X	
Circuito 2	7	X	
Circuito 3	8	X	
Circuito 4	7	X	
Circuito 5	16	X	
Circuito 6	10		X

Circuito 7	10		X
Circuito 8	7		X
Circuito 9	7		X
Circuito 10	6		X
Tercera Planta			
Circuito 1	8	X	
Circuito 2	12	X	
Circuito 3	7	X	
Circuito 4	7	X	
Circuito 5	9	X	
Circuito 6	6		X
Circuito 7	8		X
Circuito 8	9		X
Circuito 9	9		X
Circuito 10	9		X
Cuarta Planta			
Circuito 1	6	X	
Circuito 2	9	X	
Circuito 3	14	X	
Circuito 4	11	X	
Circuito 5	7	X	
Circuito 6	11		X
Circuito 7	8		X
Circuito 8	9		X
Circuito 9	7		X
Circuito 10	9		X

Tabla 2.1 Distribución de puntos tomacorrientes por circuito, por panel y por planta

Planta	Ala Derecha	Ala Izquierda	# Total de Computadores
Planta Baja	30	46	76
Primera Planta	37	40	77
Segunda Planta	35	27	62
Tercera Planta	40	44	84
Cuarta Planta	29	8	37

Tabla 2.2 Número de Computadores con el que se cuenta por planta

Entre los sistemas que pueden ser soportados por un cableado estructurado en la actualidad se tienen los siguientes:

- Sistemas de voz.
- Centrales (PABX), teléfonos analógicos y digitales.
- Sistemas telemáticos.
- Redes locales.
- Conmutadores de datos.
- Controladores de terminales.

- Líneas de comunicación con el exterior.
- Sistemas de Control.
- Alimentación remota de terminales.
- Calefacción, ventilación, aire acondicionado, alumbrado.
- Protección de incendios e inundaciones, sistema eléctrico.
- Alarmas de intrusión, control de acceso, vigilancia.

Los principales estándares que los sistemas de cableado estructurado emplean en la actualidad son: ANSI/EIA/TIA 568-B, 569-A, 606-A y 570-A.

2.3.1. ESTÁNDARES RELEVANTES EN LA ACTUALIDAD

2.3.1.1. TIA/EIA-568-B Cableado de Telecomunicaciones en Edificios Comerciales

Son tres estándares, que tratan el cableado comercial para productos y servicios de telecomunicaciones, éstos son ANSI/TIA/EIA-568-B.1-2001, -B.2-2001 y -B.3-2001. Se aplican a edificios comerciales y ambientes de oficina.

La intención de estos estándares es proveer una serie de prácticas recomendadas para el diseño e instalación de sistemas de cableado estructurado, que soporten una amplia variedad de los servicios de comunicaciones existentes, y de posibles servicios futuros, que sean diseñados considerando los estándares de cableado.

Pretenden cubrir un rango de vida de más de diez años para los sistemas de cableado comercial, objetivo que ha tenido éxito en su mayor parte, como se evidencia con la definición de cables de categoría 5 en 1991, un estándar de cable que satisface la mayoría de requerimientos para 1000BASE-T, emitido en 1999.

Los subsistemas del estándar 568-B.1 son:

- Área de Trabajo
- Cableado Horizontal
- Cableado Vertical (*Backbone*)
- Clóset de Telecomunicaciones

- Cuarto de Equipos
- Instalaciones de Entrada / Acometida

Este estándar, 568-B, otorga directrices que facilitan la planificación e instalación de un sistema de cableado estructurado, así como el diseño de productos relacionados.

Los requisitos mínimos que toma en cuenta este estándar son:

- Tipos de medios de transmisión reconocidos.
- Distancias de cableado.
- Configuraciones de tomas/conectores.
- Topología.
- Interfaces para usuario.
- Formas de instalación.

2.3.1.2. TIA/EIA-569-A Normas de Enrutamientos y espacios de Telecomunicación para Edificios Comerciales

Estandariza prácticas de diseño y construcción dentro y entre edificios, que son realizadas en soporte de medios y equipos de telecomunicaciones, como por ejemplo canaletas y guías, facilidades de entrada al edificio, armarios o clóset de comunicaciones y cuarto de equipos.

Se encuentra limitado al aspecto de las telecomunicaciones, diseño y construcción de edificios comerciales.

Los subsistemas de este estándar son:

- Área de Trabajo
- Enrutamientos Horizontales
- Enrutamientos Verticales (*Backbone*)
- Armario de Telecomunicaciones
- Sala de Equipos
- Acometidas

2.3.1.3. TIA/EIA-570-A Normas de Infraestructura Residencial de Telecomunicaciones

Este estándar ha ido incrementando popularidad en la industria de construcción de hogares, debido al hecho de los cambios que se realiza en la actualidad cuando se desea tener un cableado en casa, lo cual resulta extremadamente difícil y caro, por lo que la mejor solución es realizar este cableado al construir la residencia.

Define la arquitectura del sistema de cableado y los métodos de instalación del mismo, características de rendimiento y pruebas de instalación.

2.3.1.4. TIA/EIA-606-A Normas de Administración de Infraestructura de Telecomunicaciones en Edificios Comerciales

Provee las guías para marcar y administrar los componentes de un sistema de cableado estructurado, es decir que el TIA/EIA 606-A, proporciona normas para la codificación de colores, etiquetado, y documentación de un sistema de cableado instalado.

El seguimiento de esta norma, permite una mejor administración de una red, creando un método que permite el seguimiento de los traslados, cambios y adiciones; además facilita la localización de fallas, detallando cada cable tendido por características.

Algunos de los lineamientos a seguir según estas normas son:

- Las áreas para ser administradas serán: terminaciones, medios, rutas, espacios, puestas a tierra.
- La información deberá ser presentada en: etiquetas, registros, reportes, planos, órdenes de trabajo.
- Las etiquetas se instalarán en ambas puntas del cable permanente en el cableado horizontal, en ambas puntas del cable vertical, así como en el de *campus*; se instalarán también en el panel de "parcheo", en la parte exterior de las tapas en el área de trabajo y en ambos extremos de los *patchcords* del área de trabajo y de los equipos.

- El color que se manejará para las terminaciones de voz en el área de trabajo será azul.
- El color que se manejará para las terminaciones de datos en el área de trabajo será blanco.
- El color que se manejará para las terminaciones de voz y datos en el cuarto de equipos será negro.

2.3.2. CATEGORÍAS UTILIZADAS

Según el estándar TIA/EIA-568-B, las categorías recomendadas para cable UTP son las siguientes:

- **Categoría 3:** cuatro pares trenzados, se utiliza principalmente para telefonía analógica o digital con sistemas de cableado estructurado. Frecuencias de hasta los 16 MHz en segmentos de 100 m, redes *Ethernet* de 10 Mbps.
- **Categoría 5e:** similares a los de categoría 3, pero con más trenzas por longitud y aislantes de teflón, lo que se refleja en menor *crosstalk* y mejor calidad en grandes distancias, permitiendo mayores velocidades de transmisión. Frecuencias de hasta 100 MHz en segmentos de 100 m, frecuentemente usada en redes *Ethernet* de 100 Mbps y 1 Gbps.
- **Categoría 6:** usa frecuencias de hasta 250 MHz en segmentos de 100 m, más del doble que la categoría 5e.

Adicionalmente se tiene el cable clase F de ISO/IEC 11801:2002, que cuenta con cuatro pares STP, el mismo que de manera informal se lo conoce como cable UTP categoría 7.

Éste es un estándar de cable para *Ethernet* y otras tecnologías de interconexión, puede ser compatible con las tecnologías tradicionales categoría 5e o 6. Tiene especificaciones aún más estrictas para *crosstalk* y ruido en el sistema, para lograrlo, el blindaje se agrega a pares de cable individuales y al cable entero.

Creado para permitir 10 *Gigabit Ethernet* sobre 100 metros de cableado de cobre; puede ser terminado tanto con un conector eléctrico GG-45 (compatible con RJ-45) como con un conector TERA. Cuando se combina con éstos, puede transmitir frecuencias de hasta 600 MHz.

2.4. DISEÑO DE LA RED LAN UTILIZANDO PLC

2.4.1. DISEÑO DE CONEXIÓN A OFICINAS

Las salidas para el número de usuarios que se requieren actualmente en el edificio, se colocan de acuerdo a los planos del Anexo B.

Tomando en cuenta que el crecimiento de usuarios en un edificio de oficinas no sigue una función de crecimiento específica, se implementan algunos puntos de salida adicionales en algunas de las oficinas, lo que permitirá una mayor movilidad.

La cantidad de salidas adicionales es el resultado de aumentar puntos para acceso a la red LAN en aquellas oficinas donde es factible dicho aumento, esto permitirá tener un pequeño crecimiento de usuarios en el edificio.

El número de salidas adicionales más el número de salidas necesarias para cubrir el total de usuarios que se tendrán en el edificio actualmente, se muestran en la tabla 2.3 y en los planos del Anexo C.

Planta	Ala Derecha		Ala Izquierda		# Total de áreas de trabajo
	Adicionales	Usuarios	Adicionales	Usuarios	
Planta Baja	4	30	8	46	88
1ra Planta	14	37	12	40	103
2da Planta	14	35	20	27	96
3ra Planta	12	40	14	44	110
4ta Planta	9	29	6	8	52

Tabla 2.3 Número total de áreas de trabajo

La cantidad y tipo de dispositivos PLC a utilizar por piso, depende del número de puertos que se requieren para cubrir las necesidades del usuario.

Para prestar los servicios de voz y datos en cada área de trabajo se necesitará únicamente un punto de red, ya que el diseño contempla la utilización de VoIP para cubrir el servicio de telefonía en la red.

En la tabla 2.4 se muestra la cantidad de puntos de voz y datos por cada una de las oficinas; la última columna muestra el número total de puertos que se necesitan:

$$\text{Total} = \text{cantidad de puertos de datos}$$

Ya que como se ha mencionado anteriormente, se puede disponer del mismo punto de datos para tener servicio de telefonía.

El número de toma por cada oficina se encuentra en el Anexo D.

Oficina	Toma No.	Puertos		
		Voz	Datos	Total
Planta baja				
Ala Derecha				
001	-	2	2	2
002	1	2	2	2
	2	2	2	2
	3	2	2	2
003	1	2	2	2
	2	2	2	2
	3	2	2	2
006	1	3	3	3
	2	2	2	2
	3	3	3	3
	4	3	3	3
	5	2	2	2
	6	1	1	1
	7	2	2	2
007	Impresora	-	1	1
008	-	4	4	4
Ala Izquierda				
009	-	3	3	3
010	2	3	3	3
	3	3	3	3
011	2	3	3	3
012	1	4	4	4
	2	4	4	4
013	-	5	5	5
014	1	4	4	4
	3	4	4	4
015	Impresora	-	1	1

016	AP	-	1	1
017	1	4	4	4
	3	4	4	4
018	2	4	4	4
	4	4	4	4
019	1	4	4	4
	3	1	1	1
Primera Planta				
Ala Derecha				
101	1	2	2	2
	4	4	4	4
102	1	3	3	3
	2	2	2	2
103	-	5	5	5
104	-	5	5	5
105	1	1	1	1
	3	4	4	4
106	1	1	1	1
	2	1	1	1
	4	2	2	2
107	1	3	3	3
	3	3	3	3
108	3	1	1	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1
109	1	1	1	1
	2	1	1	1
110	1	1	1	1
	2	1	1	1
111	Impresora	-	1	1
112	1	1	1	1
	2	1	1	1
Oficina	Toma No.	Puertos		
		Voz	Datos	Total
113	2	1	1	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1
114	1	2	2	2
	2	1	1	1
Ala Izquierda				
116	1	1	1	1
	2	3	3	3
	3	3	3	3
117	1	2	2	2
	2	1	1	1
	3	1	1	1
	4	1	1	1
	5	1	1	1
118	8	1	1	1
	AP	-	1	1
119	-	1	1	1
120	2 (Impresora)	1	2	2
121	1	1	1	1
	2	1	1	1
122	1	2	2	2
	2	3	3	3
	4	3	3	3
123	-	2	2	2
124	1	1	1	1
	2	1	1	1

	3	1	1	1
125	1	2	2	2
126	1	2	2	2
	2	3	3	3
	4	3	3	3
	-	3	3	3
127	1	2	2	2
129	3	4	4	4
	-	2	2	2
130	-	2	2	2
Segunda Planta				
Ala Derecha				
201	1	3	3	3
202	1	2	2	2
	3	3	3	3
	4	2	2	2
203	1	2	2	2
	2	2	2	2
204	-	2	2	2
205	-	2	2	2
207	AP	-	1	1
208	1	2	2	2
	2	2	2	2
209	Impresora	-	1	1
210	2	3	3	3
	4	1	1	1
	7	4	4	4
211	-	2	2	2
212	-	2	2	2
213	-	2	2	2
214	1	1	1	1
	2	2	2	2
215	1	2	2	2
	3	4	4	4
216	-	2	2	2
Oficina	Toma No.	Puertos		
		Voz	Datos	Total
217	1	1	1	1
	2	1	1	1
Ala Izquierda				
218	AP	-	1	1
219	-	2	2	2
220	-	2	2	2
221	-	2	2	2
222	-	2	2	2
223	-	2	2	2
224	1	4	4	4
	2	1	1	1
225	1	1	1	1
	2	2	2	2
226	Impresora	1	2	2
228	1	2	2	2
	2	1	1	1
229	-	2	2	2
230	1	2	2	2
231	2	1	1	1
233	2	2	2	2
235	(Of. 236)	4	4	4
237	1 (Of. 238)	4	4	4
239	-	2	2	2
241	1	1	1	1

	2	1	1	1
	3	2	2	2
242	2	2	2	2
	3	2	2	2
Tercera Planta				
Ala Derecha				
301	2	2	2	2
	5	1	1	1
302	-	3	3	3
303	1	2	2	2
306	AP	-	1	1
307	-	2	2	2
308	1 (Of. 309)	3	3	3
310	2	2	2	2
311	-	2	2	2
312	-	3	3	3
313	1	3	3	3
315	1	4	4	4
	2	4	4	4
	3	2	2	2
316	Impresora	-	1	1
317	Of. 314	2	2	2
318	1	1	1	1
	3	4	4	4
	1	2	2	2
319	2	1	1	1
	3	1	1	1
320	1	3	3	3
	2	2	2	2
	3	3	3	3
Ala Izquierda				
321	1	2	2	2
	2	4	4	4
322	1	3	3	3
	2	1	1	1
	3	3	3	3
Oficina	Toma No.	Puertos		
		Voz	Datos	Total
323	1	6	6	6
	2	1	1	1
	3	1	1	1
	4	1	1	1
324	1	4	4	4
	2	4	4	4
325	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
327	1 (Of. 326)	4	4	4
328	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	3	3	3
329	1	2	2	2
	3	3	3	3
	4 (Impresora)	1	2	2
330	AP	-	1	1
331	AP	-	1	1
332	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
333	1	2	2	2
	2	1	1	1

334	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
	4	1	1	1
Cuarta Planta				
Ala Derecha				
401	AP	-	1	1
402	1	2	2	2
	4	1	1	1
403	-	2	2	2
404	-	1	1	1
405	2	2	2	2
406	Impresora	-	1	1
407	1	2	2	2
	3	2	2	2
	4	1	1	1
	5	3	3	3
408	1	1	1	1
	2	1	1	1
	3	1	1	1
409	3	4	4	4
	4	2	2	2
410	1	2	2	2
	3	2	2	2
411	AP	-	1	1
412	2	2	2	2
	3	4	4	4
	5	4	4	4
Ala Izquierda				
415	1	1	1	1
	2	1	1	1
416	1	1	1	1
	2	1	1	1
417	1	1	1	1
	3	1	1	1
418	1	2	2	2
419	1	1	1	1
	3	2	2	2
Oficina	Toma No.	Puertos		
		Voz	Datos	Total
420	-	2	2	2
424	AP	-	1	1

Tabla 2.4 Cantidad de puertos por oficina

En la columna que se refiere al número de tomas se puede observar que en algunos casos se ha puesto un guión "-", esto hace referencia a aquellas oficinas en las que no fue necesario numerar los puntos de tomacorriente.

La tabla 2.5 muestra de manera general la adecuación según el número de puertos para la utilización de dispositivos PLC en la red LAN.

En cuanto a los dispositivos, solamente se encontraron PLC de 1 y de 4 puertos, en ninguna de las marcas que se revisaron existían dispositivos de 2 o 3 puertos.

Puertos	Dispositivo
3	PLC 4 Puertos
4	PLC 4 Puertos
1	PLC 1 Puerto
<i>Access Point</i>	<i>Access Point PLC</i>

Tabla 2.5 Tipo de dispositivos PLC vs Número de puertos necesarios

Por ejemplo en la oficina 329, se tienen 4 puntos de tomacorriente pertenecientes a la red estabilizada con la cual se realiza el presente diseño:

- **Toma No. 1:** necesita conectar dos puertos para dos áreas de trabajo (AT), por lo cual se utilizan dos dispositivos PLC de 1 puerto por cada AT.
- **Toma No. 2:** no la tomamos en cuenta porque no tenemos AT cercanas a este punto.
- **Toma No. 3:** necesita conectar tres puertos para AT, por lo cual se utiliza un dispositivo PLC de 4 puertos.
- **Toma No. 4:** necesita conectar 1 AT y una impresora, por ello se utilizan dos dispositivos PLC de 1 puerto para cada una de ellas.

De esta manera es cómo se obtiene la cantidad de dispositivos PLC a utilizar en el presente diseño de red. El número de dispositivos PLC por planta se muestra en la tabla 2.6.

2.4.2. DISEÑO DE LA ACOMETIDA

El diseño de la acometida, principalmente se basa en la ubicación del tablero de distribución principal del edificio, y de un diagrama general de la distribución hacia los subtableros de cada piso. El Anexo E muestra el diseño de la acometida general y la distribución por pisos.

La figura 2.12 muestra de forma detallada el diagrama de la acometida.

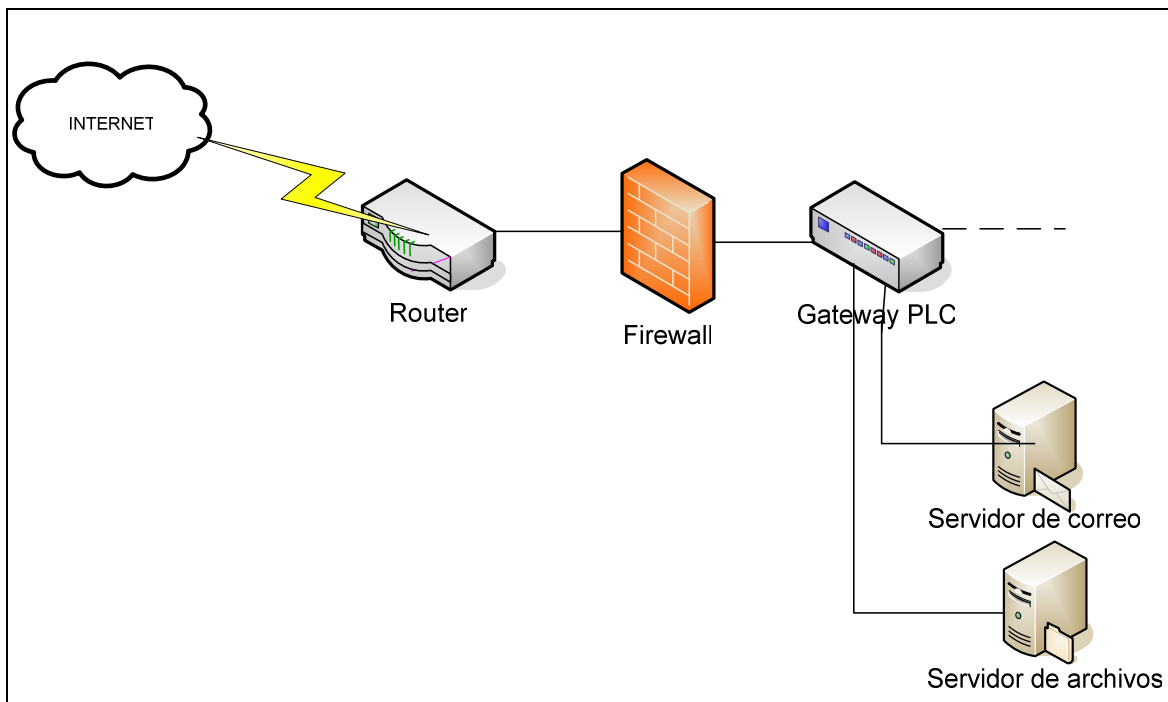


Figura 2.12 Diagrama de la acometida

2.5. PRESUPUESTO REFERENCIAL

2.5.1. PRESUPUESTO DE LA RED LAN CON TECNOLOGÍA PLC

2.5.1.1. Dispositivos a utilizar en la red LAN con PLC

En la tabla 2.6 se presentan el número de dispositivos PLC en cada una de las plantas.

Elemento	Planta Baja	1ra Planta	2da Planta	3ra Planta	4ta Planta	Total
Dispositivo PLC de 1 puerto	16	57	68	45	36	222
Dispositivo PLC de 4 puertos	20	15	8	20	5	68
Acces Point PLC	1	1	2	3	3	10

Tabla 2.6 Número de dispositivos PLC por planta

Para la realización del presupuesto se tomaron en cuenta dispositivos PLC de distintas marcas tales como:

- Aztech
- Lynksys
- Devolo
- Asoka
- Netgear

- Solwise
- Telkonet
- Zyxel

Todos los dispositivos en estas marcas, son compatibles con *HomePlug* 1.0 y *Homeplug* AV; se escogieron aquellos compatibles con la norma 1.0 ya que las necesidades de red en este edificio son las de transmisión de datos.

Para la selección de los dispositivos se toman en cuenta distintos puntos:

- La información de los productos, en cuanto a documentación de características técnicas, precios, y garantías.
- Las características técnicas, como su compatibilidad con la norma *HomePlug* 1.0 y la cantidad de puertos del dispositivo. En cuanto a velocidad, todos estos dispositivos al ser compatibles con la norma *HomePlug* 1.0, tienen velocidades *Ethernet* de 10/100 Mbps y *Powerline* de 85 Mbps.
- El tamaño y peso del dispositivo, debido a que en el presente diseño se requiere conservar la estética, es la razón por la cual se escogen dispositivos livianos y pequeños.
- El precio y la garantía, por lo que se escogen productos cuyo fabricante nos ofrece las mejores garantías aunque esto se refleje en los precios del dispositivo seleccionado.

A continuación se resumen las características de los dispositivos a utilizar en el diseño; el detalle de las especificaciones técnicas se adjuntan en el Anexo F:

- **Dispositivo PLC de 1 puerto**

Marca: Devolo dLAN® *Highspeed Ethernet*

Velocidad: 85 Mbps

Método de encriptación: DES PRO

Compatibilidad: *HomePlug* 1.0

Instalación y configuración: Windows, Linux y Mac

Rango circuito eléctrico: 200 m

Garantía: 3 años



Figura 2.13 Dispositivo PLC Devolo de 1 puerto

- **Dispositivo PLC de 4 puertos**

Marca: Netgear *Powerline 4-Port Ethernet Adapter XE104*

Velocidad *powerline*: 85 Mbps

Velocidad *ethernet*: 10/100 Mbps

Compatibilidad: *HomePlug 1.0*

Instalación y configuración: Windows Vista, XP, 2000, 98 y Me

Garantía: 1 año



Figura 2.14 Dispositivo PLC Netgear de 4 puertos

- **Access Point PLC**

Marca: Devolo *dLAN Wireless extender*

Velocidad *wireless*: 54 Mbps

Velocidad *powerline*: 85 Mbps

Método de encriptación: DES PRO, WEP, WPA y WPA2

Compatibilidad: *HomePlug 1.0*

Instalación y configuración: Windows XP, Vista, Linux y Mac

Rango circuito eléctrico: 200 m

Rango *wireless*: 300 m

Garantía: 3 años



Figura 2.15 Access Point PLC Devolo

- **Gateway PLC**

Este dispositivo también tiene la funcionalidad de permitir la aplicación de voz sobre IP (VoIP) por lo que así se ahorra en la utilización de este dispositivo. Además como se conecta a cada fase antes de la conexión al tablero de distribución principal, ya no se necesita del acoplador.

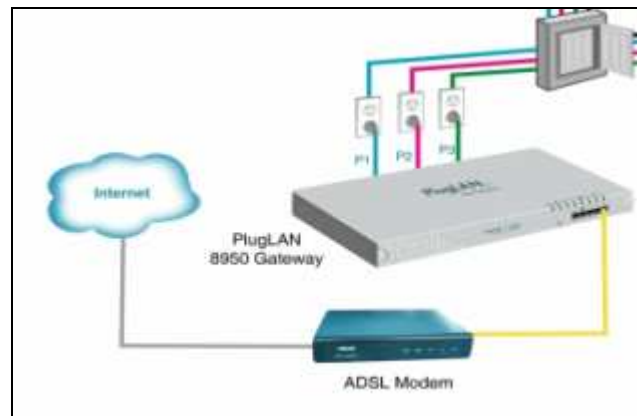


Figura 2.16 Conexión del Gateway PLC Asoka al tablero de distribución

Marca: Asoka PL8950-GWY MDU *Powerline Switch*

Velocidad: 85 Mbps

Método de encriptación: 56-bit DES

Compatibilidad: *HomePlug 1.0*

Rango circuito eléctrico: 305 m

Garantía: 1 año



Figura 2.17 Gateway PLC Asoka

Los dispositivos de red se escogieron principalmente aquellos que permitan el manejo de VoIP, adicionalmente se tomaron en cuenta precios y garantías.

Se escogen dispositivos Cisco por las garantías que ofrecen, disponibilidad de productos y características técnicas que aseguran una red confiable y segura. Además, actualmente la gran mayoría de administradores de red tienen certificación en estos productos, lo que facilita la configuración de los mismos.

A continuación se resumen las características de los dispositivos de red a utilizar en el diseño; el detalle de las especificaciones técnicas se adjuntan en el Anexo G.

Características técnicas mínimas para escoger el *router*.

- Velocidad mínima en su puerto LAN de 100 Mbps.
- Interfaces: WAN para acceso a Internet, al menos una interfaz LAN para la conexión con la red interna.
- Soporte de calidad de servicio, ya que se va a manejar tanto datos como voz.
- Sistema de detección de intrusos (*Intrusion Detection System IPS*), para adicionar seguridad a la red interna.
- Soporte para VoIP.
- Protocolos de interconexión de datos: *Ethernet, Fast Ethernet*.
- Protocolo de gestión: SNMP.
- Cifrado DES / 3DES.

Marca: Cisco 2851 *Integrated Services Router*

Interfaces: 2 interfaces 10/100/1000 *Ethernet*

Garantía: 1 año



Figura 2.18 Router Cisco 2851

Características técnicas mínimas para escoger el *firewall*:

- Velocidad mínima en sus puertos de 100 Mbps.
- 2 interfaces LAN, una para la conexión al *router* y otra para la red interna.
- Protección tanto para aplicaciones de datos como para VoIP.
- Sistema de detección de intrusos.
- Protección para distintos tipos de ataques a la red interna.
- Encriptación DES / 3DES.
- Protocolos de interconexión de datos: *Ethernet, Fast Ethernet*.
- Protocolo de gestión: SNMP.

Marca: Cisco PIX 506E *Security Appliance*

Método de encriptación: 56-bit DES, 168-bit 3DES, 128-bit AES, 256-bit AES

Interfaces: 2 interfaces 10/100 *Fast Ethernet*

Garantía: 1 año

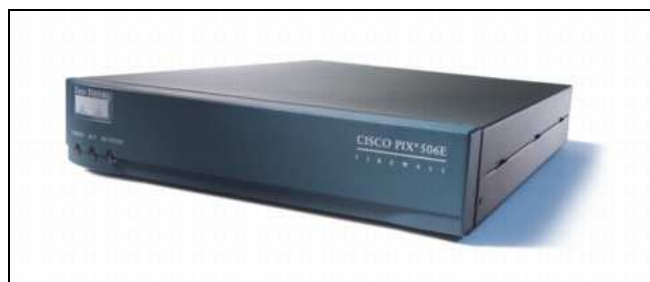


Figura 2.19 Firewall Cisco PIX 506E

2.5.1.2. Presupuesto de red LAN con tecnología PLC

La tabla 2.7 muestra el valor de cada uno de los elementos utilizados en la red, el número de unidades que se requieren y el costo total para implementar la red LAN. Cabe notar que estos precios no incluyen IVA.

Elemento	Valor Unitario (\$)	Unidades	Valor Total (\$)
Dispositivo PLC de 4 puertos	84,99	68	5779,32
Dispositivo PLC de 1 puerto	102,1	222	22666,2
Access Point PLC	189,65	10	1896,5
Firewall	970,8	1	970,8
Router	3790	1	3790
Gateway PLC	1250	1	1250
Patch cords (7 ft) Categoría 5e	13	489	6357
Subtotal			42709,82
Costo de diseño (por hora)	25	60	1500
Costo de instalación	200		200
TOTAL			44409,82

Tabla 2.7 Presupuesto de red LAN con tecnología PLC

2.5.2. COMPARACIÓN PRESUPUESTO RED PLC VS. PRESUPUESTO RED LAN CON CABLEADO ESTRUCTURADO

A continuación se realiza un diseño de una red LAN utilizando sistemas de cableado estructurado, para el edificio de oficinas sobre el cual se realiza el presente proyecto de titulación.

2.5.2.1. Diseño de red LAN con cableado estructurado

Básicamente el diseño del cableado estructurado abarca solamente el diseño de la red pasiva, pero también se va a realizar el diseño de la red activa con la finalidad de poder comparar en ambos puntos los presupuestos correspondientes.

2.5.2.1.1. Diseño de la red Pasiva

Para el presente diseño se ha tomado el estándar EIA/TIA-568-B, cuya característica principal es definir una distancia máxima de 100 metros para el subsistema horizontal de cableado estructurado.

Cada piso contará con un cuarto de telecomunicaciones debido a la gran cantidad de puntos existentes en cada uno de ellos. El cable UTP a utilizar será categoría

5e, el cual provee un ancho de banda de hasta 100 MHz en segmentos de 100 m, los cuales son suficientes para las aplicaciones deseadas.

El diseño de la red pasiva se divide en:

- Diseño del área de trabajo
- Diseño de cableado horizontal
- Diseño del clóset de telecomunicaciones

a.- Diseño del área de trabajo

a.1. Puntos de red

El cableado estructurado abarca un área de 1834 m² por planta, contiene varias oficinas y salas de espera.

Los puntos de voz y datos a cubrir en cada una de las plantas, y su respectiva distribución se muestran en la tabla 2.8. Se debe recordar que al utilizar VoIP para el servicio de telefonía en la red, el mismo punto de datos puede proveer ambos servicios.

La cantidad de puntos de voz y datos se obtienen a partir de la tabla 2.4, se suma la cantidad de puertos que se requieren para cada uno de estos servicios por planta. Se debe notar que la cantidad de puntos de datos es mayor a la de áreas de trabajo ya que se requieren impresoras y puntos de acceso inalámbrico.

Planta	Puntos de voz	Puntos de datos
Planta baja	88	91
Primera	103	107
Segunda	96	100
Tercera	110	115
Cuarto	52	57
Total	449	470

Tabla 2.8 Puntos de voz y datos en la red LAN

a.2. Salida de telecomunicaciones

Cada salida está compuesta por *jacks* RJ45 y cajetines dobles, estas salidas se ubican a 50 cm sobre el piso. Adicionalmente se utilizan *conduit* y canaletas para llegar a los distintos puntos de red.

a.3. Patch cords

Los *patch cords* son los destinados a la conexión entre las salidas de telecomunicaciones y las estaciones de trabajo, deben tener la suficiente longitud con el objetivo de brindar flexibilidad.

Para el clóset de telecomunicaciones se utilizarán *patch cords* de 3 pies y de 7 pies para cada punto de datos en el área de trabajo.

b. Cableado Horizontal

El medio de transmisión utilizado para el siguiente diseño de sistema de cableado estructurado es el cable UTP de cuatro pares categoría 5e, escogido por las razones antes descritas.

b.1. Cálculo del cableado horizontal

El cálculo de cableado horizontal se lo realiza siguiendo los siguientes pasos:

- Ubicación de salidas de telecomunicaciones.
- Ubicación del cuarto de telecomunicaciones.
- Determinar la ruta de los cables.
- Medir las distancias hacia cada punto para determinar la longitud de cable UTP.
- Calcular el número de *racks* necesarios.
- Obtener la cantidad de *conduit* necesario.
- Obtener la cantidad de canaleta.

b.1.1. Ubicación de salidas de telecomunicaciones

La ubicación de los puntos consta en el Anexo H, en el cual solamente se muestran los correspondientes a datos ya que para la telefonía utilizaremos VoIP.

b.1.2. Ubicación del cuarto de telecomunicaciones (CT)

En el presente diseño se pretende colocar un cuarto de telecomunicaciones por piso, debido a la gran cantidad de salidas de telecomunicaciones que el edificio necesita. Su ubicación se presenta en el Anexo J.

b.1.3. Ruta del cableado

La ruta de los cables hace referencia al camino que van a tomar desde el cuarto de telecomunicaciones hacia cada una de las oficinas. La determinación de las rutas nos ayuda al cálculo de la cantidad de *conduit* a utilizar.

La ruta de los cables en cada uno de los pisos, se encuentra en el Anexo H.

b.1.4. Longitud de cable UTP

La longitud de cable UTP se la obtiene a partir de mediciones sobre los planos del edificio de oficinas, referente al cual se está realizando el presente proyecto. La tabla 2.9 contiene el total en metros de cable UTP para cada una de las plantas, así como el total en metros y en rollos, considerando que cada rollo tiene una longitud de 305 m.

b.1.5. Conduit

El *conduit* llevará el cable UTP sobre el techo falso para llegar a cada una de las oficinas.

Planta	Longitud de cable UTP (m)
Planta Baja	2476,3
Primera Planta	3891,5
Segunda Planta	4060,6
Tercera Planta	4099,4
Cuarta Planta	2083,4
Subtotal (m)	16611,2
TOTAL = Subtotal + cableado vertical	16626,2
No. Rollos = TOTAL (m) / 305 m	55

Tabla 2.9 Cantidad de cable UTP para el diseño del sistema de cableado estructurado en el edificio de oficinas.

Para obtener la cantidad de *conduit*, son importantes dos puntos:

- La tabla de equivalencias del diámetro de *conduit*.

- Las medidas de las rutas de cableado que se obtendrán desde los planos del Anexo H.

La tabla 2.10 muestra los distintos tipos de *conduit*, indicando su diámetro y la capacidad de cables UTP que poseen.

<i>Conduit</i>		<i>Número de Cable 24 AWG</i>
<i>Diámetro Interno (mm)</i>	<i>Medida (pulg)</i>	
15.8	½	0
20.9	¾	3
26.6	1	6
35.1	1 ¼	10
40.9	1 ½	15
52.5	2	20
62.7	2 ½	30
77.9	3	40

Tabla 2.10 *Conduit*: Capacidad de cables UTP en función del diámetro

En la tabla 2.11 se resume la cantidad de *conduit* necesario, en base a la tabla 2.10 y a las medidas obtenidas desde los planos.

b.1.6. Canaletas

La finalidad de la canaleta es darle un buen aspecto al cableado que llega al punto de red en el área de trabajo.

<i>Conduit</i>	PB	P1	P2	P3	P4	TOTAL (m)
¾"	60,00	108,40	121,70	118,90	83,10	492,10
1"	53,50	36,20	27,30	57,70	29,20	203,90
1 ¼"	17,00	26,50	29,70	14,70	32,50	120,40
1 ½"	33,30	25,90	25,20	10,80	33,80	129,00
2"	8,30	27,00	26,40	17,60	19,10	98,40
2 ½"	5,90	54,70	72,10	48,40	22,00	203,10
3"	25,40	20,50	7,70	36,00	0,00	89,60

Tabla 2.11 Cantidad de *conduit* en metros de cada una de las plantas

La canaleta llevará el cable UTP desde el techo falso hasta los puntos de salida de telecomunicaciones; esta distancia es de 1,5 m. La tabla 2.12 muestra la

cantidad de salidas de telecomunicaciones por cada una de las plantas, este dato es necesario para el cálculo de la cantidad de canaleta.

Planta	No. Salidas de telecomunicaciones
Planta Baja	53
Primera Planta	80
Segunda Planta	66
Tercera Planta	85
Cuarta Planta	41
Total	325

Tabla 2.12 Número de salidas de telecomunicaciones por planta

Notar que el número de salidas de telecomunicaciones no coincide con el número de puntos de datos (tabla 2.8), esto se debe a que algunas de las salidas corresponden a una sola área de trabajo mientras otras corresponden a dos AT.

La cantidad de canaleta mostrada en la tabla 2.13, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Canaleta (m) Planta Baja} = 1,5 \text{ m} \times 53 \text{ Salidas de telecomunicaciones}$$

c. Clóset de telecomunicaciones

Como se mencionó anteriormente, en el diseño se tiene un clóset de telecomunicaciones por piso, por la gran cantidad de puntos que se tiene en cada uno de ellos.

Planta	Canaleta (m)
Planta baja	79,5
Primera	120
Segunda	99
Tercera	127,5
Cuarto	61,5
Total	487,5

Tabla 2.13 Cantidad de canaleta (m) por planta

c.1. Patch panels: La cantidad de *patch panels* que se puede observar en la tabla 2.14 se calcula como se indica a continuación:

No. Patch Panels Planta Baja = 92 Puntos de datos / 24

Si se utilizan *patch panels* de 24 puertos.

Planta	No. Patch panels
Planta baja	4
Primera	5
Segunda	5
Tercera	6
Cuarta	3
TOTAL	23

Tabla 2.14 Número de *Patch Panels* por planta

c.2. Rack: Los *racks* por cada planta dependen de la distribución que se necesite para los elementos que se pretenden utilizar:

c.2.1. Planta Baja: *Rack* 6 pies

EQUIPOS Y ACCESORIOS	HU (1,75'')
5 <i>Patch Panel</i>	5
5 Organizadores	5
4 <i>Switches</i>	4
4 Bandejas	4
Separación	9
Ampliación planta baja	2
Tolerancia	2
Tomas eléctricas	2
TOTAL	33

Tabla 2.15 Equipos y accesorios – *Rack* Planta Baja

c.2.2. Primera Planta: *Rack* 6 pies

EQUIPOS Y ACCESORIOS	HU (1,75'')
5 <i>Patch Panel</i>	5
5 Organizadores	5
5 <i>Switches</i>	5
5 Bandejas	5
Separación	10
Ampliación planta baja	2
Tolerancia	2
Tomas eléctricas	2
TOTAL	36

Tabla 2.16 Equipos y accesorios – *Rack* Primera Planta

c.2.3. Segunda Planta: 1 *Rack* 4 pies y 1 *Rack* de 6 pies

En esta planta se tendrá el cuarto de equipos, donde además de los *switches* correspondientes a la planta, también se consideran los *switches* de distribución, de *core*, el *router* y el *firewall* de nuestra red. Adicionalmente también se añaden dos *patch panels* de 24 puertos para el cableado vertical.

EQUIPOS Y ACCESORIOS	HU (1,75'')
7 Patch Panel	7
7 Organizadores	7
1 Router	2
1 Firewall	1
1 Switch de core	7
2 Switches de distribución	2
5 Switches acceso	5
10 Bandejas	10
Separación	17
Ampliación planta baja	2
Tolerancia	2
Tomas eléctricas	6
TOTAL	68

Tabla 2.17 Equipos y accesorios – Rack Segunda Planta

c.2.4. Tercera Planta: Rack 6 pies

EQUIPOS Y ACCESORIOS	HU (1,75'')
5 Patch Panel	5
5 Organizadores	5
5 Switches	5
5 Bandejas	5
Separación	10
Ampliación planta baja	2
Tolerancia	2
Tomas eléctricas	2
TOTAL	36

Tabla 2.18 Equipos y accesorios – Rack Tercera Planta

c.2.5. Cuarta Planta: Rack de 4 pies

EQUIPOS Y ACCESORIOS	HU (1,75'')
3 Patch Panel	3
3 Organizadores	3
3 Switches	3
3 Bandejas	3
Separación	6
Ampliación planta baja	2
Tolerancia	2
Tomas eléctricas	2
TOTAL	24

Tabla 2.19 Equipos y accesorios – Rack Cuarta Planta

2.5.2.1.2. Diseño de la red Activa

La red activa básicamente comprende el dimensionamiento de los *switches*, de acuerdo a las estaciones de trabajo y el tráfico que va a cursar por la red.

Los *switches* que hoy en día se tienen en el mercado permiten el manejo de aplicaciones que requieren anchos de banda considerables. En este caso, se trata de aplicaciones de oficina como acceso a Internet, correo interno, compartir información y VoIP.

La cantidad de *switches* de acuerdo al número de estaciones de trabajo se resume en la tabla 2.20.

Planta	No. Switches
Planta Baja	91/24 = 4
Primera	107/24 = 5
Segunda	100/24 = 5
Tercera	115/24 = 5
Cuarto	57/24 = 3
TOTAL	22 switches de 24 Puertos

Tabla 2.20 Número de *Switches* por planta

El diagrama de red correspondiente se puede observar en el Anexo I. A continuación se resumen las características de los dispositivos a ser utilizados en esta opción de diseño de la red LAN.

Las características técnicas en cuanto al *Router* y *Firewall* a utilizar, son las mismas que se encuentran descritas anteriormente en el diseño de red con tecnología PLC, por lo que se escogen los mismos dispositivos.

El *switch* de *core* (figura 2.20) debe tener las siguientes características mínimas:

- Velocidad en sus puertos de 100 Mbps.
- Interfaces LAN RJ-45, para la conexión hacia el *firewall* y hacia los *switches* de distribución.
- Doble fuente de poder, para tener redundancia en cuanto a la alimentación (Redundancia 1+1)
- Estándares: *Ethernet* IEEE 802.3, *Fast Ethernet* 802.3u, *Virtual LAN* 802.1Q, *Spanning-Tree* IEEE 802.1D, Seguridad IEEE 801.1x.
- Protocolos de gestión: SNMP, RMON.
- Arquitectura para voz y datos.

- Soporte de QoS.
- Conmutación a nivel de capa 3.

Marca: Cisco Catalyst 4503 *Switch*

Puertos: 24 *Ethernet* 10Base-T, *Ethernet* 100Base-TX

Garantía: 1 año



Figura 2.20 *Switch* de core Cisco 4503

El *switch* de distribución (figura 2.21) debe contar con las siguientes especificaciones mínimas:

- Velocidad en sus puertos de 100 Mbps.
- Interfaces LAN RJ-45 para la conexión hacia el *switch* de core y hacia los *switches* de acceso.
- Protocolos de interconexión: *Ethernet*, *Fast Ethernet*.
- Protocolos de direccionamiento: OSPF, IGRP, BGP-4, RIP-1, RIP-2, EIGRP, direccionamiento IP estático.
- Protocolos de gestión: SNMP v1, v2; RMON, Telnet.
- Soporte VLAN.
- Estándares: IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.1D, IEEE 802.1Q, IEEE 802.1x.

Marca: Cisco Catalyst 3750-24TS *Switch*

Puertos: 24 *Ethernet* 10/100

Tabla de direcciones MAC: 12000 entradas

Garantía: 1 año



Figura 2.21 *Switch* de distribución Cisco 3750

El *switch* de acceso (figura 2.22) debe contar con las siguientes especificaciones mínimas:

- Velocidad en sus puertos de 100 Mbps.
- 24 puertos para la conexión hacia los puntos de red y hacia los *switches* de distribución.
- Protocolos de interconexión: *Ethernet*, *Fast Ethernet*.
- Protocolo de gestión. SNMP.

Marca: Cisco Catalyst 2960-24TT-L

Tabla de direcciones MAC: 8000 entradas

Puertos: 24 puertos 10/100 *Ethernet* y 2 puertos 10/100/1000

Garantía: 1 año



Figura 2.22 *Switch* de acceso Cisco 2960

Las especificaciones técnicas mínimas para la selección del Punto de Acceso inalámbrico (figura 2.23) son las siguientes:

- Velocidad de 54 Mbps.
- Estándares: IEEE 802.11 a/b/g.
- Protección *Wireless Equivalent Privacy* (WEP), *Wi-Fi Protected Access* (WPA/WPA2)
- Soporte VLAN 802.1q.
- Protocolo de gestión: SNMP.

Marca: 3Com® *Wireless 7760 11a/b/g PoE Access Point*

Interfaces: RJ-45, IEEE 802.11 a/b/g

Garantía: 3 años



Figura 2.23 Punto de acceso inalámbrico 3Com 7760

2.5.2.2. Presupuesto red LAN con cableado estructurado

2.5.2.2.1. Presupuesto de la Red pasiva

La tabla 2.21 muestra el presupuesto de la realización de un sistema de cableado estructurado en el mismo edificio sobre el cual se diseña la red con tecnología PLC. Los precios no incluyen IVA.

ELEMENTO	VALOR UNITARIO (\$)	CANTIDAD	TOTAL (\$)
Jacks RJ-45	2,3	470	1081
Rack de 4 pies	82	2	164
Rack de 6 pies	116	4	464
Patch Panels (de 24 puertos)	65	25	1625
Bandejas	13,5	27	364,5
Organizadores Horizontales	10,5	25	262,5
Face plate	0,98	325	318,5
Cajetines	1,2	325	390
Rollos de cable UTP Cat. 5e	98,5	55	5417,5
Canaleta (2 m) 40X25	3,68	244	897,92
Patch Cord (3 ft) Categoría 5e	7	506	3542
Patch Cord (7 ft) Categoría 5e	13	470	6110
Conduit ¾" (3 m)	3,78	165	623,7
Conduit 1" (3 m)	5,55	68	377,4
Conduit 1 ¼" (3 m)	8,19	41	335,79
Conduit 1 ½" (3 m)	9,52	43	409,36
Conduit 2" (3 m)	12,14	33	400,62
Conduit 2 ½" (3 m)	17,78	68	1209,04
Conduit 3" (3 m)	25,75	30	772,5

Etiquetas para <i>patch panel</i> (1000 unidades)	105	1	105
Etiquetas para cable horizontal y <i>patch cords</i> (2500 unidades)	65	1	65
Subtotal			24935,33
Costo de diseño (por hora)	25	96	2400
Costo de instalación (por salida)	15	325	4875
Pruebas de certificación (por punto)	8	470	3760
TOTAL			35970,33

Tabla 2.21 Presupuesto de la red pasiva del diseño de una red LAN basada en cableado estructurado

2.5.2.2.2. Presupuesto de la Red activa

La tabla 2.22 muestra el presupuesto de instalar los dispositivos de red necesarios para cubrir los puntos de trabajo del edificio de oficinas.

En total se tiene un presupuesto de \$ 79396,43 para una red LAN diseñada con sistemas de cableado estructurado y utilizando los equipos que tradicionalmente se usan en las redes cableadas.

Dispositivo	Valor Unitario (\$)	Unidades	Valor Total (\$)
<i>Router</i>	3790	1	3790
<i>Firewall</i>	970,8	1	970,8
<i>Switch core</i>	10498,2	1	10498,2
<i>Switch distribución</i>	4200	2	8400
<i>Switch acceso</i>	799,2	22	17582,4
<i>Access Point</i>	218,47	10	2184,7
TOTAL			43426,1

Tabla 2.22 Presupuesto de la red activa del diseño de una red LAN basada en cableado estructurado

2.5.2.3. Comparación entre diseños LAN

Como se ha podido observar la realización de un diseño LAN utilizando cableado estructurado, implica mayor tiempo y mayor cantidad de elementos para la red pasiva que el diseño utilizando la tecnología PLC; esta última aprovecha las instalaciones eléctricas con las que ya cuenta el edificio para la comunicación, por lo que se evita el diseño de la red pasiva.

En cuanto a la experiencia existente en el mercado, ya son muchos años que se ha utilizado cableado estructurado en la realización de diseños LAN por lo cual es una tecnología muy familiarizada y confiable. La tecnología PLC por otro lado es confiable siempre y cuando las instalaciones de la construcción se encuentren en buen estado, además al ser nueva en el mercado no es muy utilizada.

En cuanto a costos se ha demostrado con el diseño en ambas tecnologías, que utilizando la tecnología PLC se tiene un menor presupuesto (\$ 44409,82) que el diseño realizado en base a sistemas de cableado estructurado (\$ 79396,43).

De lo que se puede observar el costo del diseño con tecnología PLC representa el 55,87% con respecto al costo correspondiente al diseño con cableado estructurado, guardando aproximadamente una relación de 2 a 1.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS REGULATORIO Y NORMATIVOS DE LA TECNOLOGÍA *POWER LINE COMMUNICATIONS*

En el presente capítulo se tratarán las normas y estándares de la tecnología PLC, por lo que para empezar, es necesario diferenciar lo que es un estándar y lo que es una norma.

Un **estándar** se define como una especificación, que regula la realización de ciertos procesos o la fabricación de componentes para garantizar la interoperabilidad.

La estandarización encierra los deseos, las propuestas de todas las instituciones relevantes como son los fabricantes, asociaciones de consumidores, juristas, centros de investigación, entidades de certificación e inspección.

Una **norma**, en cambio, es un conjunto de reglas estandarizadas que contienen un catálogo de requisitos, los cuales se refieren tanto a productos como a procesos.

Los institutos de normalización en telecomunicación (como por ejemplo, la ITU a nivel global), producen normas que están elaboradas por comités de especialistas, donde se juegan fuertes intereses industriales, en procesos generalmente lentos.

3.1. ESTÁNDARES Y NORMAS DE PLC

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

- *HomePlug Powerline Alliance*,
- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*),
- IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*),
- 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:

Home Plug PowerLine 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.

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.

IEEE

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.

UPA

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.

3.1.1. 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.

CLASIFICACIÓN DE BANDAS	RANGO DE FRECUENCIAS
Banda A	9Khz a 95Khz
Banda B	95Khz a 125Khz
Banda C	125Khz a 140Khz
Banda D	140Khz a 148.5Khz

Tabla 3.1 Asignación de Bandas de Frecuencias CENELEC-EN^[81]

- **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.
- **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.
- **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.
- **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.

Norma RegTP NB30

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

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).

3.1.2. 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:

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.

IEEE P1901

Anteproyecto del Estándar para tecnología PLC (acceso, *indoor* 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)*

El proyecto 1901 pretende ser reconocido de forma total por la industria PLC y ser el lugar de donde el estándar para esta tecnología pueda surgir. Las fechas se presentan de la siguiente manera:

- Aprobación formal de los requerimientos – Marzo 2007.
- Presentación de propuestas técnicas- Mayo 2007.
- Punto de partida para la selección de propuestas – Junio de 2007.

ETSI TS 101 867

Especificación técnica para tecnología PLC, publicada en noviembre del 2000, para la coexistencia entre sistemas de acceso e *indoor*.

Los sistemas PLC de acceso e *indoor*, comparten el espectro entre 1.6 y 30 MHz. La importancia del estándar radica en evitar interferencias entre los sistemas de acceso y la red *indoor*. Señala además, que es aplicable a ambas tecnologías PLC.

ETSI TR 102 049

Especificación técnica para tecnología PLC, publicada en mayo del 2002, para los requerimientos de calidad de servicio en sistemas *in-home*. Las contribuciones

para la realización de este estándar provinieron de: ETSI, IEEE, IETF, y los documentos de la ITU-T.

El estándar contiene definición de parámetros y requerimientos de calidad de servicio (QoS) para sistemas PLC *in-home*, es decir, para aplicaciones en el ambiente intra-hogareño como voz, audio/video y servicios de datos.

Define perfiles para las aplicaciones de acuerdo a la calidad de servicio que necesitan, y perfiles para la calidad de servicio que necesita la red. Cada uno de estos perfiles es definido por un conjunto de parámetros únicos, utilizando ingeniería de tráfico, con reservación de recursos y manejo de los medios a disposición.

CEPCA (*Customer Electronics Powerline Communications Alliance*)

De las empresas *Sony*, *Mitsubishi* y *Panasonic*, CEPCA es un estándar orientado a la coexistencia entre las tecnologías *Powerline*.

LonWorks

Es un estándar utilizado alrededor del mundo para la automatización de hogares, manejo de luminarias públicas, administración de energía eléctrica y para aplicaciones de medición.

X10

Es un estándar internacional abierto, desarrollado en 1975 por *Pico Electronics*, para la comunicación entre dispositivos electrónicos usados para la automatización de hogares, a lo que se le conoce comúnmente como domótica.

Estándares similares a este son: KNX, INSTEON, BACnet y *LonWorks*.

En la tabla 3.1 se resumen las normas y estándares, europeos y americanos, anteriormente citados. Se observa que algunos de ellos son a nivel mundial.

	Europea	Americana
Normas	UNE-EN 50065-1:2002	
	UNE-EN 50065-2-1:2004	
	UNE-EN 50065-2-1:2004/A1:2006	
	UNE-EN 50065-2-2:2004	
	UNE-EN 50065-2-2:2004/A1:2006	
	UNE-EN 50065-2-2:2004/A1:2006 CORR:2007	
	UNE-EN 50065-2-3:2004	
	UNE-EN 50065-2-3:2004/A1:2006	
	UNE-EN 50065-4-1:2002	
	UNE-EN 50065-4-2:2002	
	UNE-EN 50065-4-2/A1:2003	
	UNE-EN 50065-4-2:2002/A2:2005	
	UNE-EN 50065-4-3:2004	
	UNE-EN 50065-4-4:2004	
	UNE-EN 50065-4-5:2004	
	UNE-EN 50065-4-6:2004	
	UNE-EN 50065-4-7:2006	
	UNE-EN 50065-4-7:2006 CORR:2007	
	UNE-EN 50065-7:2002	
	UNE-EN 50412-2-1:2006	
RegTP NB30		
MP 1570		
Estándares		HomePlug 1.0
	IEEE P1901	
	ETSI TS 101 867	
	ETSI TR 102 049	
	CEPCA	
	LonWorks	
X10		

Tabla 3.1 Resumen de normas y estándares para la tecnología PLC a nivel Europeo y Americano

3.2. ESTRUCTURA DE LA ESTANDARIZACIÓN

La estructura para estandarización del PLC, puede observarse en la figura 2.1, en la que consta de forma separada, lo que se está realizando a nivel de Estados Unidos y Europa.

En la figura 2.2, se muestra la estructura a nivel de Europa, de manera más detallada; así como, la relación que tendría a nivel mundial. Los números dan una indicación de la secuencia de las actividades. El PLC *Forum* (PLC F), ejerce el papel de un grupo de presión en todo el proceso.

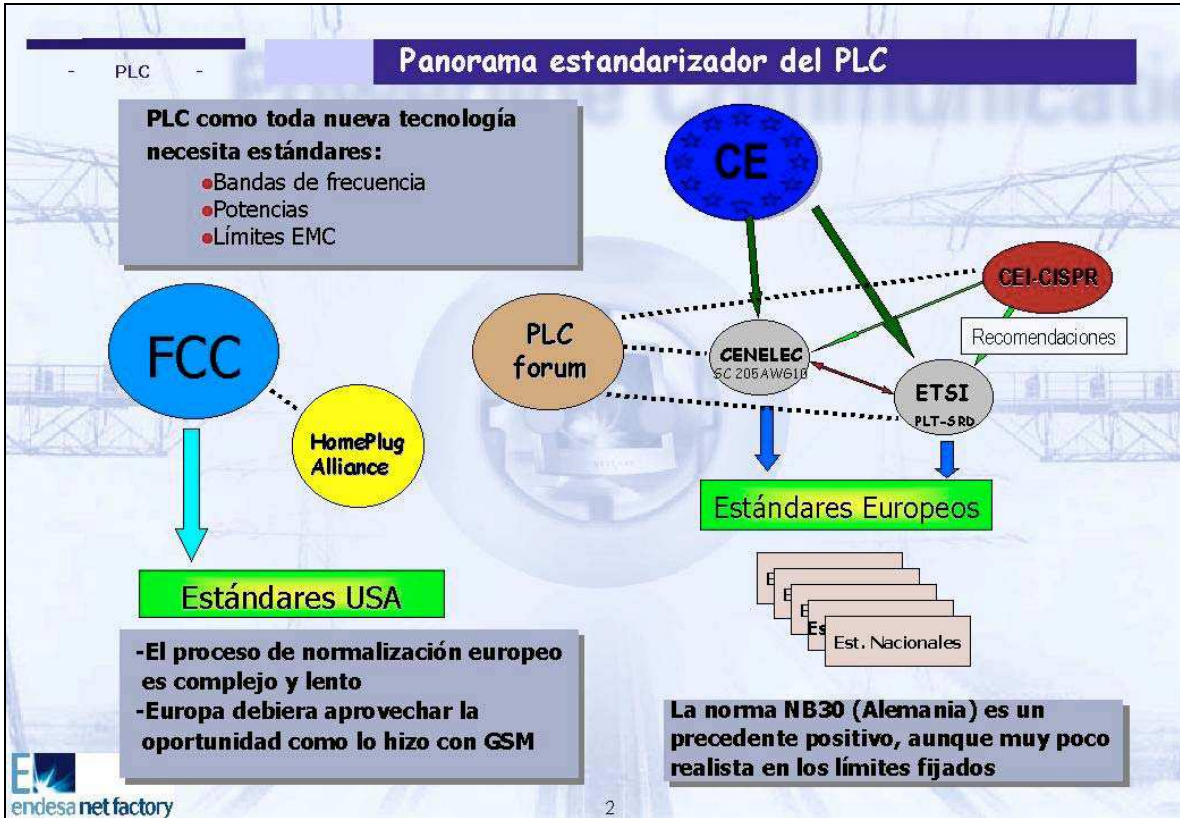


Figura 3.1 Panorama estandarizador del PLC ^[15]

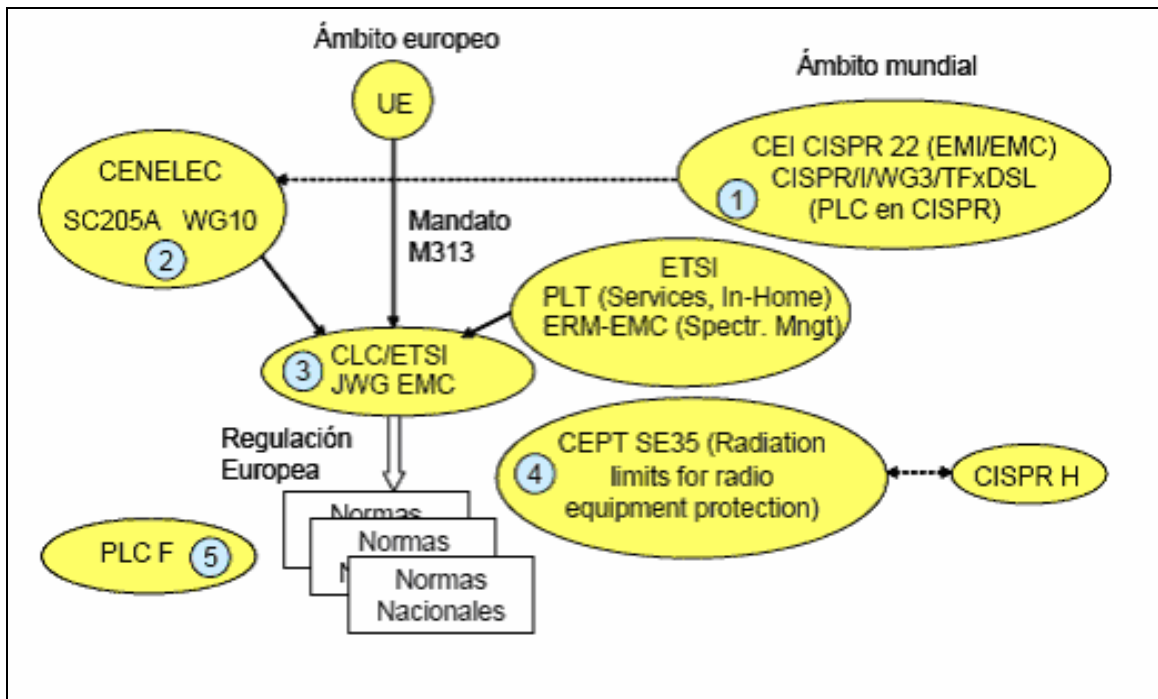


Figura 3.2 Proceso de regulación de PLC en Europa ^[19]

3.3. SITUACIÓN REGULATORIA ACTUAL

3.3.1. ASPECTOS REGULATORIOS

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

- Regulaciones técnicas
- Regulaciones de servicio
- Regulaciones organizativas

3.3.1.1. 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.

3.3.1.2. 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*.

3.3.1.3. 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?

3.3.2. SITUACIÓN REGULATORIA EN EL ECUADOR

La información de la situación regulatoria en nuestro país para la tecnología PLC, todavía no se encuentra estipulada en ningún documento, por lo que la misma se la obtuvo a partir de una entrevista personal con el Ing. Bernardo Morales de la Dirección General de Gestión de los Servicios de Telecomunicaciones de la SENATEL.

Como se menciona anteriormente, 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.”

De lo cual se puede interpretar lo siguiente:

- Si se desea la utilización de tecnología PLC en una urbanización, no podrá realizarse.
- Si se desea la utilización de tecnología PLC en un edificio, podrá realizarse siempre y cuando sea de un mismo dueño.

En cuanto a la tecnología PLC, el Ing. Morales señaló:

- PLC como red de acceso, necesitaría una regulación que como anteriormente se indicó, está en investigación.
- PLC como tecnología *indoor*, no necesitaría ninguna regulación.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La tecnología PLC nos permite combinar tanto la parte cableada como la parte *wireless*, utilizando siempre dispositivos PLC.
- Los dispositivos PLC de venta en el mercado son compatibles con la norma *Homeplug 1.0* y con *Homeplug AV*, ambas se diferencian en sus velocidades de 85 Mbps y 200 Mbps respectivamente, además del ámbito de sus aplicaciones; *Homeplug 1.0* se orienta a aplicaciones de redes LAN mientras que *Homeplug AV* es para aplicaciones de audio y video AV.
- Como se ha podido observar en el capítulo de diseño, toma más tiempo realizar el diseño del sistema de cableado estructurado que realizar una infraestructura LAN con tecnología PLC.
- Considerando que la red pasiva es aquella que conecta el cuarto de telecomunicaciones hacia los distintos puntos de red, se puede concluir que en el diseño de una red LAN con tecnología PLC no se tiene este inconveniente, ya que lo que tomaría el nombre de red “pasiva” es la red eléctrica, que cualquier tipo de construcción ya la tiene incluida. Los costos solamente implicarían los elementos pertenecientes a la red activa.
- El diseño de una red LAN con sistemas de cableado estructurado, implica la utilización de muchos elementos, al contrario que el diseño de una red con tecnología PLC utiliza la red eléctrica para la comunicación, esto es, un ahorro en el medio de transmisión porque ya se encuentra instalado.
- Las redes realizadas bajo un sistema de cableado estructurado requieren de la normalización en su instalación y certificación de los puntos de red; en cuanto a una red diseñada con tecnología PLC, no requiere todavía de

una certificación en los puntos de red debido a que aún no se tiene una normalización para PLC *Indoor* aprobada a nivel mundial.

- En el mercado existen productos con tecnología PLC compatibles de acuerdo a la norma especificada por *Homeplug 1.0* o *Homeplug AV* para aplicaciones de Audio y Video, esta es una norma propietaria de *Homeplug*, pero por lo que se puede ver se está convirtiendo en una norma de facto ya que muchos fabricantes las están adoptando para sus productos.
- En la elección de productos para la realización del diseño se conocieron dispositivos PLC que brindan distintas opciones, no sólo la conexión a nivel LAN sino también conexión a nivel inalámbrico, el manejo de aplicaciones como voz sobre IP, audio y video, todas éstas utilizando las instalaciones eléctricas.
- Actualmente la tecnología PLC es mayormente utilizada en aplicaciones de audio y video por las velocidades a las que permite llegar, 200 Mbps. Las aplicaciones en comunicación de datos todavía no se encuentran explotadas de la misma manera.
- Se espera que para este año con los servicios que pretende ofrecer la Empresa Eléctrica Quito sobre sus redes eléctricas, atraiga la atención de distribuidores de productos PLC, haciendo de estos diseños algo más práctico en nuestra sociedad tecnológica.
- Una ventaja muy grande del sistema de cableado estructurado es la disponibilidad en el mercado de sus elementos, mientras que para la realización de una red con tecnología PLC se necesitaría importar productos o aguardar por las ofertas que se esperan en nuestro mercado como se mencionó en el punto anterior.

- *Power Line Communications* es una tecnología relativamente nueva que comenzó como un mecanismo para la realización de mediciones remotas, pero tan útil que con el tiempo se ha convertido en una excelente alternativa cuando se trata de aplicaciones de audio y video por la velocidad que ofrece para estas aplicaciones; y con este proyecto de titulación se pretende proyectar a esta tecnología en el campo de las redes de datos, donde todavía no ha sido muy explotada.

4.2. RECOMENDACIONES

- La utilización de la tecnología PLC para el diseño LAN se recomienda en construcciones con redes eléctricas en buen estado, debido a que si existen demasiados empalmes o si ésta se encuentra en mal estado, se pueden tener pérdidas y los cables podrían actuar como antenas causando errores e interferencias.
- Es recomendable que si se realiza este diseño para un edificio de oficinas, éste tenga una red estabilizada y sea ésta la que se utilice para la comunicación. Por red estabilizada, se entiende a aquella que se encuentra protegida por conexiones a tierra, respaldo de energía con UPS's, generadores y bancos de baterías.
- En la práctica se recomienda que los conductores pertenecientes a la red eléctrica con la cual se va a realizar el diseño, se aislen debidamente, con la finalidad de impedir cualquier tipo de interferencia.
- Al seleccionar los dispositivos con los cuales se va a trabajar, dos características son muy importantes: el costo y la garantía. En los productos PLC se pudo observar que el mínimo es de 1 año de garantía y la máxima es de 3 años.
- Cuando se escoge una tecnología para la comunicación de datos en una LAN, se debe conocer las condiciones sobre las que se realizará y los requerimientos de los usuarios; también es importante tener conocimiento

de una nueva alternativa, en este caso PLC, para tomarla en cuenta al momento de decidir la tecnología a utilizar.

- Para la realización de pruebas de forma práctica, al menos se debe contar con dos dispositivos PLC, y si se quieren evitar las pérdidas de señal, las instalaciones eléctricas deben estar en buen estado.
- Como proyecto de titulación se recomienda realizar la implementación de una red utilizando los dispositivos PLC, pero sobre un edificio que tenga instalaciones eléctricas en un estado aceptable, de manera que se estudie las pérdidas de señal que se pueden tener en secciones en las cuales las instalaciones se encuentren buenas y en las cuales se encuentren en mal estado.
- Se recomienda la realización de un Marco Legal que sirva como propuesta para el establecimiento de regulaciones acerca de la aplicación de la tecnología PLC en nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

1. Broadband Power Line Communications – WILEY, John – 2004
2. Instalaciones Eléctricas – AVILES, Fausto – 2005
3. Teoría de Información y Codificación – JIMÉNEZ, Ma. Soledad – 2004
4. Comunicación Digital – JIMÉNEZ, Ma. Soledad – 2004
5. Redes de Área Local – HIDALGO, Pablo - 2006

DOCUMENTOS

6. Comportamiento de la Tecnología PLC en la Red Eléctrica – GARCÍA, Jorge – 2007
7. Funciones de monitoreo y control de signos vitales a través del envío de datos, a distancia, usando la red eléctrica – HERNÁNDEZ, Glenn – 2007
8. White Paper on Power Line Communications (PLC) – PLC Forum – 2004
9. Selección De Un Operador Para Prestar Servicios De Telecomunicaciones Soportados Sobre La Infraestructura De La EEQ S.A., Utilizando Tecnologías BPL (Broadband Over Power Line) O Plc (Power Line Communications) – Empresa Eléctrica Quito – 2007
10. Powerline Communication LAN sobre Red Eléctrica – Jalercom – 2006
11. Octavo Boletín Tecnológico – Osiptel – 2007
12. Fundamental Media – ZOTA, Volker – 2005
13. Boletín Respira Energía – Iberdrola – 2003
14. Tecnología PLC: informe de situación – Autel - 2003
15. PLC: El enchufe a la Sociedad de la Información – Varios Autores – 2003
16. Acontecimientos de Regulación y Mercados de Energía – InfOsinerg – 2003
17. Las Telecomunicaciones y las Empresas eléctricas en España – BLANCO, Pedro – 2006
18. Ley Especial de Telecomunicaciones - 1992
19. Comunicaciones por línea eléctrica (PLC) – 2005

20. PLC “La comunicación a través del tendido eléctrico” – IGLESIAS, Mariano – 2007
21. First draft of the OPERA specification version 2 – OPERA – 2007
22. D51. White Paper: OPERA Technology – OPERA – 2007
23. Newsletter # 1 – OPERA – 2007
24. D11: Reference guide on the description of field trials and test procedures – OPERA – 2007
25. Opera Specification, Part 1: Technology – OPERA – 2006
26. Opera Specification, Part 1: System – OPERA – 2006
27. IEEE P1901 Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications – DONELLY, Brian – 2006
28. Redes PLC – OLIVARES, Juan Carlos – 2007
29. Power Line Communications – TecnoCom – 2005
30. Cómo IP puede llegar ...a todo el planeta: 6POWER – PALET, Jordi – 2003
31. Tecnología Powerline – MENÉNDEZ, Daniel – 2001
32. Powerline Communications – PEÑA, Oscar – 2002
33. Tecnologías de Convergencia sobre Redes de Video Cable y Redes Eléctricas – IWAN, Eduardo – 2006
34. Situación en EE.UU. – 2005
35. White Paper - Solutions For Triple Play Home Networking Play – DS2 – 2007
36. Powerline Communication Systems - Access/In-home & In-home/Inhome coexistence mechanism - General specifications – UPA – 2005
37. Digital Home Specification White-paper – Corinex Communications Corp., Design of Systems on Silicon DS2 – 2006
38. Proyectos Piloto USA – OPERA – 2007
39. Tecnología PLC – VIVANCO, J – 2004
40. Power Line Communications - VASQUEZ, Noel – 2007
41. Normas PLC – AENOR – 2007
42. Sistemas de Cableado Estructurado – FLORES, Fernando – 2004
43. Redes de Acceso – VIDAL, Francisco – 2003
44. Electric Broadband Access – PLC Ventures

45. Evolución de la Tecnología de Acceso a Internet – Veá, Andreu - 2002

PROYECTOS DE TITULACIÓN

46. Diseño de un ISP, basado en la tecnología PLC, para la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Autores: Christian David Bravo

José Andrés Calle

Director: MSc. Alex Rodríguez

Fecha: Junio/2006

47. Ingeniería de detalle para el diseño de una Intranet con conexión a Internet para aplicaciones de voz, datos y video utilizando la arquitectura TCP/IP

Autores: Herrera Miriam

Hidalgo Wendy

Director: Ing. Pablo Hidalgo

Fecha: Octubre/2004

PÁGINAS WEB

48. <http://www.ds2.es/technology/technology.html>

49. http://members.fortunecity.es/shaggysoft/pagina_shaggy/PLC.htm

50. <http://www.plcforum.org.ar/new/ayuda.html>

51. <http://www.espanol.frecuenciaonline.com/home/contenidos.php?id=15&identificaArticulo=1490>

52. <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=33> - MUÑIZ, Arizú – 2005

53. <http://www.noticias3d.com/articulo.asp?idarticulo=261&pag=8>

54. <http://www.gestiopolis.com/Canales4/ger/proyectopl.htm> - PLANCARTE, Federico - 2005

55. <http://www.alambre.info/2003/11/03/internet-por-el-cable-de-la-luz/> - LOPEZ, Carlos – 2003

56. <http://www.masterdisseny.com/master-net/tribuna/index.php3> - VILLACAMPA, Javier - 2004

57. http://www.upapl.com/page_viewer.asp?section=FAQ&sid=3

58. http://www.citel.oas.org/newsletter/2005/septiembre/plc_e.asp - CITEL - 2005
59. http://es.wikipedia.org/wiki/Power_Line_Communications
60. <http://www.satconxion.es/productos-servicios-redes-plc-desc.php>
61. <http://www.computeridea.es/Servicios/imprimir/20070305045>
62. <http://www.telkonet.com/installation.html>
63. <http://www.elmundo.es/navegante/2003/10/17/esociedad/1066394563.html>
- ROMERO, Pablo - 2003
64. http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-31232678_ITM - IBARRA, Alejandro - 2005
65. <http://www.espanol.frecuenciaonline.com/home/contenidos.php?id=28&identificaArticulo=1242>
66. <http://www.elmundo.es/navegante/graficos/2001/03/internetelectrico.html>
67. <http://www.expansion.com/edicion/exp/empresas/telecomunicaciones/es/develop/999533.html>
68. <http://econopolitica.blogspot.com/2006/11/mxico-tecnologas-y-monopolios-en.html> - LEÓN, Luis - 2006
69. <http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=19&m=164&idm=26&pat=148&n2=148>
70. <http://www.commsdesign.com/main/2000/12/0012feat5.htm> - GARDNER, Steve - 2000
71. <http://www.etsi.org/WebSite/homepage.aspx>
72. <http://www.homeplug.org/about/faqs/>
73. http://es.wikibooks.org/wiki/Mejores_Practicas_para_Redde_de_Datos/Infraestructura#Est.C3.A1ndares_del_Cableado_estructurado
74. <http://www.reliableconnections.com/newsletter.ihtml?actionStep=viewOlder&newsletter=463> - ORBOVIC, Miroslav – 2007
75. <http://www.adslzone.tv/especial-plc/> - Video
76. <http://www.domoticaviva.com/X-10/X-10.htm>
77. <http://www.radioaficionados.info/desastre.html>
78. <http://www.cisco.com/mx/index.shtml>
79. <http://asokausa.com/>
80. <http://www.3com.com/>

81. http://www.elcomercio.com/solo_texto_search.asp?id_noticia=84807&anio=2007&mes=8&dia=14
82. <http://www.revistaesalud.com/index.php/revistaesalud/rt/printerFriendly/170/461>
83. http://www4.quito.gov.ec/spirales/8_diccionario_de_la_base_de_datos/8_5_servicios_basicos/8_5_4_2.html