



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**“Caracterización de los Servicios
Triple-Play mediante comunicaciones sobre líneas eléctricas”**

**Previa la obtención del Título de
INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES
CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES**

ELABORADO POR:

KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS

DIRECTORA DEL PROYECTO

ING. MARÍA LUZMILA RUILOVA AGUIRRE

GUAYAQUIL – ECUADOR

Febrero 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. Katherine Margarita Sabando Galeas como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

Guayaquil, Febrero de 2014

Ing. Ing. Luis Palau de la Rosa
DIRECTOR

REVISADO POR

Ing. Marcos Montenegro Tamayo, Mgs.

Ing. Miguel Heras Sánchez

Ing. Miguel Heras Sánchez
RESPONSABLE ACADÉMICO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Caracterización de los Servicios Triple-Play mediante comunicaciones sobre líneas eléctricas”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Guayaquil, Febrero de 2014

LA AUTORA

KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: “Caracterización de los Servicios Triple-Play mediante comunicaciones sobre líneas eléctricas”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Febrero de 2014

LA AUTORA

KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS

DEDICATORIA

Dedico mi esfuerzo a mis padres: Margarita Galeas Franco y Elio Sabando Zambrano, mi más grande inspiración son ustedes que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, así mismo a mi hermano menor Jhormman Sabando Galeas mi mejor compañero de equipo. Además, dedico esta tesis a cada joven emprendedor que anhele un futuro mejor a base de su propio esfuerzo, a cada soñador que piense que puede cambiar al mundo y a cada loco que lo intenta. A mis profesores de la Facultad Técnica, quienes a través de su enseñanza y amistad, forjaron base sólida de conocimiento para alcanzar una carrera profesional.

LA AUTORA

KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS

AGRADECIMIENTO

A Dios por sus infinitas bendiciones y llenar mi vida de dicha y felicidad.

A mi familia: mis padres, mi hermano, mis tíos y primas que me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de la carrera a pesar de los muchos altibajos.

A mis profesores de la Facultad Técnica para el Desarrollo por compartir experiencias, conocimientos, respeto y su afecto, a sus autoridades y en especial a mi tutora de tesis Ing. Luzmila Ruilova Aguirre, por compartir su tiempo y conocimiento para el análisis, desarrollo y revisión de la tesis. Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron con la realización de esta investigación.

LA AUTORA

KATHERINE MARGARITA SABANDO GALEAS

INDICE GENERAL

CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVO GENERAL	3
1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.7 HIPÓTESIS	4
1.8 METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	4
CAPITULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
2.1 LA RED ELECTRICA.....	8
2.1.1 ESTRUCTURA DE LA RED ELECTRICA.....	8
2.2 RUIDO EN LA RED ELECTRICA.....	10
2.2.1 PROPAGACIÓN MULTITRAYECTORIA	11
2.2.2 ATENUACION EN LA PROPAGACIÓN	11
2.2.3 RELACION SEÑAL RUIDO (SNR).....	12
2.3 COMUNICACIÓN POR LINEAS ELECTRICAS, POWER LINE COMMUNICATION (PLC).....	12
2.3.1 OPERACIÓN DE PLC	14
2.3.2 ARQUITECTURA DE PLC	16
2.4 MODULACION EN PLC	20
2.4.1 MODULACION DE ESPECTRO ENSANCHADO	20
2.4.2 MODULACION OFDM.....	21
2.4.3 OPERACIÓN DE OFDM.....	22
2.4.4 PROCESOS DE MODULACION Y DEMODULACION EN OFDM	23
2.4.5 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA MODULACION OFDM	25
2.5 RED PLC.....	25
2.5.1 DISPOSITIVOS DE UNA RED PLC.....	27
2.6 PROCESO DE GESTION DE LA RED PLC.....	33
2.7 EVALUACION DE TRAFICO EN PLC.....	34
2.8 APLICACIONES DE PLC.....	35
2.9 FUNCIONES <i>TRIPLE PLAY</i>	37
2.9.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA <i>TRIPLE PLAY</i>	37
2.10 FUNDAMENTOS DE TRÁFICO.....	38

2.10.1	CALIDAD DE SERVICIO	38
2.10.2	PERTURBACIONES EN SERVICIOS DE VOZ.....	39
2.10.3	PERTURBACIONES EN SERVICIOS DE VIDEO.....	40
2.10.4	PERTURBACIONES EN SERVICIOS DE DATOS.....	41
CAPITULO 3	REDES PLC	43
3.1	INTRODUCCIÓN A BPL	45
3.2	MODULACIÓN DE BANDA ANCHA EN PLC	46
3.2.1	MODULACIÓN OFDM.....	48
3.2.2	MODULACIÓN DSSS	49
3.3	UTILIDADES DE PLC.....	50
3.3.1	UTILIDADES INTERIORES.....	50
3.3.2	UTILIDADES DE ÚLTIMA MILLA.	52
3.4	LIMITACIONES DE PLC.....	53
3.5	SUPERIORIDADES DE PLC.	53
3.6	EL MODELO OSI.....	53
CAPITULO 4	SISTEMAS CATV	55
4.1	CARACTERIZACION DE LA RED CATV.....	56
4.1.1	RED TRONCAL PRIMARIA.	56
4.1.2	RED SECUNDARIA.....	57
4.1.3	RED DE DISPERSION.	58
4.1.4	RED DE DISPERSION CON CABLE COAXIAL.....	58
4.1.5	RED DE USUARIOS.	59
4.2	ELEMENTOS DE LA RED.....	59
4.2.1	HEAD END (CABECERA).	59
4.2.3	EL NODO SECUNDARIO.....	65
4.2.4	EL NODO TERMINAL OPTICO	66
4.3	DECODIFICADOR O TERMINAL DE USUARIO.....	66
CAPÍTULO 5	RED DE BANDA ANCHA DE TRIPLE PLAY MEDIANTE PLC.	70
5.1	CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA CATV	70
5.1.1	PLANOS REQUERIDOS	70
5.1.2	ESTRUCTURA DE LA RED	72
5.1.3	LA RED HFC.....	74
5.1.4	LOS CENTROS DE TRANSFORMACION	82
5.2	DISEÑO DEL SISTEMA PLC	82
5.2.1	LA RED ELECTRICA	82

5.2.2 LA RED DE DATOS.....	83
CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86
GLOSARIO.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diagrama del sistema de suministro eléctrico.....	9
Figura 2.2 Arquitectura PLC.....	13
Figura 2.3 Topología PLC.....	13
Figura 2.4 Distribución de frecuencias en PLC.....	14
Figura 2.5 Implementación de PLC en baja tensión.....	15
Figura 2.6 Red de acceso urbana.....	16
Figura 2.7 Red de acceso rural.....	18
Figura 2.8 Arquitectura indoor de PLC.....	19
Figura 2.9 Red de acceso en edificios.....	19
Figura 2.10 Red en vivienda unifamiliar.....	20
Figura 2.11 Modulación Spread Spectrum.....	21
Figura 2.12 Modulación OFDM.....	22
Figura 2.13 Diagrama de bloques del transmisor OFDM.....	24
Figura 2.14 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación basado en OFDM.....	24
Figura 2.15 Esquema de la infraestructura para acceso a Internet de banda ancha mediante PLC.....	26
Figura 2.16 Aplicación de PLC en un hogar digital.....	27
Figura 2.17 Modem PLC de Arteixo Telecom.....	27
Figura 2.18 Equipo de cabecera PLC.....	28
Figura 2.19 Arquitectura PLC.....	29
Figura 2.20 Equipo de cabecera (<i>Head End</i>).....	29
Figura 2.21 Uso de modernos <i>Home Gateways</i> y enrutadores en el hogar.....	30
Figura 2.22 Modelo de Gateway.....	31
Figura 2.23 Nodo de medio voltaje.....	32
Figura 2.24 Acopladores PLC capacitivos e inductivos.....	32

Figura 2.25	Aplicaciones de PLC en el hogar.....	35
Figura 2.26	Servicios PLC.....	36
Figura 3.1	Red de distribución eléctrica.....	41
Figura 3.2	Acondicionamiento de la red eléctrica.....	44
Figura 3.3	Arquitectura BPL.....	45
Figura 3.4	Modulación de una señal.....	46
Figura 3.5	Modulación OFDM.....	47
Figura 3.6	Modulación DSSS.....	48
Figura 3.7	Utilidades interiores.....	50
Figura 3.8	Utilidades de última milla.....	51
Figura 3.9	Capas del modelo OSI.....	53
Figura 4.1	Red CATV-HFC.....	54
Figura 4.2	Arquitectura de una red CATV.....	55
Figura 4.3	Redes de distribución de un sistema CATV.....	56
Figura 4.4	Red superpuesta para telefonía en un sistema CATV.....	57
Figura 4.5	Red CATV.....	59
Figura 4.6	Estructura de la cabecera de una red CATV.....	59
Figura 4.7	La matriz de conmutación de una red CATV.....	61
Figura 4.8	Esquema del transmisor óptico.....	62
Figura 4.9	Esquema del receptor óptico.....	63
Figura 4.10	Nodo óptico.....	65
Figura 4.11	Esquema de la red de abonado.....	66
Figura 4.12	Divisor o <i>splitter</i>	66
Figura 4.13	Derivador o <i>tap</i>	67
Figura 5.1	Modelo de un plano de las calles con sus nombres.....	69
Figura 5.2	Modelo de implementación de planta externa.....	69

Figura 5.3 Modelo de plano de planta externa.....	70
Figura 5.4 Modelo de red inicial de CATV.....	71
Figura 5.5 Red troncal de fibra óptica.....	71
Figura 5.6 Red HFC.....	71
Figura 5.7 Potenciales puntos de falla de la red.....	73
Figura 5.8 Disminución de los potenciales puntos de falla de la red.....	74
Figura 5.9 Fragmentación en celdas.....	74
Figura 5.10 Diseño de la red.....	75
Figura 5.11 Red de datos para banda ancha.....	77
Figura 5.12 Ámbito de PLC.....	78
Figura 5.13 Operación de PLC.....	78

RESUMEN

PLC (*Power Line Communication*, Comunicaciones por Líneas de Energía), es una técnica para envío de datos mediante los cables de electricidad. Es propuesta como una opción para el acceso para transmitir información. Este sistema utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) y CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access and Collision Avoidance*, Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Prevención de Colisiones), para la modulación de las señales.

En telecomunicaciones el servicio convergente denominado *Triple Play*, es el empaquetamiento compuesto de los servicios de telefonía, datos y video mediante un único medio de acceso.

En este trabajo de investigación se analiza el servicio de *Triple-Play* con la red eléctrica como medio de transmisión, usando el estándar *Home Plug 1.0* de este tipo de tecnología y considerando varios indicadores tales como la dimensión de los paquetes, cantidad de *host*, trayecto entre estaciones, entre otros factores.

ABSTRACT

PLC (Power Line Communication) is a technique for sending data over power lines. It is proposed as an option for access to transmit information. This system uses OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) and CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance), for modulation of signals.

In the converging telecommunications service called Triple Play, is the packing compound models telephony, data and video via a single gateway.

In this research service Triple-Play with the mains as the transmission medium is analyzed using Home Plug 1.0 of this technology standard and considering several indicators such as the size of packets, number of host, path between stations, among other factors.

CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han evolucionado rápidamente desde la simple transmisión de voz hasta las redes de telecomunicaciones actuales que permiten transmitir datos y video, generando las denominadas tecnologías de la información. Este desarrollo llega a la convergencia de servicios brindados por diferentes tecnologías y que se integran en un solo medio de transmisión.

Se considera como una de las causas que han provocado esta evolución del mercado de la informática y las telecomunicaciones a la aparición de Internet, que se inició como una manera de comunicarse y con el tiempo se convirtió en una herramienta fundamental de las empresas y de la sociedad en general, a tal punto que en la actualidad se lo considera indispensable en las actividades comunes de quienes la utilizan, así se generan nuevas tecnologías y servicios.

Los proveedores de servicios de Internet en Ecuador, ofertan a sus clientes métodos de acceso tales como los siguientes:

- Líneas telefónicas convencionales, mediante módems convencionales o a través de tecnología ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*, Línea de Abonado Digital Asimétrica).
- CATV (*Community Antenna Television System*, Sistema de Televisión por Antena Colectiva)
- Enlaces inalámbricos
- Enlaces satelitales.

Es importante notar que todas estas formas de acceso dependen de la infraestructura de su red.

Como una solución alternativa a los métodos de acceso indicados, aparece en el entorno de las empresas eléctricas la tecnología PLC, que permite transformar un tomacorriente común en un punto de acceso a una red de telecomunicaciones a través de las líneas eléctricas de potencia.

1.2 ANTECEDENTES

En este trabajo de investigación se quiere establecer la eficacia y utilidad de utilizar la red eléctrica para brindar servicios de *Triple Play* mediante la tecnología PLC.

Este análisis de la red eléctrica permitirá determinar el tipo de tráfico que puede soportar y consecuentemente la información que se podría transmitir, la capacidad de tráfico, el ancho de banda permitido, así como también su prestancia frente a problemas tales como el *Jitter* o el retardo, entre otros.

El análisis de la red PLC como medio de acceso permitirá establecer su capacidad de poder transmitir servicios *Triple Play*, al comparárselos con estándares internacionales.

Las líneas de distribución de electricidad son consideradas como un medio de transmisión alternativo para el transporte de información por el bajo costo a causa de que se trata de un cableado existente.

La utilización de la red eléctrica como medio de transmisión de información aparece en 1950, época en que se la usaba para el control de las líneas eléctricas transmitiendo datos a baja velocidad de las compañías eléctricas, esta transmisión se realizaba a baja frecuencia bajas y en una sola dirección.

Posteriormente se desarrollaron investigaciones para la transmisión de datos a través de la red eléctrica, tecnología que ha ido evolucionando por lo que está siendo implementada en algunos países.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de determinar medios de transmisión alternativos para brindar conectividad en el Ecuador, cuya población en su mayoría no puede acceder a los servicios de telecomunicaciones.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación que permita establecerla ventaja que representaría la utilización del sistema PLC para brindar servicios convergentes *Triple Play*.

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Efectuar un estudio de la tecnología PLC y de los requerimientos para la transmisión de servicios *Triple Play*.
2. Determinar la posibilidad de utilizar las redes eléctricas con tecnología PLC para la transmisión de servicios *Triple Play*.
3. Analizar los resultados de la investigación realizada para determinar la aplicabilidad de la red eléctrica como medio de transmisión.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la información es recibida de diferentes fuentes y en varias maneras, por esta razón se crea la necesidad de desarrollar mejores medios de transmisión y redes. Este problema es evidente por ejemplo en las redes de acceso, razón por la cual se pensó en la realización de este trabajo de investigación para analizar la provisión de servicios de *Triple Play* utilizando PLC.

La necesidad planteada en el párrafo anterior se genera por las nuevas exigencias de tráfico requerido para la propagación de servicios actualizados de video y datos, considerando que las redes se diseñaron únicamente para telefonía sin considerar los requerimientos actuales, por esta razón en esta investigación se analiza la propuesta

de presentar como una alternativa la utilización de la red eléctrica con tecnología PLC para la transmisión de voz, datos y video.

Partiendo del hecho de que se tiene red eléctrica en casi todos los lugares, se podría aplicar tecnología PLC y brindar el acceso a los diferentes servicios ya mencionados, esto mejoraría la eficiencia puesto que como ya se indicó las redes actuales no soportan de una manera apropiada la transmisión de los mismos.

1.7 HIPÓTESIS

La utilización de la red eléctrica con tecnología PLC como medio de transmisión de servicios de telecomunicaciones permitirá el acceso a ellos de manera amplia en el Ecuador satisfaciendo la necesidad de conectividad y contribuyendo al desarrollo de la sociedad.

1.8 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Este trabajo de investigación busca establecer la posibilidad de emplear la red eléctrica mediante PLC para la transmisión de voz, video y datos. Esto requiere un análisis del medio de transmisión, el tráfico que circula por él determinando todos los datos a enviar para calcular la capacidad de ese tráfico, ancho de banda empleado, *jitter*, retardo, entre otros parámetros.

Se trata de una investigación de perfil explicativo, en razón de que se intenta valorar la técnica PLC para propagar datos en banda ancha y adicionalmente expresar la causa del fenómeno estudiado.

El paradigma correspondiente es el Empírico-Analítico, el trabajo presenta un enfoque cuantitativo y el diseño de la Investigación es no experimental transversal debido a que no se manejarán premeditadamente las variables de estudio y se realizará la observación directa del fenómeno como se produce en su entorno natural para posteriormente efectuar el análisis correspondiente.

En cuanto a la validez de esta investigación, debido a las particularidades del trabajo y los productos alcanzados, es posible considerar que el mismo verifica las razones de la validez de una exploración científica.

CAPITULO 2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

PLC es una tecnología que permite transmitir voz y datos por medio de la red eléctrica, esto permite valerse de la más grande red instalada, ya que más de 3.000 millones de personas cuentan con energía eléctrica en todo el mundo, la cual gracias a la aplicación de esta tecnología se transformaría en la mayor red de telecomunicaciones.

El cliente podrá acceder a los servicios de telecomunicaciones mediante un módem PLC conectado a un tomacorriente eléctrico, estableciéndose así la conexión de banda ancha, sin necesidad de tender nuevo cableado, esto significa una gran ventaja desde el punto de vista estético y económico.

Entre las principales características de la tecnología PLC, se destacan las siguientes:

- Es una tecnología de banda ancha
- No afecta la frecuencia de la corriente eléctrica (50-60 Hz),
- Opera en la banda de 1,8 a 30 MHz
- Alcanza velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps
- Permite la transmisión simultánea de voz y de datos.
- Permite una conexión permanente sin afectar la prestación del suministro eléctrico.

Sin embargo, PLC no es una idea nueva, nace hace más de cuarenta años en que las empresas eléctricas empiezan a emplear las líneas de distribución de energía en sus procesos de gestión, pero las limitaciones técnicas propias de la época impidieron su aplicación en transmisiones de alta velocidad hasta los noventa en que alcanzaron el orden de los Mbps.

En su corta historia ha sido también llamada BPL (*Broadband over Power Line*) y su principal limitación es la interferencia que produce en algunas bandas del espectro, generando inconvenientes especialmente para los radioaficionados.

En 1920 surge el proyecto de transmitir información mediante las líneas eléctricas, sin saber la importancia que esto podría alcanzar, años después comienzan a desarrollarse sistemas que trabajan de los 15 KHz hasta los 500 KHz.

En la siguiente década estos sistemas ya operaban en media y baja tensión, propagando información de los 125 Hz a 3 KHz, limitado por el angosto ancho de banda y el alto valor del equipamiento. En la década de los cincuenta se transmitía mediante los cables eléctricos a 10 Hz y con una potencia de 10 KW para gestionar remotamente los repetidores.

Más tarde empresas de Canadá y Reino Unido mostraron al público un sistema para acceder a internet mediante transmisión dúplex por cables de distribución de electricidad. Los avances que se producían al mismo tiempo en técnicas de modulación, encriptación y determinación de errores, contribuyeron también a la evolución de PLC. Posteriormente Alemania se unió a este proceso llegando a comercializar esta tecnología y luego empresas españolas desarrollaron proyectos en algunas localidades de su país.

Esta tecnología por sus específicas tipologías de diseño tiene un entorno de acción muy amplio. El continuo desarrollo del *hardware* y *software* extiende cada día este mercado para poder solucionar las necesidades que aparecen dentro sus posibilidades reales. Sin embargo la carencia actual de estándares por parte de IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) significa que el suministro del servicio está lejos de ser un proceso estandarizado y repetible.

Esto implica que cada fabricante desarrolla equipos PLC que funcionan de diferente modo y sin compatibilidad, con protocolos diversos y con bandas de frecuencias diferentes. Por este motivo se han organizado grupos de tareas y foros para establecer estándares de este sistema tales como PLC Fórum, UPA (*Universal Powerline Association*), PUA (*PLC Utilities Alliance*), *Home Plug Alliance*, entre otras.

2.1 LA RED ELECTRICA

En telecomunicaciones se presenta como uno de sus más importantes inconvenientes el acceso a internet en sitios remotos en los que no están disponibles los sistemas de transmisión con cables o inalámbricos. Surge entonces en este entorno una técnica con un rápido desarrollo y que emplea las redes eléctricas para transmisión de información, siendo éste un aspecto fundamental si se considera que la mayoría de las localidades poseen instalaciones eléctricas, las cuales con PLC se convierten en puntos de acceso.

La gran ubicuidad de las redes eléctricas permite considerar a PLC como una tecnología alternativa para el despliegue de redes de telecomunicaciones.

Con esta tecnología los cables de distribución de energía eléctrica de baja y media tensión se transforman en medios de transmisión para comunicaciones de banda ancha empleando los tomacorrientes normales, a través de los cuales los usuarios podrán acceder a servicios de internet, telefonía, utilidades multimedia, videoconferencias, etc.

2.1.1 ESTRUCTURA DE LA RED ELECTRICA

La distribución eléctrica implica todo lo necesario para producir, transportar y distribuir la energía. Este sistema integrado mostrado en la figura 2.1, posee equipos de control distribuido, seguridad y protección, es regularizado por un proceso de gestión centralizado para alcanzar la utilización razonada de los recursos de producción con calidad de servicio conforme a la demanda de los usuarios.

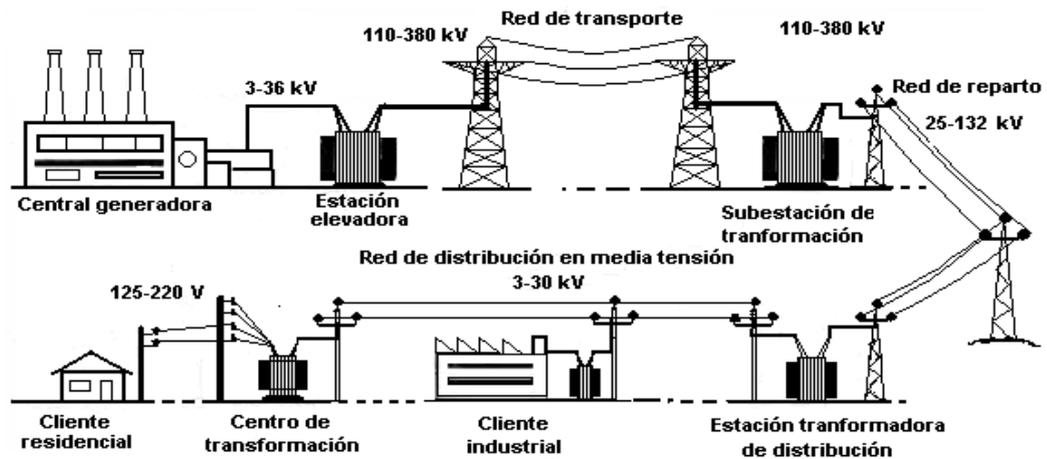


Figura 2.1 Diagrama del sistema de suministro eléctrico
Fuente: <http://www.cicloscombinados.com/sistemaaltatension.html>

La sección correspondiente al transporte electricidad está conformada por los componentes requeridos para trasladarla hasta los usuarios. Para ello, las capacidades de electricidad generada deben ser convertidas a un mayor nivel de potencial, de esta manera la corriente va por la red primaria de alto voltaje. Este traslado se realiza por postes y transformadores.

La sección de distribución se realiza por medio de cables aéreos sostenidos en torres metálicas o postes para llevar la electricidad a 23, 13.2 ó 4.16 Kv, o por cables canalizados cuya infraestructura es más costosa. Estos son los cables de bajo voltaje que pueden ser primarios de 23 o 13.2 Kv o secundarios de 120/240 voltios. Bajo esta estructura, estas redes aparecen integradas por tres niveles: alto, medio y bajo voltaje, cada uno con distintas tipologías de acuerdo a los requerimientos y pérdidas que ocurran.

La red de alto voltaje es la etapa del primer transformador amplificador hasta la primera subestación de transporte, su potencial va de 220 a 400 Kv y su finalidad es transportar la electricidad en s tensiones para reducir las pérdidas en razón de que se deben cubrir grandes distancias en esta fase. Además, por éstas líneas se pueden transmitir datos de gestión y órdenes de reordenamiento de la red, es usual que las

empresas eléctricas implementen estructuras de comunicaciones en esta etapa y son empleadas de acuerdo a sus requerimientos de conexión entre subestaciones.

En medio voltaje las líneas son muy entrelazadas para alcanzar una gran área y satisfacer los requerimientos de los usuarios. Esta etapa incluye las estaciones transformadoras de distribución y los centros de transformación. En este tramo los potenciales son de 600 V a 40 Kv ya que se trata de menores distancias. También se transmiten datos de gestión y reordenamiento de la red.

Por último, en bajo voltaje los cables salen de los centros de transformación y llegan a cada usuario entregando el suministro eléctrico, siendo por lo tanto la etapa final de la red de distribución. Estos cables trabajan en corriente alterna a 60 Hz de frecuencia y 110 o 220 V. Esta es una red compartida porque muchos usuarios se enlazan a la misma fase.

2.2 RUIDO EN LA RED ELECTRICA

En definitiva las redes eléctricas se construyeron para el suministro de electricidad y no para transmitir datos, razón por la cual para emplearla de esta manera se necesita un gran ancho de banda, ya que es un entorno muy adverso para la transmisión de información por ser un medio ruidoso, con gran atenuación y una respuesta en frecuencia muy inconstante, por lo tanto varía aleatoriamente en el tiempo y depende de la SNR (Relación Señal-Ruido). En PLC la banda de frecuencias de utilidad va de 1.7 a 30 MHz, en la cual el ruido presente corresponde al impulsivo y al de interferencia de banda angosta.

Por lo expuesto, cualquier aparato eléctrico conectado a la red de energía es una fuente de ruido, pudiendo ser de banda ancha como el generado por el motor de un electrodoméstico, o de ruido impulsivo como el producido por los atenuadores de luz. A continuación se explicarán algunos de ellos:

- El ruido de fondo aparece en la red eléctrica a causa del transformador de distribución o por el alumbrado público.
- El ruido impulsivo es el más fuerte y puede afectar la transmisión de datos por la red eléctrica.

En resumen, el ruido en PLC es generado especialmente por los aparatos que se conectan a la red de suministro de energía.

2.2.1 PROPAGACIÓN MULTITRAYECTORIA

Considerando que cualquier tomacorriente es un punto de acceso gracias a PLC, se tendrá múltiples enchufes y puntos de reflexión, razón por la cual la señal no viajará únicamente en forma directa del transmisor al receptor sino que también utilizará otras vías adicionales para llegar a su destino, las cuales por lo general son más largas produciéndose un retraso en el tiempo, de esta manera la multitrayectoria produce ecos y desvanecimiento selectivo.

En los cables eléctricos la impedancia varía aleatoriamente a causa de los puntos de discontinuidad y la reflexión y refracción de las señales por las diversas rutas características de las líneas eléctricas, por esta razón es posible aplicar los principios de comunicaciones para los multitrayectos.

2.2.2 ATENUACION EN LA PROPAGACIÓN

Ya se indicó anteriormente que la red eléctrica no es el medio ideal perfecto para la propagación de información, su atenuación en la región de los MHz en la cual opera PLC es muy variable y relativamente alta, siendo su mayor limitante la fuerte variación de los parámetros del canal en el tiempo, debido al aumento o disminución de las cargas conectadas a la red, generando impedancias no lineales en el canal.

La atenuación del cable eléctrico es de aproximadamente 0,5 dB/Km a una frecuencia de 9 KHz y de 1,5dB/Km a 95 KHz. Al ser variante en el tiempo, la atenuación puede variar hasta en 20 dB en determinadas frecuencias, produciendo un notable desvanecimiento de la señal y desperfectos en la propagación de información.

2.2.3 RELACION SEÑAL RUIDO (SNR)

Al inicio de esta sección se indicó la dependencia del canal de la SNR, puesto que ésta permite establecer la capacidad de la portadora para transportar la información a la frecuencia requerida considerando la atenuación y el ruido del canal.

2.3 COMUNICACIÓN POR LINEAS ELECTRICAS, POWER LINE COMMUNICATION (PLC)

Se ha establecido ya en este trabajo que PLC emplea la red eléctrica de bajo y medio voltaje, como canal de transmisión para brindar servicios de banda ancha de alta calidad. De esta manera con PLC, el usuario tendrá en cada tomacorriente a más de electricidad acceso a variados servicios como internet por ejemplo.

Es importante establecer que para esto no se requieren instalaciones adicionales o antenas y de esta manera se optimiza la capacidad de los equipos enlazados a la red. Por esta razón PLC surge como una opción ante los actuales sistemas de acceso de banda ancha o como un complemento a ellos.

En la figura 2.2 se muestra un modelo esquemático de la arquitectura de la aplicación de la tecnología PLC.

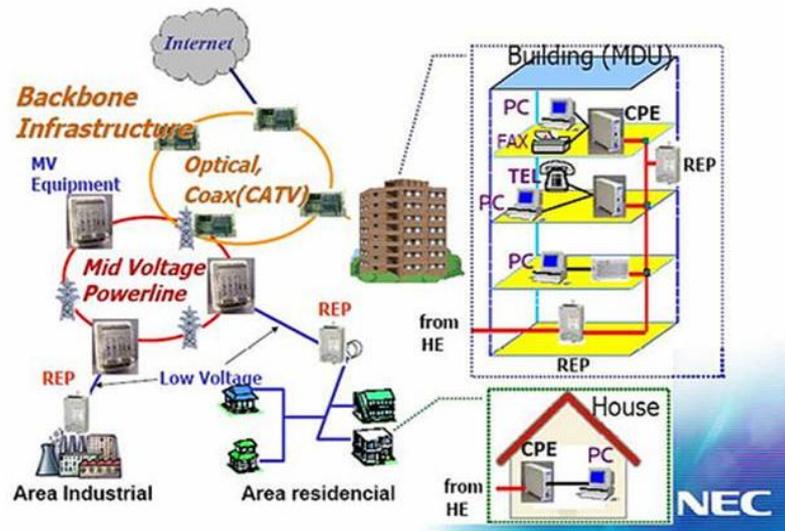


Figura 2.2 Arquitectura PLC

Fuente: comunicacioneselectronicas.com

PLC ofrece servicios de banda ancha a tasas de 2 Mbps o más, permitiendo así brindar servicios multimedia a más clientes y en zonas lejanas. Una muestra del alcance de PLC se puede observar en la figura 2.3

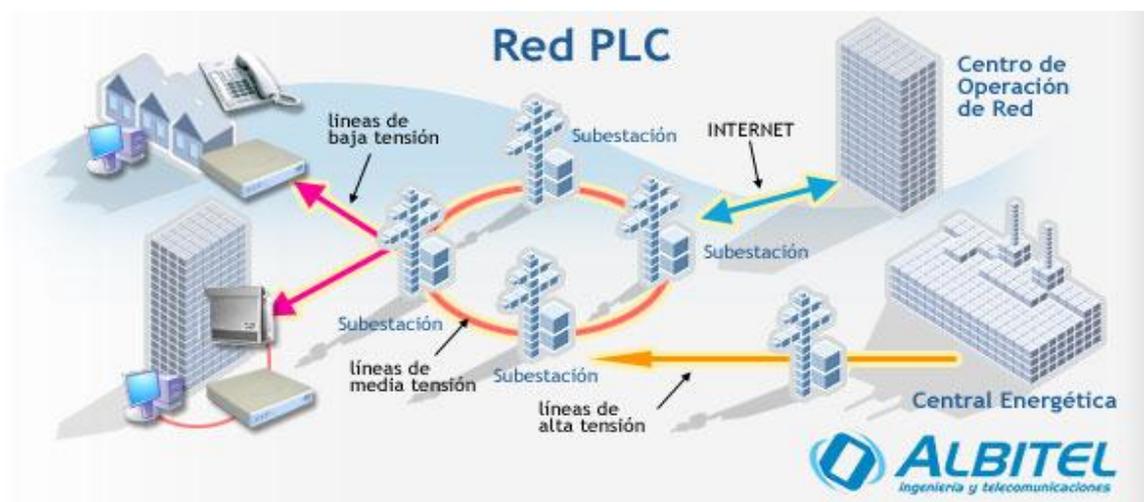


Figura 2.3 Topología PLC

Fuente: Albitel S.L. Ingeniería y Telecomunicaciones

2.3.1 OPERACIÓN DE PLC

Al tratar acerca de la estructura de la red eléctrica se indicó que está formada por la etapa de medio voltaje (6.3 a 23 Kv) suministrando energía en áreas urbanas, convirtiéndose en una red de distribución para PLC para el transporte de información y el tramo de bajo voltaje (110 a 220 V), que correspondería a la red de abonado en telecomunicaciones.

En la figura 2.4 se muestra la distribución de las frecuencias en el medio de transmisión al aplicar PLC, observándose que la electricidad se propaga a 60 Hz y las señales de información lo hacen en la banda de 1 a 30 MHz, razón por la cual fluyen al mismo tiempo por el cable eléctrico.

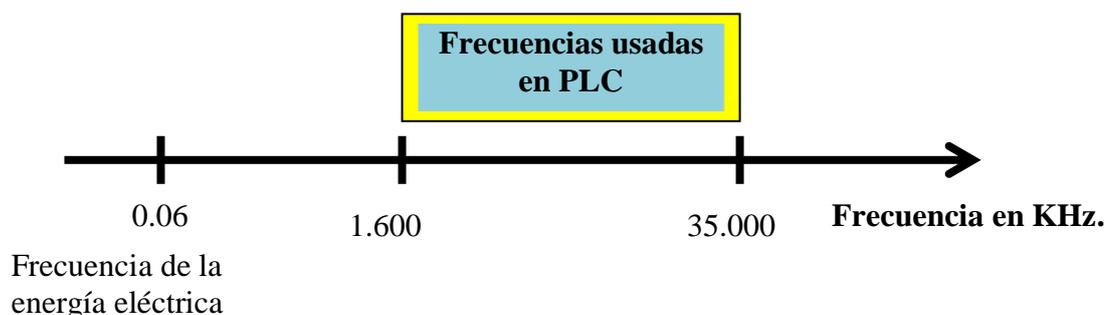


Figura 2.4 Distribución de frecuencias en PLC
Fuente: Autor

La integración de los sistemas de telecomunicaciones y de electricidad se produce en los transformadores o en la subestación de distribución, mediante el empleo de dispositivos de dos puertos conectados a un ISP (*Internet Service Provider*, Proveedor de Servicios de Internet) a través de fibra óptica por ejemplo y al gestor de PLC.

Un modelo esquemático de la implementación de PLC en baja tensión se puede observar en la figura 2.5.

El usuario solo requiere un módem PLC conectado a un tomacorriente para establecer el enlace de banda ancha. Este módem, que puede encargarse de hasta 256

equipos, recibe la señal de un repetidor ubicado en el cuarto de medidores del edificio, el cual se conecta a un centro de distribución del que recibe la información a una tasa de hasta 200 Mbps (un enlace ADSL convencional brinda 0.5 Mbps). Los resultados obtenidos con el uso de ADSL han permitido la introducción de las tecnologías conocidas como ADSL2 y ADSL2+ (ITU G.992.3 o G.dmt.bis y G.992.4 o G.lite.bis) las cuales producen cambios importantes que permiten nuevos servicios, mejores desempeños funcionales y mayor interoperabilidad por lo que han ido ganando una fuerte presencia en el mercado de la banda ancha. ADSL2 puede alcanzar flujos máximos descendentes (D) de 12 Mbps y ascendentes (U) de 1 Mbps, respectivamente, sin aumento del ancho de banda.

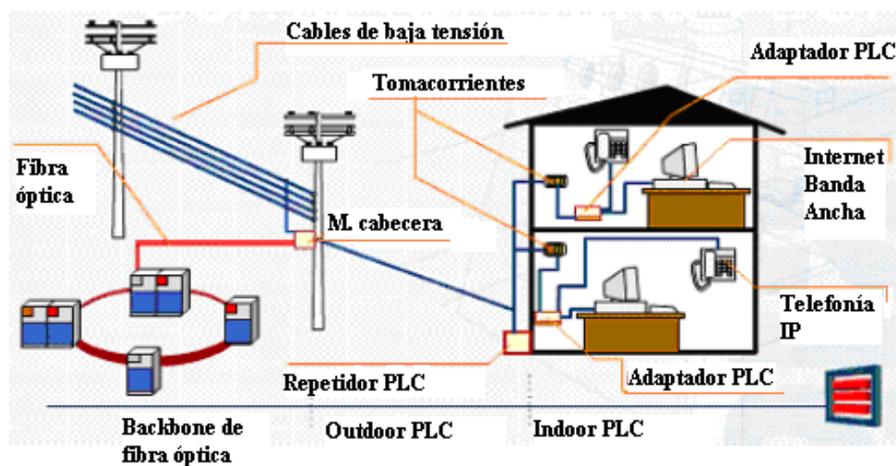


Figura 2.5 Implementación de PLC en baja tensión

Fuente: http://blog-del-linformatico.blogspot.com/2008_10_01_archive.html

En el mercado de las telecomunicaciones, se presenta una oferta de redes de acceso de banda ancha vía cable o inalámbrica, completa y diversa. En realidad, cada sistema presenta ventajas y limitaciones, entendiéndose que ningún método satisface todas las situaciones y depende del servicio ofrecido y del medio, las propiedades del sistema establecerán el más idóneo para cada situación.

Bajo esta consideración, el sistema BPL aparenta brindar ventajas sobre los enlaces convencionales de banda ancha con cable coaxial o DSL. Además, la oferta de

transmisión de datos a través de la telefonía móvil continúa presentándose a tarifas muy elevadas, igual situación se presenta para el caso de las operadoras de acceso a Internet de alta velocidad mediante módem de cable.

En la actualidad hay muchas aplicaciones de PLC en el mundo y las empresas eléctricas europeas lideran su desarrollo. Entre las compañías eléctricas que han empezado a comercializar el servicio se destacan las alemanas EnBV, con más de 1 200 clientes y la MVV, con más de 4 000, la italiana ENEL con alrededor de 2 400, o la Suiza EEF con 1200. Este escenario permite a fabricantes de equipos y operadoras eléctricas ser optimista sobre el desarrollo de este servicio. En España, las empresas ENDESA, IBERDROLA y UNIÓN FENOSA continúan realizando pruebas piloto muy importantes. De igual manera pueden citarse las pruebas realizadas en EEUU y algunos países de América Latina como Chile y México. (Romero & Cucalón, 2013)

2.3.2 ARQUITECTURA DE PLC

Como ya se indicó en el numeral anterior, PLC realiza la transmisión de información a través de la red eléctrica existente, de esta manera el cliente final solo tiene que conectar el modem PLC a un tomacorriente para establecer comunicación con el repetidor respectivo. Bajo estas condiciones, existen dos tipos de arquitecturas: *Outdoor* e *indoor*.

2.3.2.1 ARQUITECTURA OUTDOOR

Corresponde a lo que en una red telefónica sería la red de abonado, en el caso de PLC sería el tramo del cableado eléctrico de bajo voltaje que va del transformador de distribución hasta el medidor de electricidad.

Esta etapa es gestionada mediante un dispositivo llamado *Head End* que enlaza el tramo indicado con la red troncal de comunicaciones (*Backbone*), introduciendo la señal de información en la red eléctrica.

PLC emplea para la multiplexación la técnica OFDM y para modulación PSK (*Phase Shift Keying*). Las portadoras operan en un rango de frecuencias de 2 a 30 MHz. El volumen de información que circula por el sistema (*throughput*) alcanza los 45 Mbps, sin embargo como ya se indicó, esto debe compartirse entre muchos usuarios por lo que el cliente final recibe unos 2 Mbps. Su limitante es la interferencia con otros usuarios de HF (*High Frequency*) puesto que no posee filtros para su protección.

En la figura 2.6 se muestra el esquema para la red de acceso urbana y en la 2.7 para la rural.

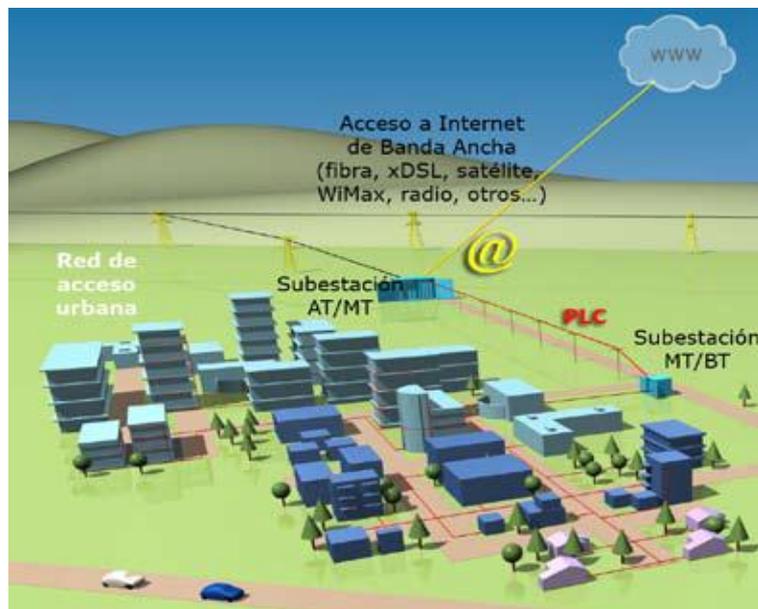


Figura 2.6 Red de acceso urbana

Fuente: (Ilevo, 2012)

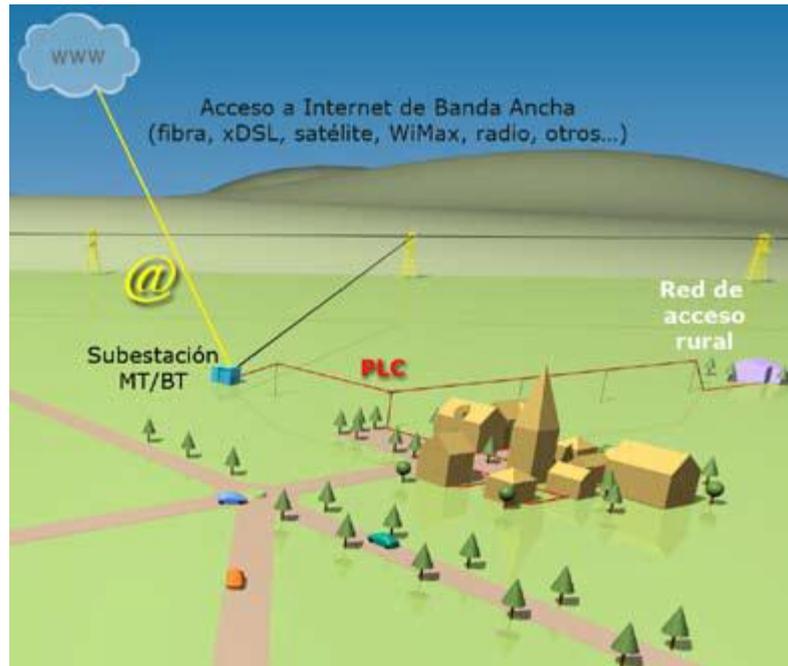


Figura 2.7 Red de acceso rural

Fuente: (Ilevo, 2012)

2.3.2.2 ARQUITECTURA INDOOR

Esta etapa comprende desde el medidor de electricidad del cliente hasta cada tomacorriente del local del usuario, a través de la red interna eléctrica. En este tramo se emplea OFDM y DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) para transmisión de datos por la red eléctrica en el interior del local con frecuencias de portadoras de 4.5 a 21 MHz y un *throughput* de aproximadamente 14 Mbps. Para aminorar la interferencia de los radioaficionados se utilizan filtros de 30 dB aproximadamente.

En la figura 2.8 se observa la distribución *indoor* de la tecnología PLC.

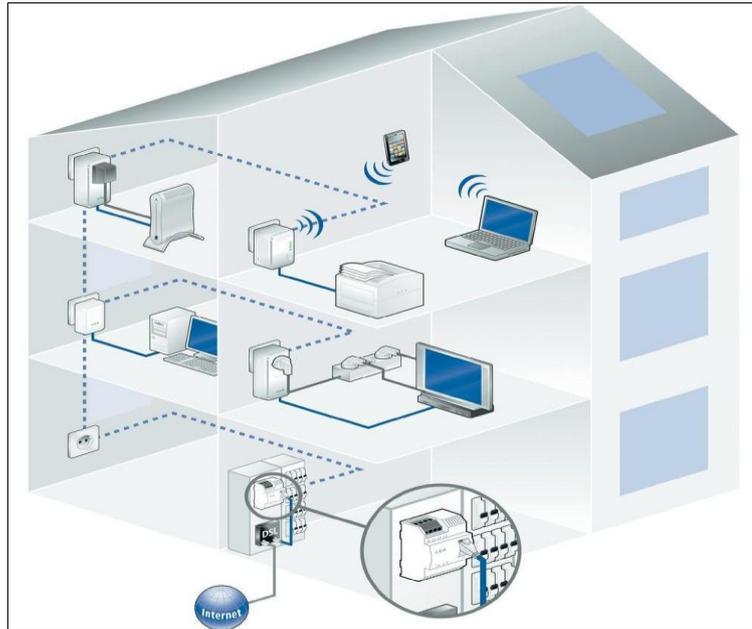


Figura 2.8 Arquitectura *indoor* de PLC

Fuente: http://blog-del-linformatico.blogspot.com/2008_10_01_archive.html

Una red de acceso en edificios se muestra como una solución *indoor* en la figura 2.9. También PLC ofrece soluciones para viviendas unifamiliares, como el ejemplo mostrado en la figura 2.10.



Figura 2.9 Red de acceso en edificios

Fuente: (Ilevo, 2012)



Figura 2.10 Red en vivienda unifamiliar

Fuente: (Ilevo, 2012)

2.4 MODULACION EN PLC

Ya se explicó las razones por las que esta tecnología requiere un mayor ancho de banda, lo cual debe obtenerse con un reducido rango de emisión, para alcanzar estos requerimientos puede emplearse modulación de SS (*Spread Spectrum*, Modulación de Espectro Ensanchado) pero la más usada es OFDM.

2.4.1 MODULACION DE ESPECTRO ENSANCHADO

Se basa en el ensanchamiento de la información a enviar en una banda muy ancha de frecuencias para compensar el ruido y minimizar sus efectos, como se observa en la figura 2.11. Sus ventajas consisten en que para emplear el medio no se requiere sincronización entre usuarios, la presencia de muchas señales sobrepuestas en tiempo y frecuencia porque el medio es ocupado por muchos usuarios simultáneamente y su limitante es la interferencia de banda angosta.

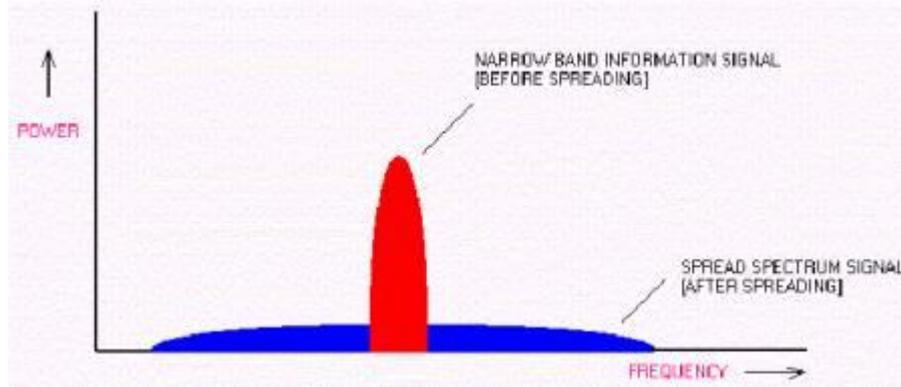


Figura 2.11 Modulación *Spread Spectrum*

Fuente: www.eetimes.com

2.4.2 MODULACION OFDM

Esta técnica permite resolver varios inconvenientes relativos al cableado eléctrico, es un modo de modulación multiportadora que emplea varias subportadoras. Se fundamenta en el envío al mismo tiempo de n bandas de frecuencia de 2 a 30 MHz con N portadoras por cada banda, donde la información se divide entre las portadoras.

La información se envía a un ancho de banda adecuadamente elevado para ampliar la circulación y después se dedica a algunas frecuencias al mismo tiempo, en función de esto la información se envía aunque alguna de las frecuencias fuera atenuada.

El espectro obtenido de la modulación OFDM muestra un empleo inmejorable de la banda establecida por la ortogonalidad de las subportadoras. Esta técnica se emplea en los dispositivos *Home Plug*. En la figura 2.12 se muestra como la señal OFDM está formada por varias subportadoras angostas.

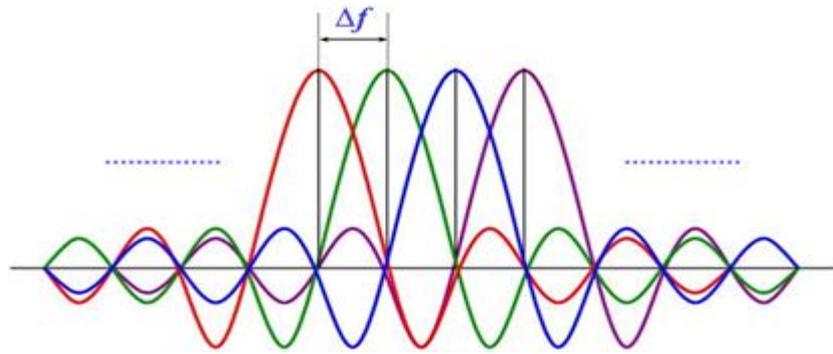


Figura 2.12 Modulación OFDM

Fuente: www.wirelessdesignmag.com

En esta técnica, en caso de pérdida de datos, éstos pueden salvarse mediante métodos de corrección de errores, gracias a este procedimiento se incrementa el *throughput*, porque no hace falta retransmitir la información. La cantidad de portadoras y su división en el espectro de frecuencia obedece al diseño de los dispositivos PLC.

Por lo expuesto, se desprende que esta técnica es eficaz y dúctil para operar en los cables eléctricos, puesto que el ancho espectral se comparte en intervalos admitiendo que los dispositivos se ajusten activamente a las circunstancias del entorno, fortaleciendo las frecuencias en que el ruido es pequeño y eliminando aquellas con ruido alto, es decir que ésta forma de modulación permite emplear o no un subcanal para conservar una adecuada tasa de error.

2.4.3 OPERACIÓN DE OFDM

Considerando que OFDM es el modo de modulación más empleado con PLC, a continuación se ampliará la información acerca de esta técnica. Es un método de banda ancha que emplea varias portadoras ortogonales, las cuales se modulan en amplitud y fase. En razón de que usa N portadoras, se necesita al menos, N muestras complejas en tiempo discreto para constituir un símbolo OFDM, cuya duración es inversamente proporcional al espacio entre las subportadoras en la que se incluye ese símbolo y las subportadoras adyacentes, de esta manera la señal modulada surge de

la IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*), en que ingresan los símbolos para la modulación.

En la etapa de recepción se recobran los datos gracias a la FFT (*Fast Fourier Transform*). La información va en su rango de frecuencia específico, o sea que la portadora modulada incluye datos, voz o video.

En su operación, OFDM emplea modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), que permite enviar dos señales en forma de una señal con doble banda lateral con portadora suprimida y con un desfase de 90°, modulada en cuadratura. Las desviaciones de fase o frecuencia de la portadora reinsertada causan distorsión, pérdida de la información o interferencia entre canales.

El procedimiento descrito para modular mediante OFDM prescinde de la utilización de filtros por la ortogonalidad de la señal y para preservar esta característica y evitar ecos generados por las reflexiones en la propagación, se incluye una pausa para impedir la interferencia entre símbolos en la subportadora del símbolo que se va a formar, lo cual causará interferencia entre subportadoras y la pérdida de información. En este proceso de formación, las componentes de la señal provienen del mismo símbolo correspondiendo de esta manera a la ortogonalidad y la pausa de guarda mencionada se escoge según la demora respectiva según el entorno específico de transmisión.

2.4.4 PROCESOS DE MODULACION Y DEMODULACION EN OFDM

Al modulador ingresa un tráfico binario continuo, el cual se divide en símbolos y según la zona a emplear se determina un mapa de símbolos constituido ahora por dígitos complejos que simbolizan a la información en dominio frecuencia. Así, al modular muchas subportadoras al mismo tiempo, primero hay que efectuar la transformación del tráfico entrante binario en serie, en una corriente de números complejos en paralelo.

A continuación se determina la IFFT de todos los factores para conseguir una señal en dominio tiempo y hacer otra vez la conversión del tráfico paralelo a serie, a cuya salida se agrega la pausa de guarda para que las señales retardadas por las multitrectorias ingresen en la pausa de guarda y no sean consideradas en la recepción.

En la figura 2.13 se muestra el diagrama de bloques del transmisor OFDM.

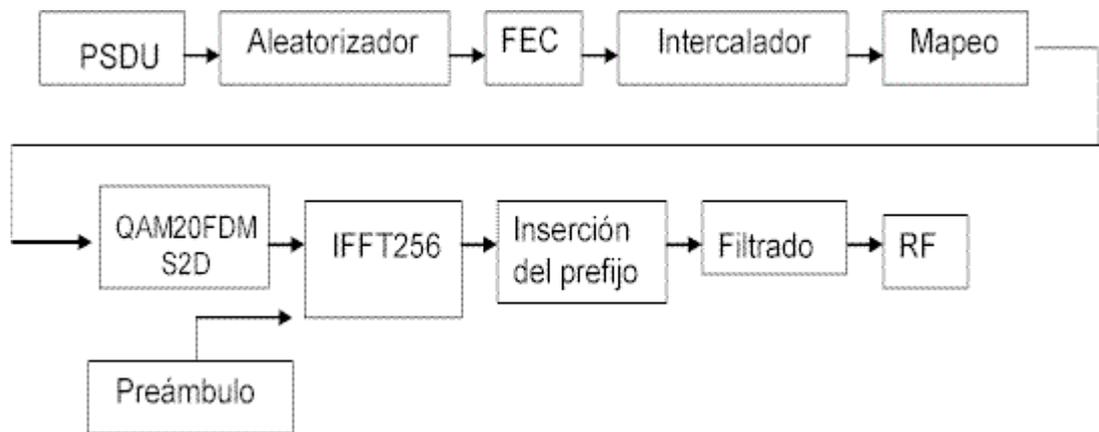


Figura 2.13 Diagrama de bloques del transmisor OFDM

Fuente: www.oas.org

En el proceso de demodulación la señal recibida se amplifica, se filtra y después se descarta la pausa de guarda. De esta manera se recupera la información en fase y cuadratura gracias a que el demodulador utiliza la FFT para recobrar la portadora. Finalmente se transforma en una sucesión de símbolos en serie que se convertirán a una cadena de bits según la modulación QAM. En la figura 2.14 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de comunicación basado en OFDM.

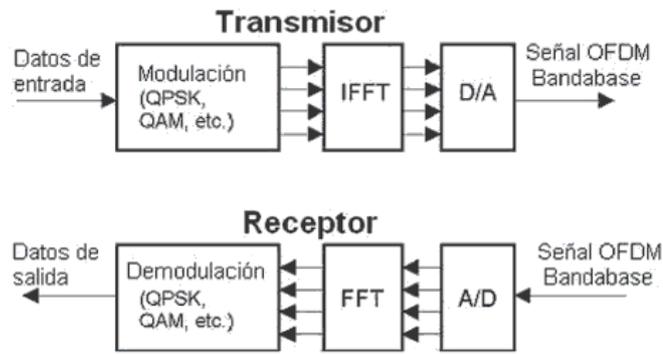


Figura 2.14 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación basado en OFDM

Fuente: www.scielo.unal.edu.co

2.4.5 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA MODULACION OFDM

Este método de modulación brinda más resistencia al ruido impulsivo, distorsión e interferencia, requiere un sincronismo más sencillo. Se ajusta simplemente a las variaciones que se producen en la red eléctrica.

Entre sus desventajas se puede mencionar que presenta transiciones de tiempo en el medio de transmisión. Además, la productividad del sistema se reduce mucho por las frecuencias anómalas que causan confusión en el sincronismo. A causa de que la señal modulada es producto de muchas subportadoras se presenta una gran potencia media máxima.

2.5 RED PLC

La infraestructura de una red PLC presenta una primera etapa que nace en el Centro de Servicios y termina en la ubicación del usuario a través de los cables de energía y un segundo tramo que va de la estación de transformación hasta enlazarse con la red de telecomunicaciones tradicional.

En la figura 2.15 se muestra un esquema de la infraestructura para acceso a Internet de banda ancha mediante PLC

Una red PLC incluye las siguientes partes:

Centro de servicios: enlazado a las estaciones de transformación a través de diversos métodos de conexión (fibra óptica, PLC, etc.) para procesar la información de los usuarios.

Unidad de adaptación de voltaje medio: posibilita el enlace de la estación de transformación con el centro de servicios a través de los cables de medio voltaje.

Estación de transformación: necesita un módem de cabecera para propagar datos y voz por los cables de bajo voltaje hasta los medidores de los usuarios.

Centralización de medidores: cuando los medidores están ubicados muy lejos de la estación de transformación, se debe instalar un dispositivo repetidor que toma la señal de ese centro y la reenvía a los tomacorrientes en la ubicación del usuario.

Usuario: en la ubicación del usuario se conecta al tomacorriente un modem PLC y a este el teléfono, computadora u otros equipos.

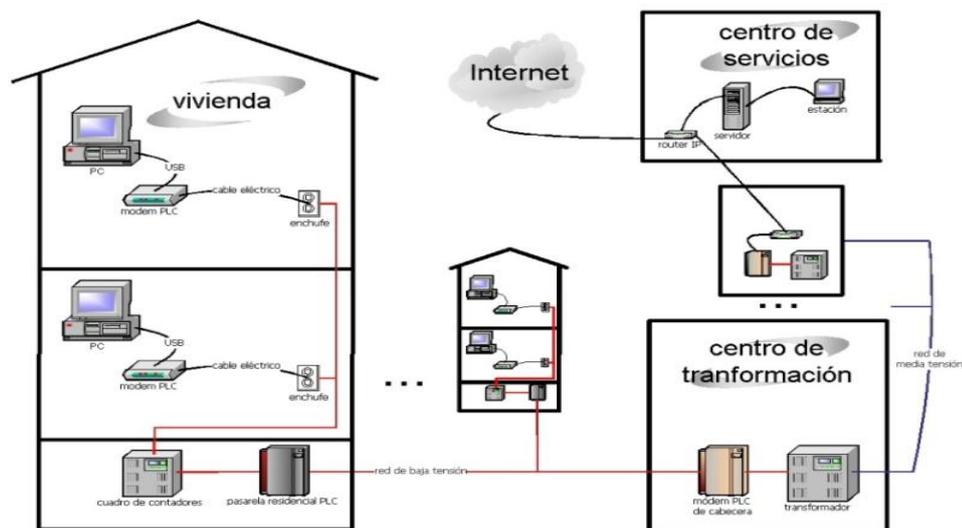


Figura 2.15 Esquema de la infraestructura para acceso a Internet de banda ancha mediante PLC

Fuente: www.ramonmillan.com

En la figura 2.16 se puede observar la aplicación de la tecnología PLC a diferentes equipos del usuario.

2.5.1 DISPOSITIVOS DE UNA RED PLC

Los dispositivos para implementar una red PLC son los siguientes:

2.5.1.1 DISPOSITIVOS PLC DE BAJO VOLTAJE

El dispositivo de usuario es el CPE (*Customer Premises Equipment*), permite una simple y ligera implementación. Accede a la computadora mediante un interfaz Ethernet o un puerto USB. Su diseño es cerrado e independiente. Opera como un componente de enlace a la red de energía de poco ruido.

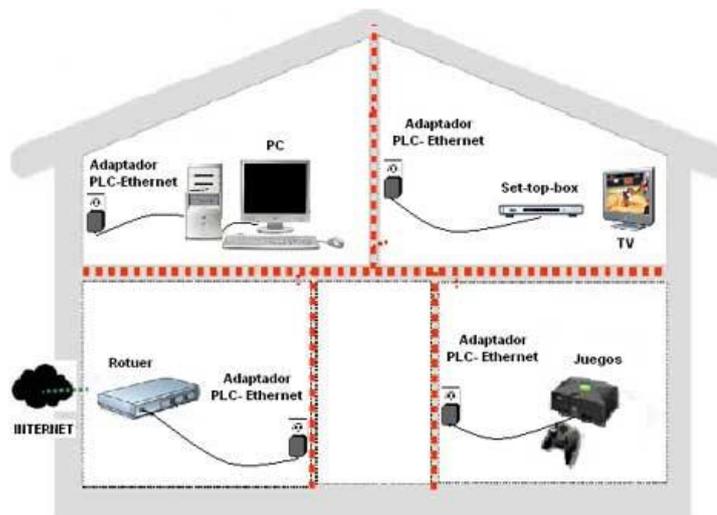


Figura 2.16 Aplicación de PLC en un hogar digital.

Fuente: www.casadomo.com

El equipo encargado de ajustar la información, ya sean videos, voz, música o imágenes, para su propagación por la red de energía es el módem PLC. Presenta varios puertos de acuerdo a la aplicación a conectarse, por ejemplo para equipos telefónicos es RJ-11, para internet o interfaz Wi-Fi el RJ-45, etc. En la figura 2.17 se muestra un Modem PLC de Arteixo Telecom que permite la conexión a Internet, televisión, música, juegos y más servicios de entretenimiento en cualquier punto del hogar o de la oficina, con un enlace de hasta 1 Gbps.



Figura 2.17 Modem PLC de Arteixo Telecom

Fuente: www.casadomo.com

El siguiente dispositivo de esta categoría es el equipo de cabecera o *Head End*, que se implementa en las subestaciones transformadoras de medio y bajo voltaje y se encarga de transformar la información entre el sistema PLC de bajo voltaje y el correspondiente esquema de Internet.

De acuerdo al alcance máximo del dispositivo sin pérdida de datos, estos pueden ser:

- Para bajo voltaje con un alcance de 300 m e interfaz Ethernet enlazado a un conmutador o enrutador conectado al cable troncal (*backbone*).
- En voltaje medio se tiene un alcance de 600 m añadiendo un modem BPL adecuado a este potencial y enlazado al equipo de cabecera de medio voltaje.

En la figura 2.18 se muestra un equipo de cabecera PLC que inyecta a la red de energía la información que viene de la red de transporte.

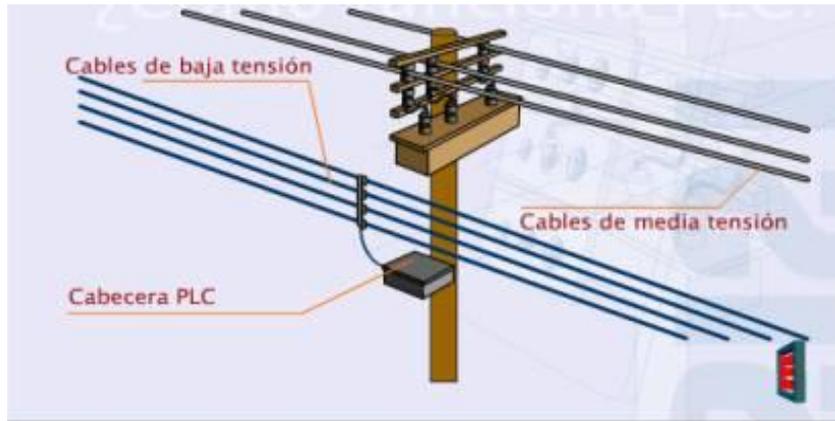


Figura 2.18 Equipo de cabecera PLC

Fuente: redesbirdg.galeon.com

La figura 2.19 muestra la arquitectura de un sistema PLC con todos sus componentes. Y la figura 2.20 muestra un modelo de equipo Head End ubicado en los centros de transformación de las empresas eléctricas.

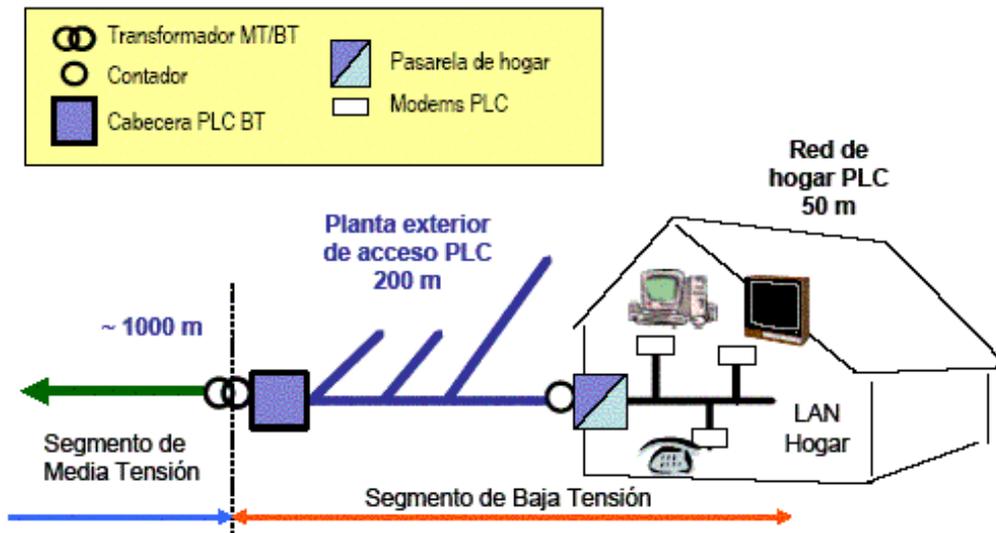


Figura 2.19 Arquitectura PLC

Fuente: www.bandaancho.es



Figura 2.20 Equipo de cabecera (*Head End*)

Fuente: www.noticias3d.com

Ahora corresponde describir el equipo Repetidor o *Home Gateway*, cuya función es propagar la información entre el equipo de cabecera y el equipo local del cliente, es implementado en el armario o cuarto de medidores de energía. Su instalación es simple y su estructura resiste las características del medio ambiente. El repetidor renueva la señal PLC si ésta se ha deformado por el tramo recorrido, para esto sube la frecuencia de 18 a 36 MHz y así implanta un apartamiento en frecuencia de manera que los dispositivos se puedan comunicar entre ellos.

Entre las funciones del *Home Gateway* se puede mencionar el enlazar los medidores de energía a la información, enrutar la señal PLC de la comitada a la red e intermediar el ingreso al entorno entre los módems PLC.

En la figura 2.21 se puede observar un esquema de la utilización de modernos *Home Gateways* y enrutadores que también tienen la capacidad de formar una HAN (*Home Area Network*) con dispositivos interiores y electrodomésticos para monitoreo de energía.

En la figura 2.22 se observa un modelo de *Gateway* que conecta redes SAE (*System Architecture Evolution*) J1939 a sistemas PLC de Siemens.



Figura 2.21 Uso de modernos *Home Gateways* y enrutadores en el hogar

Fuente: greenvity.com



Figura 2.22 Modelo de Gateway

Fuente: news.thomasnet.com

2.5.1.2 DISPOSITIVOS PLC DE MEDIO VOLTAJE

Entre estos se tiene el nodo de medio voltaje que se implementa en las subestaciones transformadoras de voltaje medio y bajo, con una tasa de 135 Mbps y un alcance de 800 metros. Se presentan en dos clases: el primero que transforma la información entre la red PLC de media tensión y el de Internet, propagando información entre redes PLC de media tensión o de éstas a las de media tensión. El segundo tipo envía información entre redes PLC de media tensión o entre éstas y las de baja tensión.

El nodo de comunicaciones universal DRA-2 se muestra en la figura 2.23 para subestaciones secundarias de medio voltaje, se emplea para transmisión de servicios del CT (Centro de Transformación) a la red de energía a través de fibra óptica, PLC en medio voltaje o ADSL.

Otros elementos de media tensión son los acopladores PLC que pueden ser capacitivos o inductivos. En la figura 2.24 se puede observar estos acopladores capacitivos e inductivos y su forma de aplicación para la tecnología PLC. (Gago, 2009)



Figura 2.23 Nodo de medio voltaje

Fuente: www.communications.ziv.es

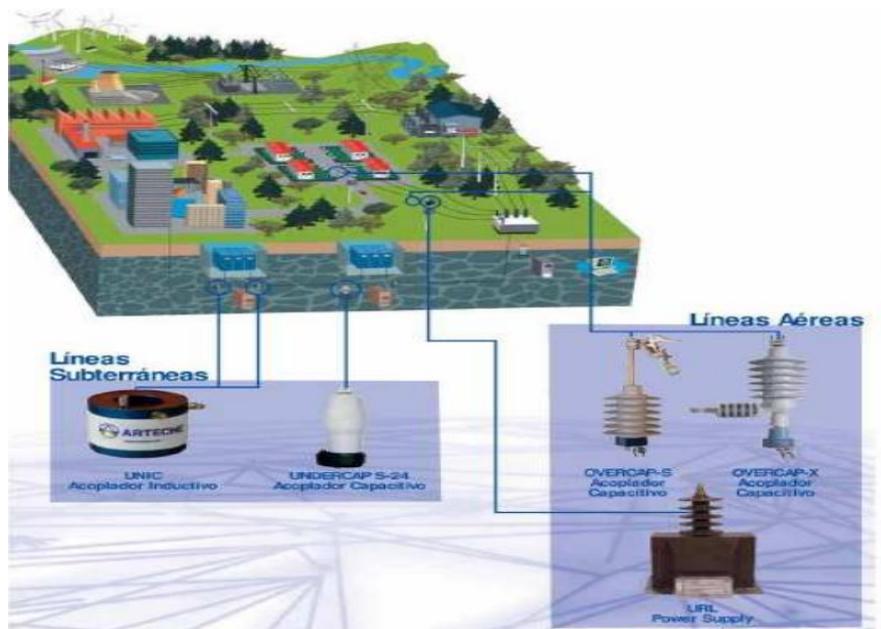


Figura 2.24 Acopladores PLC capacitivos e inductivos

Fuente: (Gago, 2009)

También pueden mencionarse dentro de esta categoría los filtros externos y los adaptadores de impedancia

2.6 PROCESO DE GESTION DE LA RED PLC

La tecnología PLC emplea interfaces para la gestión del sistema mediante el protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) para supervisar la red y conseguir inventarios, análisis, ordenación y reajustes.

La empresa Schneider Electric, especialista mundial en PLC de banda ancha, produce soluciones innovadoras para el acceso de los usuarios que poseen el servicio eléctrico. A través de Ileo brinda instrumentos de gestión mediante el software IMS (*Information Management System*) es posible conformar los equipos, gestionar el sistema y ejecutar el mantenimiento remoto. (Ilevo, 2012)

Adicionalmente esta técnica de administración permite la combinación del sistema PLC con redes IP, interacción con equipos y el sistema que presenta una mejor operatividad e instrumentos de soporte.

2.7 EVALUACION DE TRAFICO EN PLC

Se tiene la posibilidad de utilizar programas informáticos para examinar la red, de tal manera que sea evaluable el cambio en la respuesta del medio de transmisión en el tiempo debido a la variación de sus propiedades, por lo tanto el canal PLC no es invariable y reduce la utilidad del sistema. Los datos obtenidos con este análisis permitirán establecer la forma de ajustar los valores a las propiedades de servicios *Triple Play* y mejorar la emisión de voz, datos y video a los usuarios conectados a la red.

Hay diversos instrumentos informáticos para determinar los parámetros de una red, la mayoría de ellos trabajan con ordenamientos usuario/servidor, transmitiendo paquetes de un servidor a otro produciéndose circunstancias de tráfico registradas y casuales, admitiendo modificar la clase de protocolo utilizado, ya sea TCP (*Transmission Control Protocol*) o UDP (*User Datagram Protocol*), la dimensión del paquete y la razón de transferencia. Entre los instrumentos informáticos más usados se puede mencionar

Entre las herramientas software más utilizadas se encuentran: MGEN (*Multi-Generator*), IPERF (*Tool for measuring TCP and UDP bandwidth performance*) y TTCP (*Test TCP*), pero considerando las propiedades y su empleo continuo en circunstancias que demandan valorar la utilidad de la red, se recomienda el empleo de las aplicaciones *Netwalk* y *Wireshark* como instrumentos informáticos para la determinación del *Throughput* y otros valores correspondientes a demoras propias de PLC.

La utilidad del sistema es uno de los factores de más importancia en la evaluación general en los sistemas por el resultado que ésta causa al usuario. Esta propiedad se valora a través del *Throughput*, empleo del medio, *jitter* y otros valores de retraso.

Y se indicó antes que *Throughput* es la eficacia de un canal para llevar datos válidos, es decir que es el total de datos útiles que se envía por unidad de tiempo y su valor se modifica en un mismo enlace según el protocolo empleado el envío y la clase de información de tráfico.

2.8 APLICACIONES DE PLC

PLC ofrece diversas utilidades que se consiguen con la banda ancha convencional. Con los dispositivos PLC es posible enviar información a través de las líneas de electricidad y acceder a servicios de videoconferencia, telefonía IP, mensajes, enlaces VPN, etc. Entre las aplicaciones más importantes se tiene:

Funciones de banda ancha: PLC hace posible que las empresas eléctricas puedan ofrecer aplicaciones de banda ancha y AMR (*Adaptive Multi-Rate*), supervisión remota y de las líneas de energía. Presentan gran resistencia, simplicidad de administración y calidad de servicio, razones que permiten considerar esta tecnología como un recurso apropiado para entornos de portadora.

Infraestructura de edificios y ciudades cerradas: las compañías de telecomunicaciones, empresas proveedoras de internet y constructoras de inmuebles pueden emplear PLC para ofrecer de una manera dinámica, dúctil y eficaz de aplicaciones de telecomunicaciones, ya que esta tecnología emplea el cableado existente minimizando los requerimientos de trabajos adicionales y reduciendo los tiempos de instalación, siendo apropiado para edificaciones en que otros sistemas son dificultosos de instalar.

Industria: en aplicaciones en que las técnicas convencionales no es posible emplear por causas ecológicas o de ambiente, PLC se constituye en una opción de sencillo y dinámico establecimiento.

Minería: en campos mineros, yacimientos petrolíferos y más lugares en que únicamente se han instalado líneas de energía, PLC brinda la posibilidad de conectarse a la red de información esos sitios o enlazarlos y después enviarlos a una central a través de fibra óptica o vía microondas.

Sistemas móviles: instituciones estatales, compañías consultoras, pequeñas y medianas empresas en desarrollo, locales temporales y en general organizaciones que requieran implementar rápidamente una red dúctil y que pueda ser reutilizada en otros sitios, tienen la posibilidad de ejecutar sus obras utilizando PLC.

En la figura 2.25 se observan diversas aplicaciones en el hogar de las que se puede disfrutar con PLC y en la figura 2.26 algunos servicios de esta tecnología.



Figura 2.25 Aplicaciones de PLC en el hogar

Fuente: www.xatakahome.com

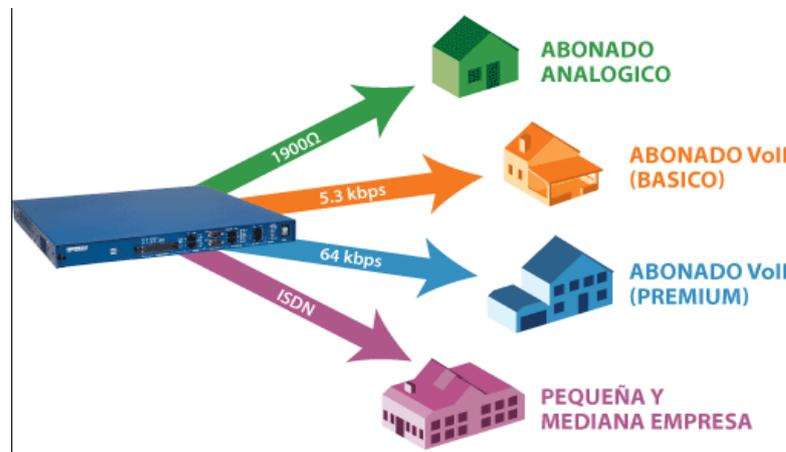


Figura 2.26 Servicios PLC

2.9 FUNCIONES *TRIPLE PLAY*

Triple Play es una concentración de servicios enviados en un medio de transmisión común, de esta manera se obtiene televisión, internet y telefonía en un único enlace continuo. Así, con este servicio el usuario puede tener funciones de voz, video e internet gracias a una sola técnica de acceso. Entre sus utilidades se puede mencionar la unificación de funciones para que el usuario pueda recibir un solo servicio en un envío y no tres independientes, la caracterización y elasticidad del servicio posibilitarán al usuario acceder a un servicio particular y personal. Además, con la aplicación de PLC se requerirá un solo soporte de gestión central, pues con una sola red se contará con muchas entradas.

Es importante indicar que al emplear el cableado eléctrico instalado se disminuyen los gastos y por consiguiente las operadoras podrán brindar sus servicios a precios más bajos.

2.9.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA *TRIPLE PLAY*

El sistema *triple play* requiere una infraestructura de red integrada por los distribuidores de servicios, la red de transferencia, las de acceso y las de abonado.

2.9.1.1 DISTRIBUIDORES DE SERVICIOS

Estos poseen un equipamiento para gestionar las funciones multimedia necesarias para instaurar comunicaciones con el cliente. Por ejemplo en la televisión por cable se toma la señal del distribuidor y se codifica de la misma manera que se hace con los videos grabados y una vez digitalizadas se organizan en paquetes para su envío.

2.9.1.2 RED DE TRANSPORTE

Esta etapa contiene los componentes necesarios para transportar la información multimedia a su destino. Tiene un primer tramo constituido por la red troncal que se encarga de transportar en ambas direcciones una gran cantidad de información digital con calidad de servicio.

2.9.1.3 REDES DE ACCESO

En esta etapa se realizan las labores de envío de información, en especial la multiplexación de los datos que vienen de diversos distribuidores de servicios o suscriptores. En este tramo que constituye la última porción de la red de comunicación se emplea PLC.

2.9.1.4 RED DE ABONADO

Contiene los dispositivos terminales de la red, uno de ellos es el módem PLC encargado de demodular la información receptada y transferirla al abonado y además modular los datos que el usuario va a transmitir a la red. En este tramo además es posible ejecutar tareas de administración, mantenimiento y señalización. A esta red se conectan las computadoras y los equipos telefónicos que el abonado requiera

2.10 FUNDAMENTOS DE TRÁFICO

En este sistema en la capa de red de ISO (*International Organization for Standardization*), se emplea el protocolo IP (*Internet Protocol*) hasta el usuario para mejorar la eficiencia al no requerir la conversión media de protocolos. Así es posible contar con gran cantidad de utilidades IP, tales como VoIP (*Voice over IP*), acceso a Internet, VPN (*Virtual Private Network*), televisión por cable y video bajo demanda.

2.10.1 CALIDAD DE SERVICIO

En casos como el de *Triple Play* en que por la convergencia se comparte los medios con otras aplicaciones, estas requieren varias clases de QoS (*Quality of Service*), así

la telefonía necesita una calidad de servicio diferente que el video o que el acceso a Internet.

Los medios de transporte en la red y los del tráfico de paquetes para cada servicio tienen que exponer superiores propiedades para así proporcionar adecuados niveles de calidad de servicio.

2.10.2 PERTURBACIONES EN SERVICIOS DE VOZ

Es valorada como la aplicación más precisa en lo referente al tiempo entre los servicios *triple play*, debido a ciertos elementos que pueden perturbar mucho su calidad, tales como el retraso, la pérdida de información y el *jitter*.

En lo referente al retraso, debe considerarse que la calidad en una comunicación telefónica debe ser del tipo PSTN (*Public Switched Telephone Network*), para lo cual la latencia no deben superar los 150 ms, de lo contrario los abonados que intervienen en la comunicación deban interrumpir la conversación o darla por terminada.

La latencia es el tiempo que tarda un paquete para ir de un punto a otro en la red y obedece a varias causas, en la red de transporte el retraso depende de la técnica empleada, la longitud del enlace y la magnitud de proceso de los enrutadores.

Los retrasos de codificación de la voz también son causas de retardo y se producen según las técnicas de codificación empleadas. La estructuración de los paquetes de datos, también es causa de retraso, se denomina empaquetamiento al tiempo necesario para formar un paquete con voz codificada y es la mayor causa de retraso al transmitir voz.

El siguiente caso a analizar como causa de la reducción de calidad en la transmisión de voz es la pérdida de paquetes, un aspecto más significativo en aplicaciones que no pueden reenviar sus datos al ocurrir un error y esto ocurre en muchas aplicaciones de tiempo real que no cuentan con tiempo para ello. Estadísticamente se considera que

un 1% de pérdidas es admisible al propagar voz y aquellas mayores provocan una reducción de la calidad de voz o el fin de la comunicación.

Otro aspecto a considerar es el *jitter*, éste es una desviación de los grados de retraso o latencia en el tiempo por las colas y direccionamiento que perturban el medio por el que los paquetes van por la red. Los enrutadores cuentan con una memoria temporal (*Buffer*) para guardar y tratar determinada cantidad de información, de esta manera al incrementarse el tráfico, esas memorias se saturan y causan pérdida y retraso de paquetes.

En VoIP se trata el *jitter* con una memoria *buffer* por la que pasa la llamada produciendo un retraso perceptible. El valor de *jitter* admisible depende del productor, pero si es más de 30 ms es posible que la comunicación se pierda.

También puede producirse un eco de voz si los usuarios durante una conversación telefónica IP escuchan que su propia voz en los teléfonos distorsionando la llamada. Para mantener el eco admisible en las comunicaciones de voz, se emplea la supresión y la anulación de eco en la red. La anulación se ejecuta con procesamiento digital de señales para dominar el eco.

2.10.3 PERTURBACIONES EN SERVICIOS DE VIDEO

Al brindar servicios de video pueden ofrecerse tramas estáticas o imágenes con retraso en las pantallas. En video bajo demanda se tiene menos sensibilidad a retrasos porque el tráfico de video cruza por una memoria *buffer* del reproductor para salvar retrasos en los datos. Para servidores de video es admisible un retraso de 6 segundos, sin embargo tramas comprimidas presentan retrasos de 180 ms con MPEG2 (*Moving Picture Experts Group*) y 100 ms con MPEG4.

Algo que estropea la experiencia del usuario al emplear transmisión de video es la ocurrencia de la latencia, como resultado de algún pedido del cliente, especialmente al retroceder el video al principio. Pero la causa más grave en aplicaciones de video

es la pérdida de paquetes, pudiendo provocar la pérdida de la señal, ya sea de luminosidad o temporalmente queda sin imagen, incluso podría interrumpirse la transmisión en la red.

En redes IP la congestión y el ruido eléctrico en el medio de propagación también producen la pérdida de paquetes, un valor admisible es del 2%.

Una transmisión de video en tiempo real se soporta en paquetes y se produce en andanadas por lo que las memorias *buffers* se saturan y luego se desocupan provocando cambios en el retraso de propagación, esto es *jitter* de tiempo que puede orientarse y ampliar la memoria tomada de *buffer* y podría incrementarse la latencia.

El método de compresión MPEG es muy susceptible al *jitter* y a la pérdida de datos. Adicionalmente a las dificultades temporales hay paquetes con datos cruciales para decodificación, como los de señalización y sincronismo, los cuales si se pierden o se receptan fuera de la serie, el decodificador no podrá convertir apropiadamente el video.

2.10.4 PERTURBACIONES EN SERVICIOS DE DATOS

Para el flujo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), algunos datos perdidos no significan un inconveniente si la información de señalización es correcta, pues los paquetes se reorganizarán en el destino sin variaciones o pérdidas para el cliente. Internet no es usualmente afectado por el retraso y el *jitter*.

Cuando se realiza la propagación de información hay que garantizar que el flujo de VoIP sea considerado de una manera distinta dando una especial preferencia al flujo de voz. Es recomendable supervisar los datos de las aplicaciones para garantizar que la propagación se realice con valores admisibles de retraso y de manera ordenada.

Es necesario establecer determinados elementos de calidad de servicio para garantizar que la pérdida de datos no perturbe el tráfico al producirse atasco en la

red, los cuales se fundamentan en la instalación de marcas de determinadas clases de flujo de datos para ordenarlo con una primacía menor que la de otra clase de tráfico.

La aplicación de FEC (*Forward Error Correction*) permite reducir las pérdidas, sin embargo debido a que estas conexiones se crearon para datos, probablemente no soportarían la atenuación de audio y video. Es necesario gestionar la calidad de servicio y establecimiento del ancho de banda para neutralizar el *jitter*, para lo cual se efectúan exámenes para saber la cantidad de *jitter* que puede sentir una red y la forma enfrentarlo. Usualmente se emplea una memoria temporal para *jitter* que adiciona retrasos mínimos a los paquetes receptados para que todos tengan similar y admisible latencia.

CAPITULO 3 REDES PLC

Hoy en día, las TIC (Tecnología de la Información y Comunicación), se orientan a la producción y propagación de los datos. Bajo esta premisa para acceder a todos los clientes con la información, se emplean técnicas que utilizan como medio de transmisión los cables telefónicos, coaxiales y de fibra óptica, así como comunicaciones inalámbricas y satelitales, cada una de ellas con sus restricciones a causa del precio y los recursos para alcanzar a la máxima cantidad de clientes.

Se presenta entonces como una ventaja el empleo de cables de energía para la propagación de información porque la gran mayoría de inmuebles están conectados a la red eléctrica. Así PLC al emplear las líneas eléctricas existentes para brindar alta tasa de transmisión desde los terminales de acceso a la red a cualquier tomacorriente. De esta manera la construcción de una red casera con cables de energía es más sencilla que tratar de instalar un nuevo cableado, además es más confiable que el uso de radio o medios inalámbricos y a un bajo costo. (Rubin, 2002)

De esta manera, PLC se presenta como una gran opción para solucionar los inconvenientes de red en oficinas en que continuamente se cambian los puntos de trabajo o se amplían los puntos de red.

PLC puede anexarse a cualquier técnica que soporte la transmisión de información en banda ancha por los cables de energía gracias a técnicas de modulación adecuadas. De esta manera PLC emplea de forma productiva la red de energía transformándola en un medio de gran tasa de transmisión de información para conectarse por ejemplo a Internet con banda ancha.

Las empresas eléctricas están ahora considerando su cableado para la transmisión de información a gran velocidad. Aún no se cuenta con un completo conocimiento de referencia acerca de las técnicas posibles para telecomunicaciones empleando PLC. En este trabajo de investigación PLC representa el tramo de bajo voltaje de la red de distribución eléctrica y está fundamentalmente integrada por el tramo secundario del

transformador de distribución, el cual incluye el medio y bajo voltaje del mismo, envolviendo la sección de bajo voltaje del cliente y la carga correspondiente.

En la figura 3.1 se muestra una estructura de red de energía que parte de una central hidroeléctrica, pasando por una estación transformadora, el respectivo tendido eléctrico aéreo a través de torres hasta otra estación de transformación y de allí la correspondiente distribución a los usuarios de diferentes categorías

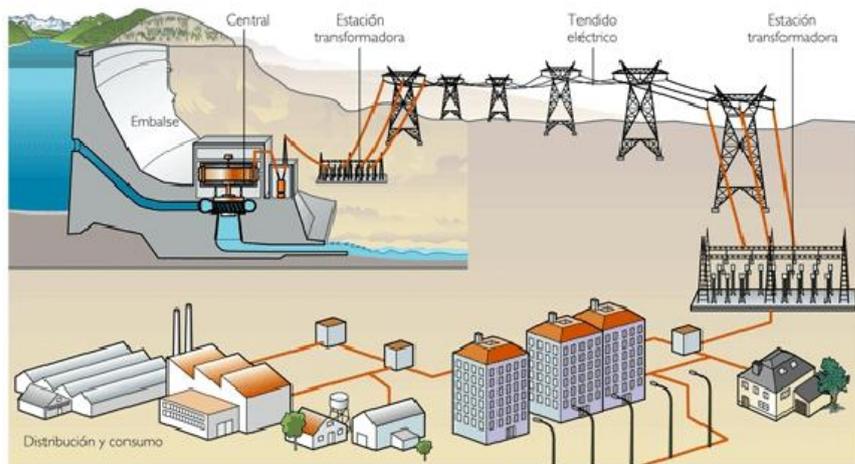


Figura 3.1 Red de distribución eléctrica

Fuente: (Hooijen, 1998)

PLC emplea la red de distribución de bajo voltaje para ofrecer servicios de telecomunicaciones a los usuarios, entre la estación de transformación y la terminal de red como canal para la transmisión de audio e información, a frecuencias de bajo flujo que corresponden a HF (*High Frequency*). A través de los tomacorrientes comunes se entregan servicios de telecomunicaciones tales como internet por ejemplo, de esta manera se llega a la convergencia de la telefonía, televisión e internet en su solo medio constituyéndose el servicio de Triple Play, presentándose así como una alternativa de acceso especialmente en zonas lejanas. De esta manera las líneas eléctricas ya no transmiten únicamente energía sino también los servicios indicados, accediendo a sitios que no cuentan con redes telefónicas.

3.1 INTRODUCCIÓN A BPL

Con BPL se accede a servicios de banda ancha por las líneas de energía, presentándose como un sistema alternativo que es eficaz y competitivo en la última milla con servicios de audio, datos y video. Emplean módems conectados a la red de energía que así se convierte en un canal de conexión de información a otros terminales.

Los elementos que posibilitan este sistema son los equipos del abonado conectados a interfaces de datos y telefonía, enviando información a los dispositivos de concentración y éstos a los *routers* y conmutadores para enlazarse a otras redes. Mediante estos dispositivos es posible implementar redes VLAN (*Virtual LAN*).

Las líneas de energía se construyeron para transportar electricidad a 60 Hz, con PLC se transmitirán adicionalmente señales a frecuencias mayores a 1 MHz, las dos señales llegan juntas a los tomacorrientes de los usuarios y esta separación en el espectro permite que fluyan sin interponerse entre ellas, por eso se requiere acondicionar la red de energía eléctrica, de tal manera que en la ubicación del usuario se separen las dos señales mediante filtros como puede observarse en la figura 3.2.

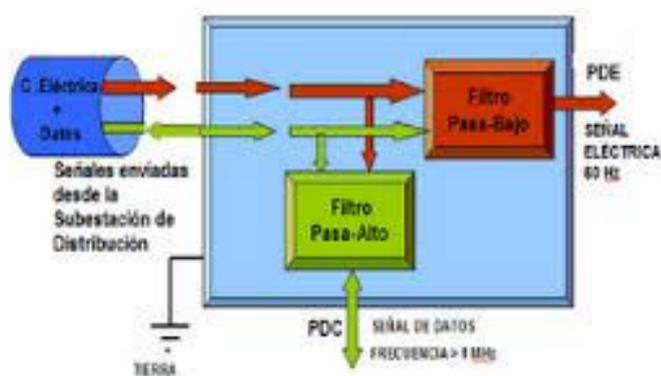


Figura 3.2 Acondicionamiento de la red eléctrica

Fuente: impacto-plc.blogspot.com

Unidades de este tipo se instalan normalmente junto a los transformadores de medio y bajo voltaje, con sus respectivos equipos de usuario constituyen celdas, en que se insertan elementos repetidores para incrementar el alcance de la señal en la red.

La tecnología BPL se ha desarrollado para ofrecer recursos en el envío de información alcanzando tasas de 200 Mbps, con lo cual es posible la interconexión de las celdas entre ellas o con el *router* principal a través de las líneas de medio voltaje. Un modelo de la arquitectura de una red BPL se puede observar en la figura 3.3.

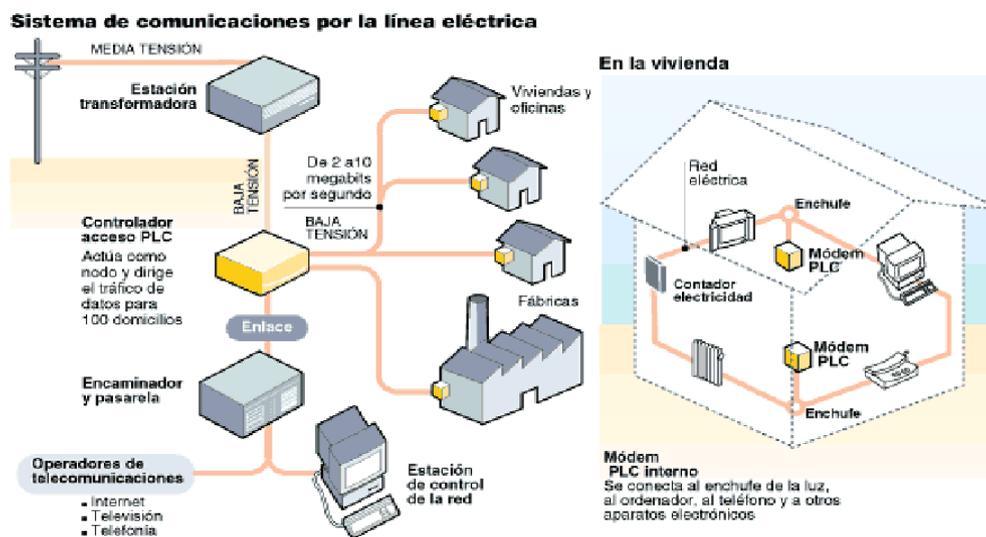


Figura 3.3 Arquitectura BPL

Fuente: <http://www.geocities.ws/>

El tramo de medio voltaje (2.4 a 35 KV) y los transformadores de distribución de bajo voltaje (220 a 380 Voltios), se emplean en esta tecnología para conectarse a internet a elevadas tasas, de manera continua y segura. Como ya se indicó, en PLC desempeñan un papel fundamental los acopladores, encargados de conectar las señales entre los tramos de bajo y medio potencial y los transformadores actúan como puentes.

3.2 MODULACIÓN DE BANDA ANCHA EN PLC

Por sus propias características la red eléctrica es un entorno ruidoso para la transmisión de información, a esto se añade la atenuación de la señal y las interferencias provocadas por el encendido y apagado de aparatos de diversas capacidades conectados a la red de energía generando señales de más intensidad impidiendo el envío de datos por los cables de potencia, siendo necesario emplear métodos de modulación para reducir las consecuencias inesperadas. (Álvarez, y otros, 2011)

Aceptando que la red eléctrica se presenta como un entorno adverso para la transmisión de información, hay que considerar además que sus propiedades se modifican con el tiempo y la variación de carga, todo lo cual implica la necesidad de emplear una modulación resistente que depende de la información que se va a enviar, es decir analógica o digital. En la figura 3.4 se muestra el diagrama del proceso de modulación con sus dos entradas, la información o señal moduladora y la portadora y la salida constituida por la onda modulada.

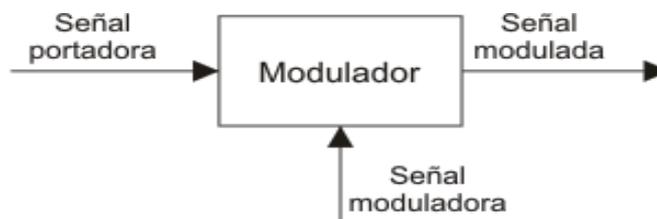


Figura 3.4 Modulación de una señal

Fuente: www.textoscientificos.com

Si la información a transmitir es digital y se emplea una portadora analógica, se pueden aplicar modulaciones ASK (*Amplitude-Shift Keying*), FSK (*Frequency-Shift Keying*), PSK (*Phase Shift Keying*) o QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) pero éstas no son aplicables a PLC por las características ruidosas del medio de transmisión, por esta razón para superar este inconveniente se debe emplear una modulación más fuerte que soporte la atenuación y las variaciones de fase que se presenten, a estas propiedades debe agregarse la necesidad de una elevada velocidad de transmisión a pesar de las restricciones del ancho de banda en PLC. Para cumplir

estos requisitos surgen dos formas de modulación OFDM y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

3.2.1 MODULACIÓN OFDM

Este método de modulación se fundamenta en la transmisión de datos modulando en QAM o PSK un grupo de portadoras con variadas frecuencias. Esta técnica se efectúa después de introducir la onda en un codificador de canal para reparar las fallas generadas en la propagación. A causa del inconveniente causado por la producción y localización en tiempo continuo de la gran cantidad de portadoras que componen el método OFDM, estas técnicas se ejecutan en tiempo discreto con la IDFT (*Inverse Discrete Fourier Transform*) y la DFT (*Discrete Fourier Transform*) respectivamente. OFDM es muy resistente a la multitrayectoria, característica común en radiodifusión, al desvanecimiento a causa del clima y las interferencias de radiofrecuencia.

Gracias a esta técnica, las ondas que alcanzan al receptor con diversos retrasos y amplitudes aportan favorablemente a la recepción, esto permite generar redes de radiodifusión con una frecuencia sin inconvenientes de interferencia. En conclusión OFDM transmite los datos en una mezcla de muchas portadoras apropiadamente espaciadas en frecuencia en vez de hacerlo sobre una sola, de esta manera se distribuye los datos entre esas portadoras y a pesar de que la velocidad de modulación total es alta, la de cada portadora es baja, reduciendo la dificultad de la multitrayectoria.

En la figura 3.5a se muestra el proceso de modulación por multiportadora convencional y en la 3.5b la correspondiente al uso de portadoras ortogonales.

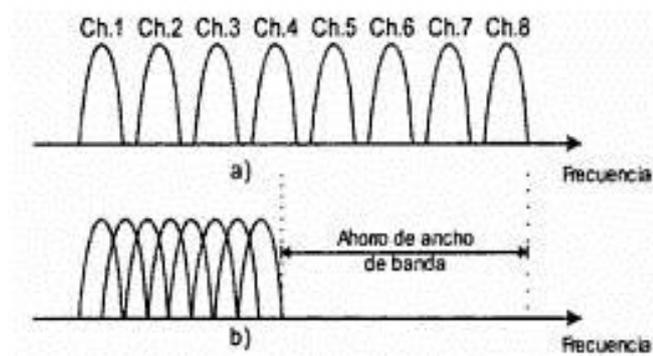


Figura 3.5 Modulación OFDM

Fuente: www.fmre.org.mx

Es fundamental en OFDM la ortogonalidad y la separación apropiada entre las portadoras, la cual es siempre igual al inverso del periodo del símbolo. Esa ortogonalidad permite minimizar la interferencia causada por la transmisión multitrayectoria. Lo indicado permite calificar a OFDM como una modulación eficaz y dúctil que puede emplearse en PCM puesto que posibilita que los dispositivos se adecuen activamente a las características del canal, fortaleciendo las frecuencias en que el ruido es más bajo y elimina aquellas con alto ruido, esto lo realiza utilizando o no un subcanal específico para mantener una excelente tasa de error.

3.2.2 MODULACIÓN DSSS

En esta técnica la portadora se modula en primer lugar con la información y posteriormente se la vuelve a modular mediante un código de pulsos pseudoaleatorio, cuya resultante toma el extenso e indefinido ancho de banda de la secuencia empleada al modular.

Un diagrama de bloques mostrando las dos etapas de modulación BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) se presenta en la figura 3.6, donde la señal de salida con la información a enviar tiene un espectro suficientemente amplio gracias al código pseudo-aleatorio, en otras palabras la señal cambia su espectro de banda estrecha obtenido en la primera etapa de modulación por uno extendido correspondiente al código de pulsos.

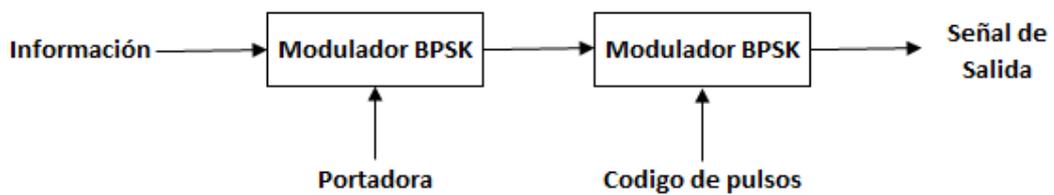


Figura 3.6 Modulación DSSS

Elaborado por: Autora

En este sistema se produce un esquema de bits repetido para cada uno de ellos, en la cual mientras más grande sea la señal se incrementará la resistencia de ella a la interferencia. En el receptor debe hacerse el procedimiento contrario para recuperar los datos originales y únicamente los equipos a los que el transmisor haya mandado anteriormente la serie podrán restaurar el mensaje original. Adicionalmente, a causa del cambio de bits enviados a pesar de que parte del mensaje sea dañado por la interferencia el destinatario podrá rehacer sencillamente los datos con la señal recogida.

En resumen, en este proceso de modulación se mezcla la información con un tren de bits a mayor tasa de propagación, dicha serie es un esquema repetitivo para cada bit a transmitir, fraccionando así los datos en una razón de propagación (*Spread Ratio*).

Entre las ventajas que ofrece DSSS en comparación con FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), se puede mencionar un mejor precio y utilización, mayor alcance y tasa de transmisión y menor cantidad de canales.

3.3 UTILIDADES DE PLC

PLC puede emplearse de manera interior o como acceso de última milla.

3.3.1 UTILIDADES INTERIORES

Corresponden al interior de la vivienda y son de gran utilidad inclusive en edificios, debido a que no necesitan instalaciones complementarias, solo hace falta conectar los

dispositivos en el mismo circuito de tomacorrientes donde se enchufan los electrodomésticos y se supone que las longitudes del cableado eléctrico son menores a cien metros, debido a que se requiere poca potencia para implementar las transmisiones por los cables de energía en estos cortos trayectos que se presentan en casas y edificios.

La figura 3.7 presenta este tipo de utilización de PLC.

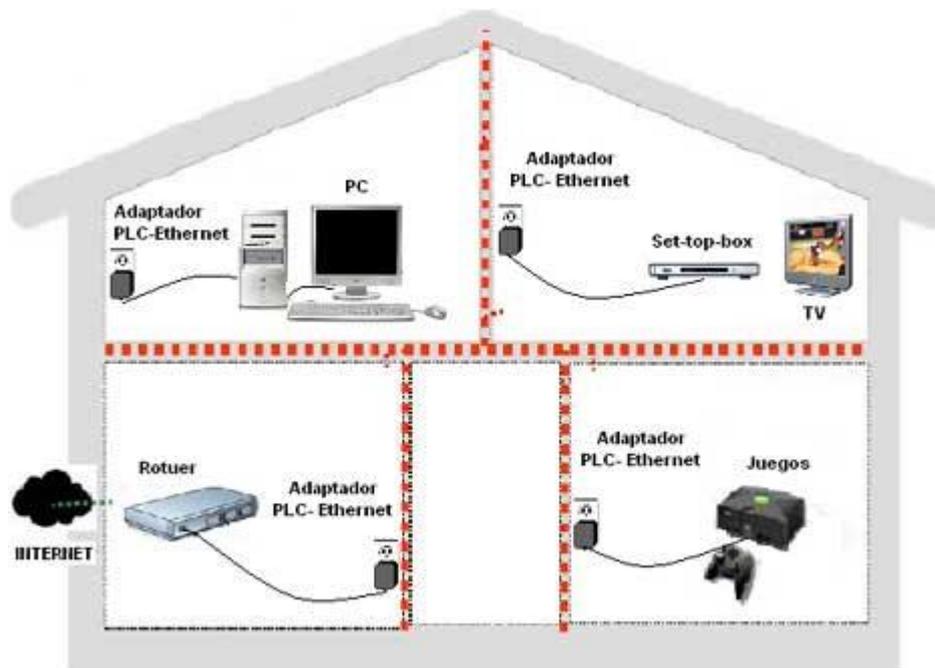


Figura 3.7 Utilidades interiores

Fuente: www.lavilladigital.com

De esta manera es posible implementar redes LAN, sistema muy evolucionado que posibilita la interoperabilidad entre equipos de diferentes constructores, gracias a la introducción de estándares como el *HomePlug* 1.0, a un costo precios reducidos y de conexión y empleo simple. También puede emplearse esta tecnología para sistemas de audio, video y dispositivos de gestión de equipos en la casa.

3.3.2 UTILIDADES DE ÚLTIMA MILLA.

Estos casos corresponden a casos como los que se presentan para dar servicios de banda ancha como Internet a casas o edificios por el cableado de energía, igual para proveer telefonía IP, videos por pedido, vigilancia, pasatiempos y otras utilidades como el control de servicios públicos, por ejemplo energía, agua y gas.

En la figura 3.8 se pueden apreciar ejemplos de este tipo de empleo de PLC.



Figura 3.8 Utilidades de última milla

Fuente: telergia.blogspot.com

Al determinar el precio de los servicios de banda ancha se determina que un alto porcentaje corresponde a los montos de la última milla del cliente. Al contar con un cableado eléctrico para casas y edificios, se evita la necesidad de un tendido específico.

En PLC la red de acceso es la que va del transformador del centro de distribución al tomacorriente del cliente, es decir el trayecto de bajo voltaje.

3.4 LIMITACIONES DE PLC.

La inserción de servicios de banda ancha en los cables eléctricos a en los sistemas de comunicaciones provocan inconvenientes en lo referente a compatibilidad entre las redes privadas y públicas, las políticas de telecomunicaciones y la interferencia con transmisiones de radiocomunicaciones.

3.5 SUPERIORIDADES DE PLC.

PLC se presenta como un sistema superior a otros que permiten también ofrecer servicios de banda ancha en temas como los que se mencionan a continuación:

Costos de implementación: no necesita trabajos de infraestructura y desde un transformador se puede servir hasta a 200 clientes.

Mayores anchos de banda: tasas de transmisión hasta de 200 Mb comparado con los 2Mb de ADSL.

Manifestaciones electromagnéticas: son similares a las que se presentan en ADSL pero son mucho menores que las de telefonía celular.

Monopolio en la red de abonado: no hay opciones en este tramo para ADSL y el suministrador principal cuenta con el 90% de los clientes. Con PLC todos los tomacorrientes son puntos de conexión a los servicios y a costos competitivos ante ADSL, con adecuada calidad de VoIP y tasas de transmisión. Además brinda seguridad ante las interferencias.

3.6 EL MODELO OSI

OSI (*Open System Interconnection*) sirve como referente para sistemas de telecomunicaciones, es impulsado por ISO para delimitar el modo de comunicación de los sistemas abiertos en este campo. Consta de siete capas como se muestra en la figura 3.9. PLC opera especialmente en la capa física y en la de enlace de datos.

La característica fundamental para tener gran velocidad de datos en un canal es el ancho de banda del mismo, el cual en la realidad está fraccionado y requiere formas de modulación para utilizar el espectro lo mejor posible. Hay que recordar que la atenuación reduce el ancho de banda y la capacidad del medio disminuye con el recorrido por las propiedades paso bajo de los cables de energía. Los métodos de modulación se diferencian por su capacidad de aprovechar la cabida del medio en el que para alcanzar niveles óptimos nominales de 250 Mbps significan velocidades reales de 100 Mbps, incluso en medios muy ruidosos se llega a 5 Mbps para trayectos de 300 metros.



Figura 3.9 Capas del modelo OSI

Fuente: www.arcan.es

CAPITULO 4 SISTEMAS CATV

Los sistemas CATV han alcanzado un grado de desarrollo que ha posibilitado la convergencia de voz, datos y video, aunque originalmente se creó para permitir la recepción de una serie de canales de televisión y compitiendo con la TV pública. Surgió entonces como una alternativa más fiable y barata la implementación de un sistema CATV para cubrir regiones sin cobertura del servicio público.

En el Ecuador este servicio es brindado por empresas como TVCable, Claro y Univisa, entre las principales ya sea mediante antenas o por cableado HFC (*Hybrid Fibre Coaxial*). Un esquema del modelo para CATV se muestra en la figura 4.1.

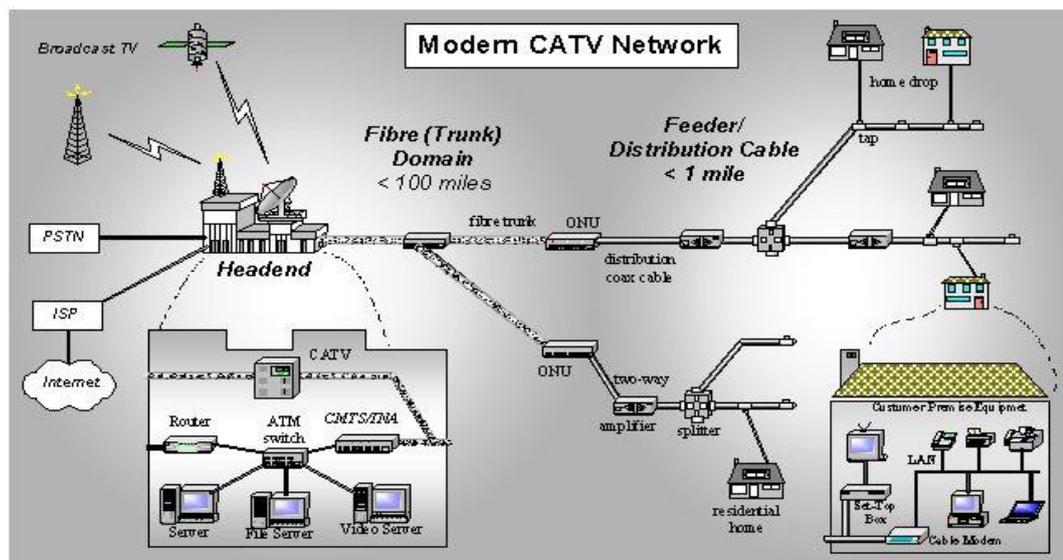


Figura 4.1 Red CATV-HFC

4.1 CARACTERIZACION DE LA RED CATV.

Una red CATV emplea una arquitectura en árbol que nace de un nodo cabecera donde se reúnen todos los canales que se van a enviar por la red de distribución que traslada las señales hasta los lugares de repartición enlazados a los usuarios como se muestra en la figura 4.2.

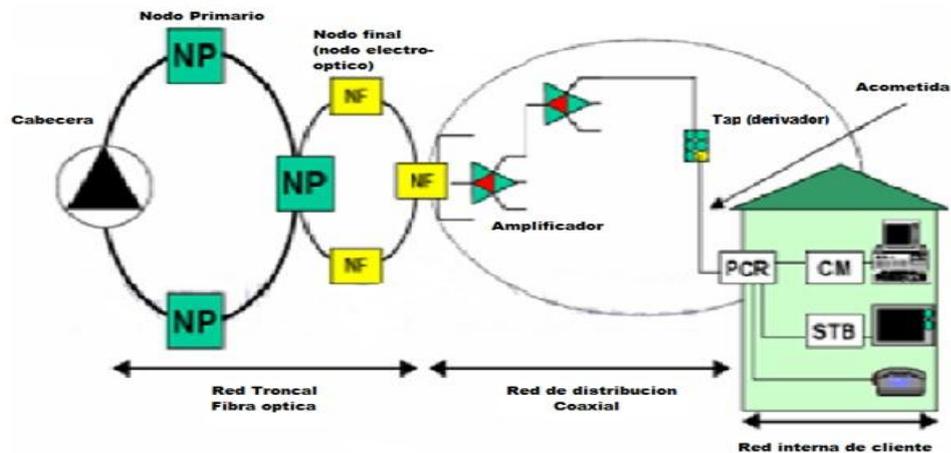


Figura 4.2 Arquitectura de una red CATV

Fuente: comunicaciones3-upc.blogspot.com

4.1.1 RED TRONCAL PRIMARIA.

Está integrada por un anillo con topología en estrella, construido con un cable de fibra óptica de 128 hilos que conectan la cabecera a los nodos primarios que pueden estar a algunos kilómetros de distancia. El anillo posibilita la redundancia en la red para tener una ruta de apoyo en caso de ruptura en algún punto del trayecto y cada trayectoria cuenta con un emisor óptico y el de la ruta directa y la alterna operan al mismo tiempo. En los nodos primarios se elige de acuerdo a su calidad una de las dos señales. La misma arquitectura se tiene para la ruta de regreso con receptores ópticos que recogen las emisiones de los nodos terminales, aplicándose también el principio

de redundancia para asegurar el servicio por una de las dos trayectorias implementadas.

4.1.2 RED SECUNDARIA.

Esta es la red de distribución que enlaza un nodo primario con los secundarios mediante anillos con topología estrella con 128 hilos de fibra óptica, alimentando aproximadamente 12.000 usuarios con dispositivos y trayectorias redundantes. Para esto se forman en la red lóbulos en que cada uno enlaza 5 o 6 nodos secundarios y cada uno da servicio a 2.000 clientes.

La figura 4.3 muestra la distribución detallada en los puntos anteriores de las redes de distribución primaria y secundaria de un sistema CATV.

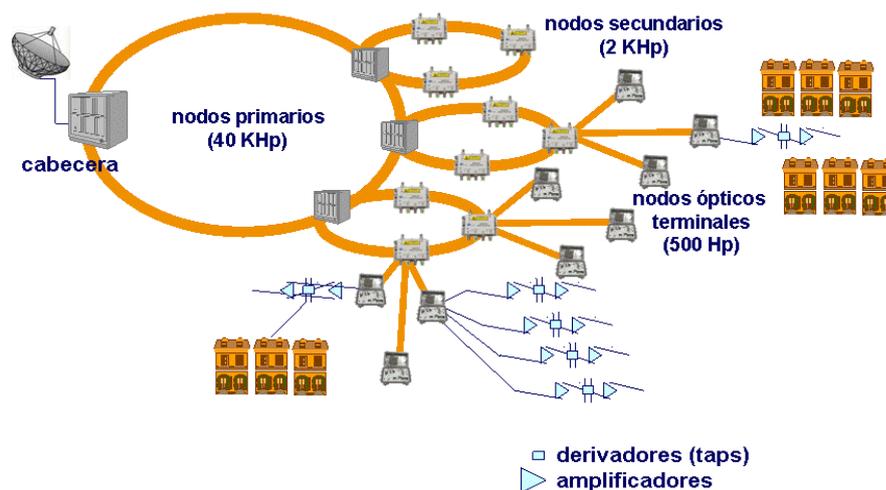


Figura 4.3 Redes de distribución de un sistema CATV

Fuente: 150431.blogspot.com

También se presenta el caso en que la telefonía no se envía por la red HFC sino a través de una red paralela tipo SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), en estas condiciones cada lóbulo de la red secundaria tiene uno paralelo SDH que enlaza dos centros remotos y brinda telefonía aproximadamente a 12.000 usuarios, donde cada centro gestiona un área de 6.000 clientes.

En la figura 4.4 se observa un esquema de aplicación de una red superpuesta, es decir que cada lóculo de la red secundaria posee otro paralelo de tipo SDH para enlazar dos centros remotos y poder ofrecer telefonía a los usuarios de un sistema CATV.

4.1.3 RED DE DISPERSION.

En esta se enlazan los nodos secundarios con los nodos ópticos terminales conectados a ellos y cada uno de ellos sirve aproximadamente a 500 usuarios, si se atiende a menos clientes mejora la calidad de servicio. Esta red tiene una arquitectura en estrella sin trayectoria redundante construida con cables monomodo de ocho hilos ópticos.

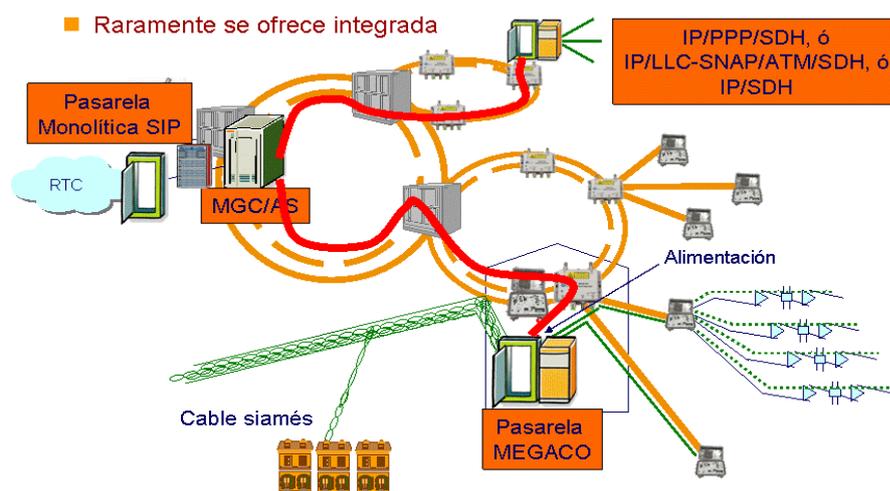


Figura 4.4 Red superpuesta para telefonía en un sistema CATV

Fuente: trajano.us.es

El empalme de las fibras que vienen del nodo primario con las que van a los nodos terminales se ejecuta en el nodo secundario, cuya localización puede ser la misma que la de un nodo terminal.

4.1.4 RED DE DISPERSION CON CABLE COAXIAL.

Reparte las ondas que van del nodo terminal, ubicado en un armario de distribución externo, a cada ramificación para los edificios conectados, para esto se emplea una arquitectura de árbol para que de cada uno de esos nodos partan cuatro ramales, cada

uno de los cuales alimenta a unos 125 clientes. En este nodo se ejecuta la transformación óptico-eléctrica de las ondas que van a los usuarios, generando una onda de radiofrecuencia que llega a los amplificadores que sirven a los 4 ramales construidos con cable coaxial que salen del nodo, los cuales se conectan a una red de derivadores que dan servicio a los usuarios de las casas o edificios.

4.1.5 RED DE USUARIOS.

Comprende la acometida a los usuarios y enlaza los cables coaxiales con los terminales de la red, o sea que está constituida por los tramos de cable coaxial que van de los derivadores ubicados en cada casa o edificio hasta la ubicación del cliente. Esta red puede construirse en estrella cuando un derivador alimenta a todos los clientes de un edificio mediante cables coaxiales independientes o en árbol cuando hay muchos clientes en cada piso del edificio siendo necesario instalar un derivador en cada uno de ellos y del cual salen cables coaxiales a los usuarios de ese piso. Dependiendo de la cantidad de clientes un derivador puede alimentar más de un piso.

4.2 ELEMENTOS DE LA RED

A continuación se describirán los elementos que conforman la red:

4.2.1 HEAD END (CABECERA).

Este elemento permite distribuir las señales de televisión, comprende la transmisión y recepción analógica y los sistemas de reserva, monitorización y transmisión óptica.

La etapa de transmisión y recepción análoga está formada por los siguientes elementos:

- Antenas
- Equipos receptores
- Equipos de banda base
- Codificadores

- Moduladores
- Etapa de recepción y transmisión análoga de reserva
- Antenas
- Equipos receptores
- Moduladores
- Monitoreo
- Transmisor óptico

En la figura 4.5 se observa la arquitectura de una red CATV que parte desde la cabecera y las diferentes redes de distribución que nacen de la red troncal.

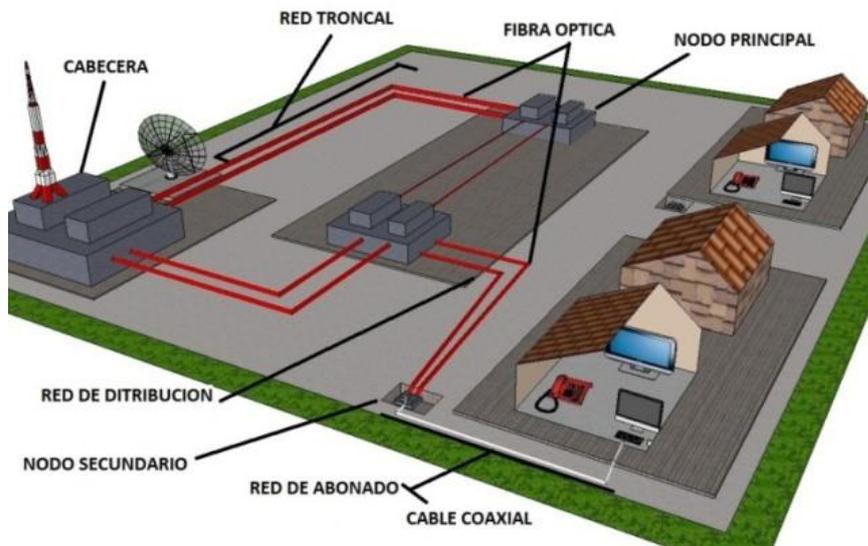


Figura 4.5 Red CATV

Fuente: redeseduges.blogspot.com

La estructura de la cabecera de un sistema CATV se observa en la figura 4.6.

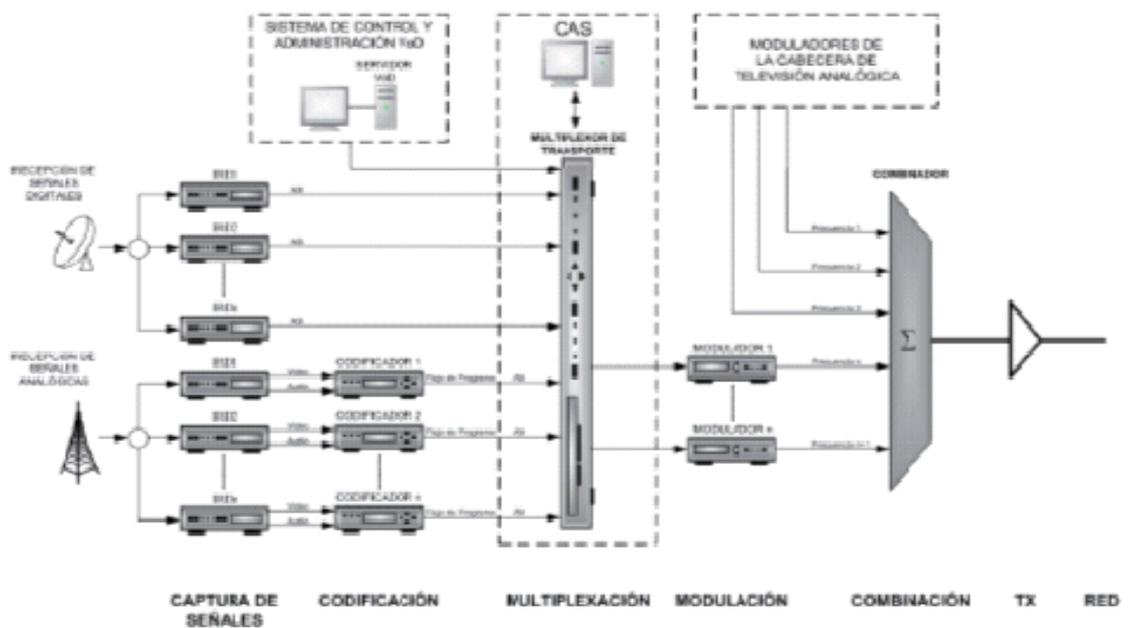


Figura 4.6 Estructura de la cabecera de una red CATV

Fuente: redhfcseña.blogspot.com

4.2.1.1 ETAPA DE TRANSMISION Y RECEPCION ANALOGICA

Esta etapa abarca las antenas parabólicas para recibir señales de los canales terrestres y vía satélite, los dispositivos receptores de televisión satelital incluyendo aparatos de monitoreo que analizan la calidad de las señales recibidas evaluando constantemente el nivel receptado y la relación señal/ruido y las salidas de los receptores en banda base van a la sección de conmutación. También contiene los demoduladores de televisión de canales terrestres para recibir señales de radiofrecuencia y trasladarlas a banda base y las salidas van a la sección de conmutación.

En esta etapa también se tienen los equipos de banda base, tales como la matriz de conmutación con variadas entradas y salidas para que los canales acoplados a sus entradas sean orientados a las salidas, las cuales se enlazan a la entrada de los moduladores o codificadores o a las pantallas de audio y vídeo en que se puede elegir

cual entrada se pone en la pantalla permitiéndose observar un canal y oír otro diferente, o a una grabadora de vídeo con su salida conectada a la matriz para permitir la grabación de un programa y transmitirlo posteriormente, o a un productor de texto con la salida enlazada a la matriz, así es posible insertar caracteres a una señal de vídeo, o al monitor principal del productor de canal mosaico que produce un canal de televisión donde se muestran al mismo tiempo las señales que llegan a las entradas en un mosaico y su salida está enlazada a la matriz, o a la entrada auxiliar de los moduladores, lo cual posibilita que al producirse una atenuación al ingreso del modulador se conmute a la entrada auxiliar y continúe operando, o al dispositivo de evaluación de vídeo donde una de las señales de vídeo es examinada. Esta etapa cuenta con dispositivos de reserva y monitoreo.

A continuación en esta etapa se dispone de la sección de codificación para los canales de televisión pagada, con codificadores que producen los datos que se envían a los equipos terminales del cliente y posibilitar la decodificación que cada usuario haya contratado. Las salidas de los decodificadores son moduladas en radiofrecuencia y van a los combinadores de la sección de modulación, en la cual se encuentran moduladores conformados para que las salidas estén en la frecuencia requerida y puedan ser todas combinadas, estas salidas van a la sección de combinación. Estos moduladores pueden ser supervisados y gestionados remotamente. Los combinadores que se mencionó anteriormente van enlazados a las salidas de los moduladores y codificadores estableciendo varias secciones y la salida en radiofrecuencia va al amplificador que suministra el rango de señal requerido a la sección de *splitters* que sirven a los transmisores ópticos, enlazados a la red troncal primaria. La aplicación de la matriz de conmutación se observa en la figura 4.7.

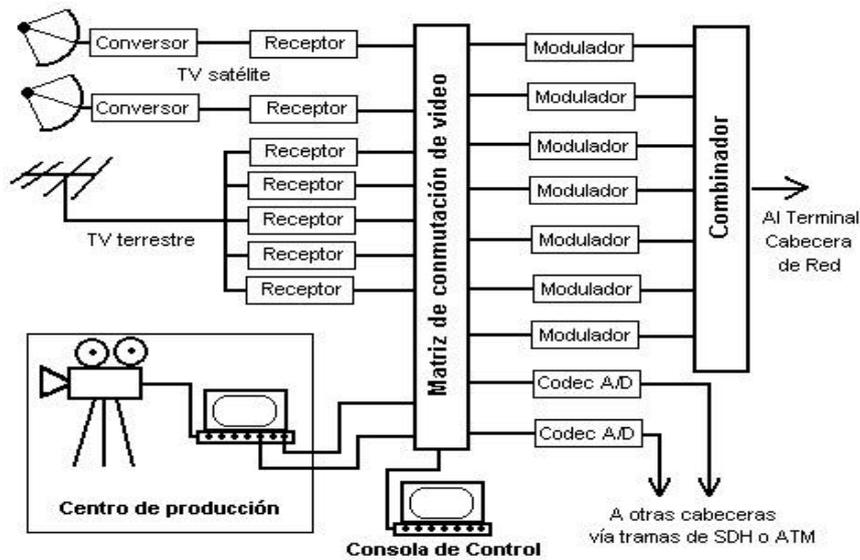


Figura 4.7 La matriz de conmutación de una red CATV

Fuente: comunicaciones3-upc.blogspot.com

4.2.1.2 ETAPA DE RESERVA DE TRANSMISION Y RECEPCION ANALOGICA

Igual que la etapa original se inicia con las antenas parabólicas para recibir los canales de televisión vía satélite y una sección para gestionar la alineación con los satélites. Para la señal de los canales terrestres se emplea una antena de reserva. También se tiene los receptores de reserva de televisión del satélite que son iguales a los ya detallados. Se emplea un dispositivo de conmutación para elegir uno de los accesos del satélite y enviarla al receptor. A continuación van los demoduladores de reserva de canales de televisión terrestre iguales a los mencionados en el punto anterior. Y los moduladores de reserva con las mismas propiedades ya descritas y adicionalmente posibilitan una conexión eficiente ya que se adaptan a la frecuencia de salida esperada.

4.2.1.3 ETAPA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Aquí se cuenta con un monitor para supervisar los canales, mediante la matriz de conmutación se puede visualizar un canal específico. También se tiene un monitor para medir la calidad del nivel de salida de radiofrecuencia de los combinadores.

4.2.1.4 ETAPA DE TRANSMISIÓN OPTICA

Aquí están los divisores que distribuyen la señal combinada de radiofrecuencia del *Head End* después de la amplificación, a los transmisores ópticos de la trayectoria descendente que se encargan de enviar la señal por la red troncal primaria. Hay dos de estos transmisores por cada nodo primario.

Un esquema de la configuración de los transmisores ópticos incluyendo los de reserva se puede observar en la figura 4.8. Se observa que estos equipos son servidos por una serie de divisores de radiofrecuencia que fraccionan la señal compuesta de la salida del amplificador de la sección de transmisión y recepción análoga. Las salidas de los transmisores ópticos van al cable de fibra óptica de la red troncal primaria conectada al nodo primario respectivo.

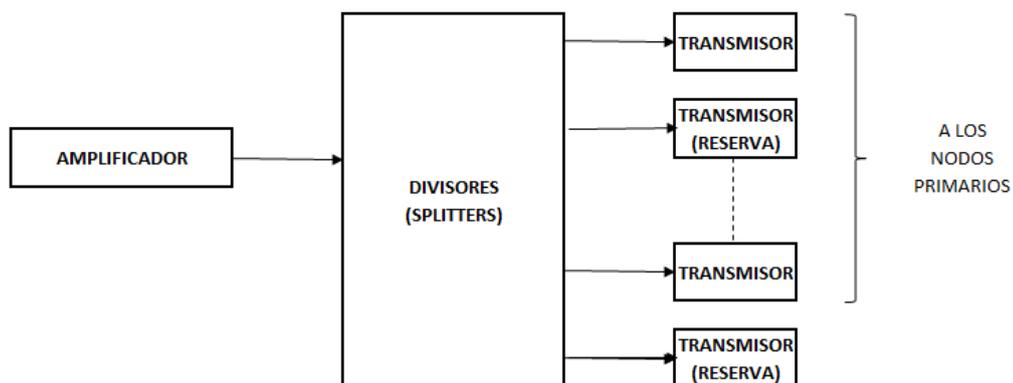


Figura 4.8 Esquema del transmisor óptico

Elaborado por: Autora

4.2.1.4 ETAPA DE RECEPCIÓN OPTICA

Se emplean dos receptores ópticos por cada nodo primario para recibir la señal de la red troncal primaria, sus salidas pasan a los conmutadores y las de estos ingresan a un combinador cuya salida ingresa a la sección de supervisión y control, como puede observarse en la figura 4.9.

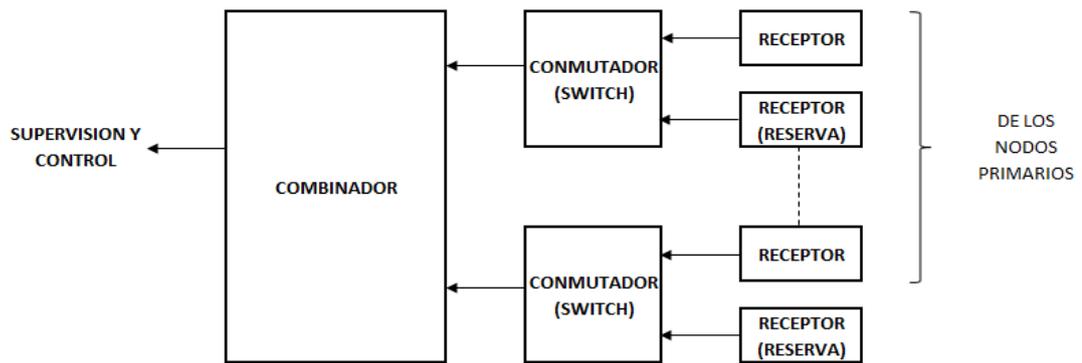


Figura 4.9 Esquema del receptor óptico

Elaborado por: Autora

La función del combinador es agrupar las señales recibidas produciendo una sola señal que ingresa a la sección de supervisión y control.

4.2.2 EL NODO PRIMARIO

En este tramo, denominado descendente, se recibe la señal proveniente de la red troncal primaria que viene de la *head end*, y se ejecuta la transformación óptico-eléctrica de la señal, pasa por el amplificador y por último se efectúa la inversa eléctrico-óptica para poder enviar la señal a los nodos ópticos respectivos del nodo primario.

En el siguiente tramo, denominado ascendente, se efectúa la transformación óptico-eléctrica de las señales de los trayectos de regreso de los nodos ópticos que se mezclan con un elemento pasivo para ejecutar la transformación eléctrico-óptica para su envío a través de la red troncal primaria a la *head end*. De acuerdo a lo indicado, el nodo primario tiene dos bloques independientes, el del tramo descendente y el del ascendente.

4.2.3 EL NODO SECUNDARIO

Están formados por una caja para empalmes de los cables de fibra óptica para dirigir las señales del nodo primario a través de la red troncal secundaria a los nodos terminales ópticos por medio de la red de abonado.

A partir del nodo primario salen seis lóbulos de 128 hilos de fibra con 96 activas y el resto de reserva, repartidas en seis anillos que conectan un nodo primario con uno secundario, es decir que cada uno de los lóbulos se enlaza con un nodo secundario y cada anillo cuenta con seis hilos, ocho forman la ruta principal y los otros la de reserva, de los ocho hilos cuatro van al canal descendente y las demás al ascendente, es decir que a un nodo óptico terminal van cuatro hilos, uno de la ruta principal al canal de subida y uno al de bajada e igual distribución para la ruta de reserva.

4.2.4 EL NODO TERMINAL OPTICO

Se instalan en armarios de distribución en la ubicación de uno de los cuatro nodos ópticos y su función es proporcionar servicio aproximadamente a 500 usuarios. Aquí se recepta la información de la ruta de bajada que viene del nodo primario por los cables secundarios y de abonado, efectuándose la transformación óptico-eléctrica y la salida pasa por el amplificador y se retransmite por los cuatro ramales de la red de distribución de cable coaxial a los clientes. En la ruta de subida se recepta la información de los dispositivos del cliente mezclándose y efectuando la transformación eléctrico-óptica para enviarlas al nodo primario.

4.3 DECODIFICADOR O TERMINAL DE USUARIO

Para que los abonados se conecten al servicio de televisión de esta red, se emplea un decodificador, ubicado donde el cliente, el cual descrypta los canales contratados por el cliente, es decir que los decodificadores del *head end* y del cliente son los límites del procedimiento de acceso. Estos dispositivos posibilitan que el usuario interactuar con el medio.

Desde el nodo óptico terminal mostrado en la figura 4.10 sale un cable coaxial hasta la ubicación del cliente como se muestra en la figura 4.11.

En el caso de edificios la señal llega al cliente después de varias derivaciones mediante divisores por lo que puede ocurrir pérdida de señal, lo cual se podría solucionar mediante amplificadores de línea instalados en el inmueble. Del derivador sale el cable coaxial al decodificador del televisor del cliente.



Figura 4.10 Nodo óptico

Fuente: www.scientificsatellite.net

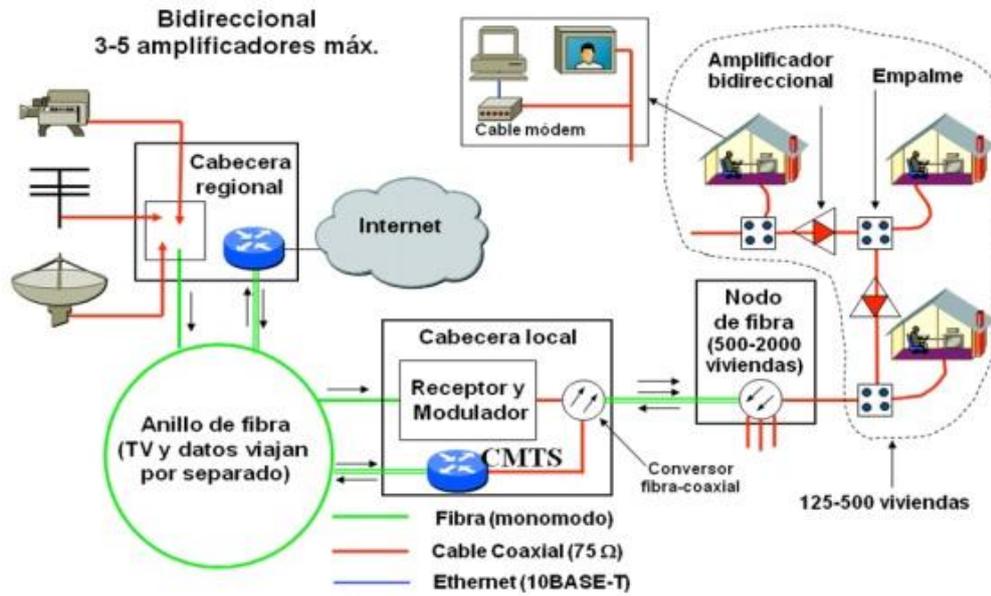


Figura 4.11 Esquema de la red de abonado

Fuente: redes150432.blogspot.com

Los divisores o *splitters* como el mostrado en la figura 4.12, permiten que la onda compuesta se fraccione para enviar la señal de radiofrecuencia a los transmisores ópticos. Y un derivador o *tap* se muestra en la figura 4.13.



Figura 4.12 Divisor o *splitter*

Fuente: www.electronica-basica.com



Figura 4.13 Derivador o *tap*

Fuente: www.taken.es

CAPÍTULO 5 RED DE BANDA ANCHA DE TRIPLE PLAY MEDIANTE PLC.

A continuación se detallará el diseño de una red de banda ancha para ofrecer servicio triple play aplicando PLC, que puede ser empleado por una empresa operadora de televisión por cable desde su *head-end* y a través de los cables de energía de una empresa eléctrica. Dentro de este estudio se establecerán los dispositivos requeridos para adaptar los servicios de audio, información y video en este medio de transmisión y brindar una respuesta a la necesidad de acceso de los usuarios.

5.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA CATV

Para iniciar el diseño de la red se requiere contar con el levantamiento catastral, el cual se realiza con personal recorriendo el área a servir considerando todos los datos necesarios para su ulterior empleo en el diseño.

5.1.1 PLANOS REQUERIDOS

Al tratarse de un diseño que empleará la infraestructura de la red HFC de la operadora de televisión por cable, se necesitará contar con los planos a escala de dicha red, los cuales deben mostrar las calles principales y secundarias con sus respectivos nombres, ubicación y distancia de la postería, límites del área a servir, estos datos se confirmarán al hacer el levantamiento en el que además se realizará el conteo de inmuebles, en el caso de edificios se establecerán datos de las acometidas y de los departamentos. También se comprobará la información correspondiente a la canalización empleada en la red HFC y que consta en los planos de la empresa. Así mismo se debe contar con los planos correspondientes al cableado telefónico de los edificios.

En la figura 5.1 se presenta un modelo de un plano en el que constan los nombres de las calles del sector para el cual se va a diseñar la red.

En la figura 5.2 puede observarse la planta externa existente y las características más importantes de ella, las cuales deben tomarse en cuenta en el levantamiento a realizarse.



Figura 5.1 Modelo de un plano de las calles con sus nombres

Fuente: www.cambilex.com.uy

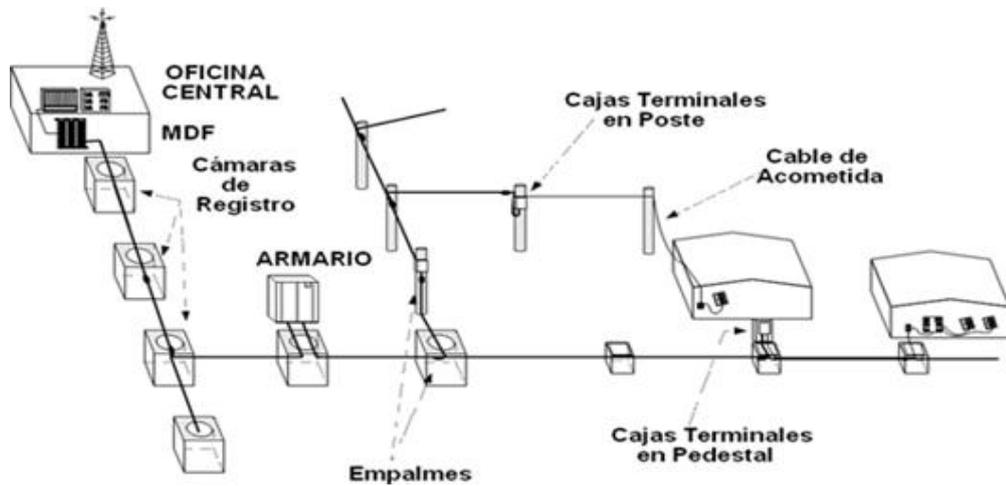


Figura 5.2 Modelo de implementación de planta externa

Fuente: ingenia-t.blogspot.com

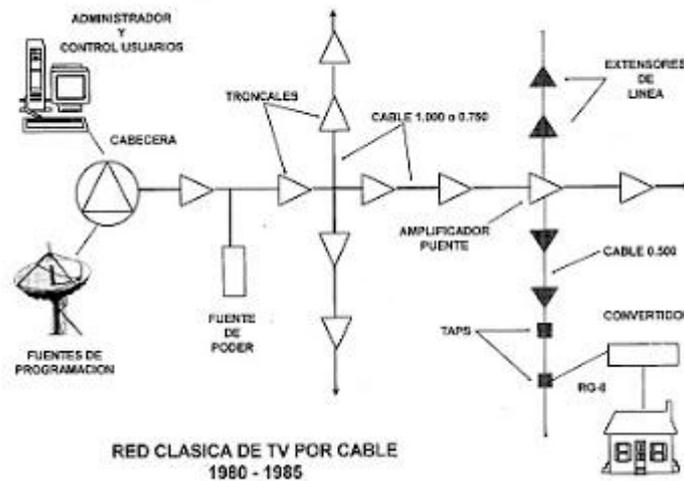


Figura 5.3 Modelo de red inicial de CATV

Fuente: comunicaciones3-upc.blogspot.com

Para la instalación de cables de fibra óptica originalmente los nodos se colocaban en tramos de la red en zonas pequeñas para aminorar la cantidad de amplificadores conectados en cascada y mejorar la eficiencia.

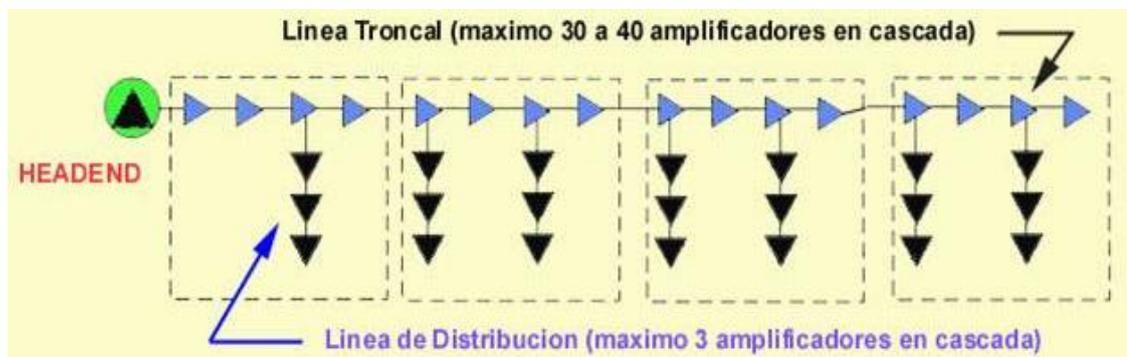


Figura 5.4 Red troncal de fibra óptica

Fuente: hfcexcolombia.blogspot.com

En este proyecto se utilizará el modelo de red HFC, es el que más se emplea en el que se la fracciona para aminorar la cantidad de amplificadores conectados en cascada para mejorar la eficiencia, la fiabilidad y disminuyendo su precio, además se mejora la práctica del retorno. En este punto es importante recordar que la fibra

óptica no es afectada por la temperatura e interferencias de radiofrecuencia. Este modelo se muestra en la figura 5.5.

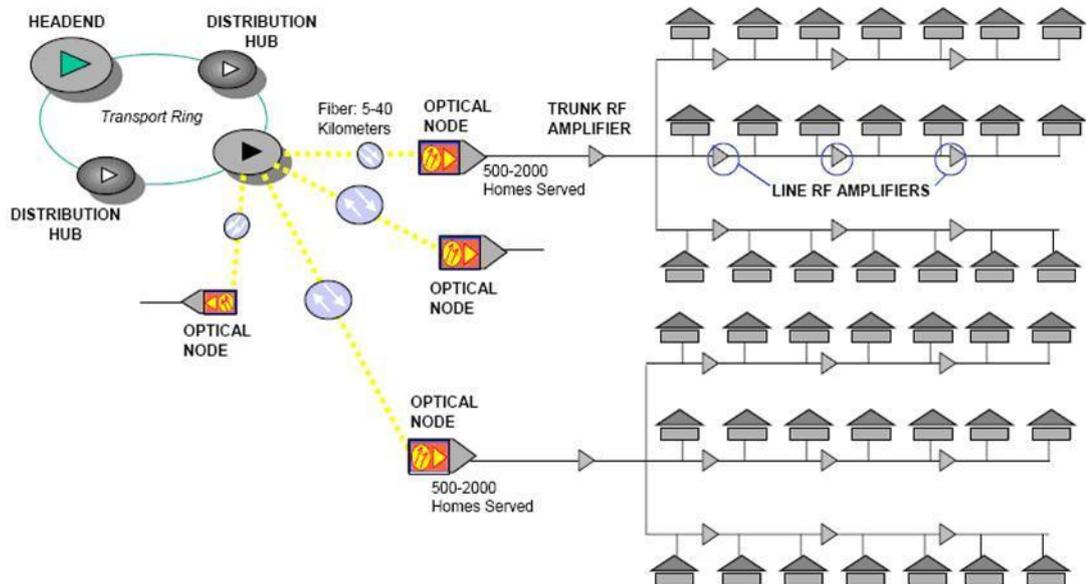


Figura 5.5 Red HFC

Fuente: www.img.lx.it.pt

5.1.3 LA RED HFC

Para su esquema se considera que la configuración nace en el nodo y en los casos en que la señal es muy baja, se emplearán amplificadores conectados en cascada. En la figura 5.6, se muestra los potenciales puntos de falla de esta red que enlaza el nodo los amplificadores.

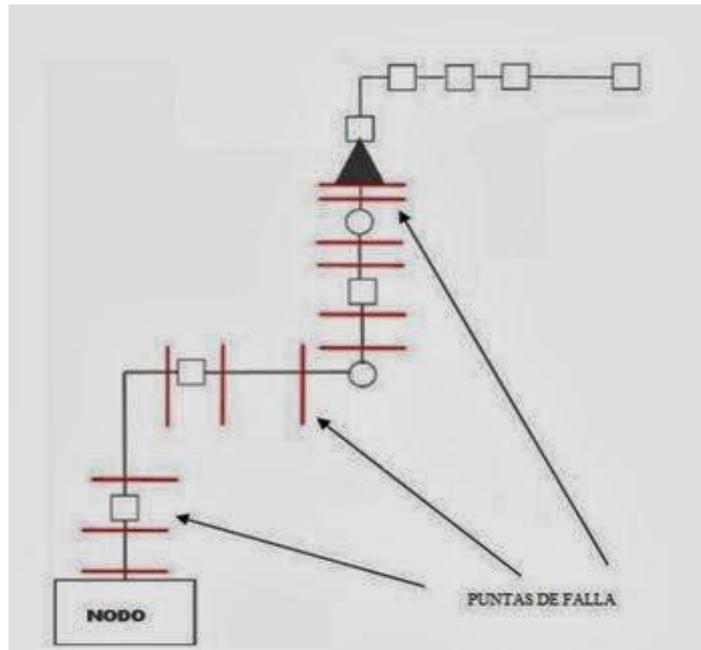


Figura 5.6 Potenciales puntos de falla de la red

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73506101/Introduccion-a-Las-Redes-de-Banda-Ancha>

Además se establece una red troncal solo para los amplificadores, independiente en la salida de la red de distribución de cada uno de ellos y así se disminuye el número de potenciales puntos de falla lo cual incrementa la fiabilidad, como puede observarse en la figura 5.7 donde se han disminuido 10 puntos de falla quedando únicamente dos de ellos.

En este modelo el nodo se ubica en el centro del área a servir y puede atender hasta 2000 clientes, después se fragmenta en celdas formadas por los amplificadores y ellas se enlazan mediante la red troncal entre los amplificadores, es decir que la estructura parte de los amplificadores y alimenta toda la celda que le corresponde, como se muestra en la figura 5.8

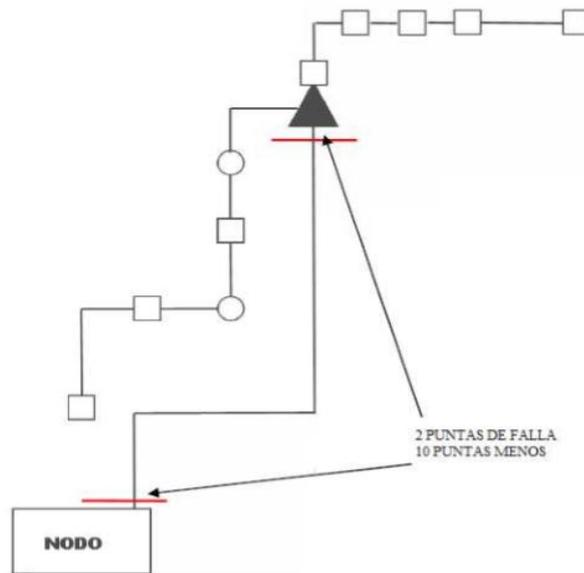


Figura 5.7 Disminución de los potenciales puntos de falla de la red

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73506101/Introduccion-a-Las-Redes-de-Banda-Ancha>

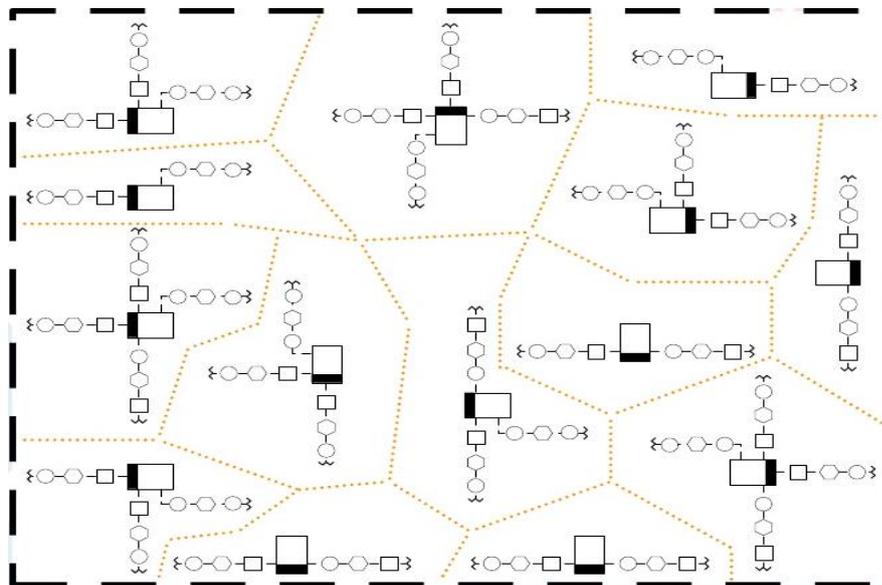


Figura 5.8 Fragmentación en celdas

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73506101/Introduccion-a-Las-Redes-de-Banda-Ancha>

Bajo esta estructura, se ubica el nodo y a continuación se enlazan las celdas, la cantidad de activos en las ramificaciones se establece de acuerdo al número de clientes y la capacidad del nodo. En caso de requerir servir a más de dos mil clientes hay que fragmentar la zona en celdas constituidas por nodos cuya capacidad depende de la cantidad de clientes, un diseño de este tipo se presenta en la figura 5.9.

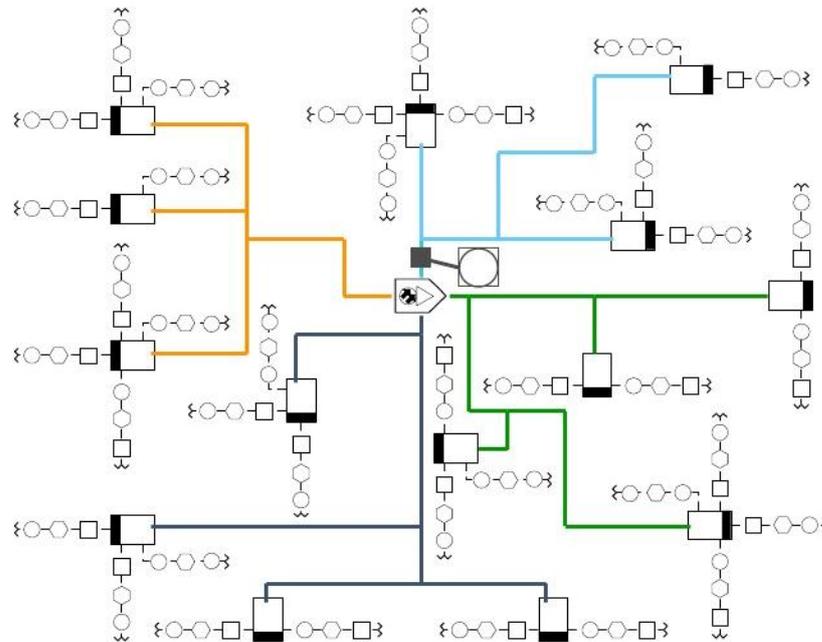


Figura 5.9 Diseño de la red

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73506101/Introduccion-a-Las-Redes-de-Banda-Ancha>

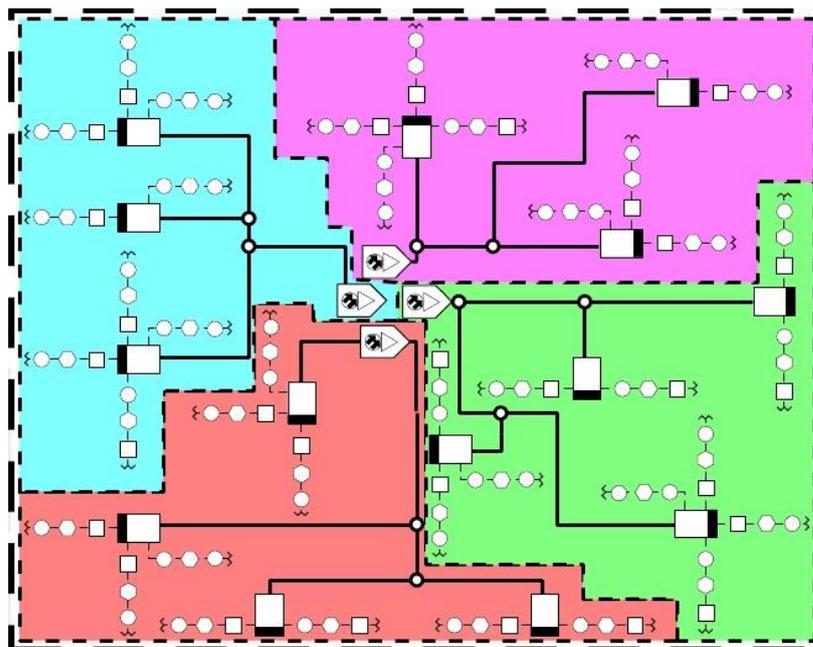


Figura 5.10 Fragmentación por nodos

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73506101/Introduccion-a-Las-Redes-de-Banda-Ancha>

5.1.3.1 EL SOFTWARE DE LA RED HFC

Es la programación cuya función es llevar la información del *head-end* al usuario, para determinar la repartición se considera desde la salida del amplificador con los datos de más pérdida en los derivadores más cercanos al amplificador y se va disminuyendo gradualmente según se va reduciendo la onda, de esta manera las salidas que van a los clientes se conserve en aproximadamente +20dB a +17 dB, considerando la atenuación por la distancia causada por el cable coaxial de aproximadamente 5db en 100 metros y las pérdidas por inserción de los equipos que es de 1dB en cada uno.

5.1.3.2 SEÑAL DE RETORNO

Es aquella que va del cliente a la *head-end* en la cual se genera la misma información es generada por Internet y telefonía. Para una red de 1 GHz la inclinación es de 14,5 dB, en otras palabras la potencia de la señal más baja será menor que la mayor

frecuencia 14,5, considerando que la señal en la entrada del derivador y a la salida de *drop* de él,

5.1.3.3 LA RED DE DATOS

En el *head-end* van ubicados los dispositivos para enlazar la red de información con internet y el nodo primario localizado contiguo a ésta tiene como función la operación de los módems de cable mediante los que el cliente ingresa a la red.

Estos dispositivos correspondientes al tramo de la red del *head-end* al cliente se presentan en la figura 5.11, de esta manera la red se enlaza a internet mediante el enrutador, la seguridad para la red es proporcionada mediante un *firewall*, protegiéndola de agresiones del exterior. Para apresurar el ingreso a internet se utiliza el servidor proxy para que opere como caché de páginas web. Por otro lado los componentes correspondientes al cliente, se enlazan a un módem de cable, para posibilitar el ingreso a la red HFC. Los dispositivos empleados en esta clase de sistema de banda ancha con CATV se inicia con el enrutador que utiliza y ordena los datos a los destinos de la red, el servidor proxy que ayuda a aumentar la capacidad de operación, el *firewall* que autoriza o no comunicaciones entre las redes.

Además se cuenta con los servidores que brindan a otras máquinas diversos servicios informáticos, un conmutador multiservicio ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) que une dispositivos diversas tecnologías, un conmutador LAN (*Local Area Network*) para enlazar servidores al conmutador ATM, el *head end* de cable y los módems de cable del cliente para ingresar a la red con tecnología HFC con tasas de transmisión de canales de bajada y subida programables desde el *head end* desde 32 Kbps a 10 Mbps, todos conforman la red de acceso a la información que resiste dos mil 2000 módems de cable con un canal de bajada distribuido de 30 Mbps y 6 MHz y algunos de subida distribuidos de 2,56 Mbps y 1,8 MHz.

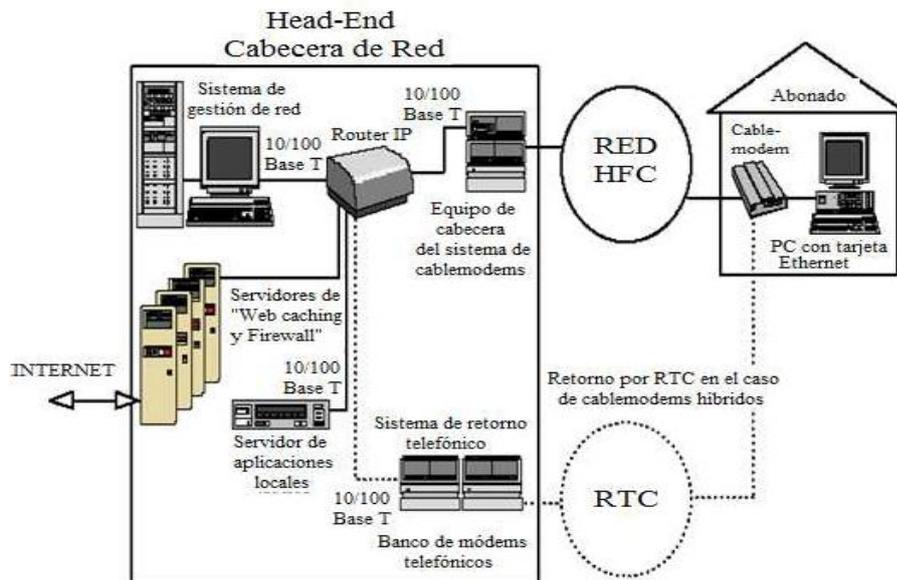


Figura 5.11 Red de datos para banda ancha

Fuente: (Villalva, 2012)

5.1.3.4 LA RED PLC

De acuerdo a lo expresado para la operación del sistema de banda ancha a través de los cables de bajo voltaje empleados como una red de acceso para los clientes y los de medio voltaje como red de distribución, llevando información al *backbone*, así este tramo pasa a formar parte de los anillos de fibra óptica de la red de telecomunicaciones como una WLAN (*Wireless Local Area Network*), demostrando la capacidad de PLC de ser una opción efectiva para acceso de banda ancha.

Todo se basa en la conexión del módem PLC del cliente a la red de energía y enlazarse a la red de comunicaciones. El módem se enlaza al repetidor PLC ubicado en el *head end* de los transformadores de distribución. Las tasas de envío para el trayecto de bajo voltaje son de 45 Mbps repartidos en 27 Mbps hacia abajo y 18 Mbps hacia arriba. Este ancho de banda se distribuye hasta entre los 256 clientes conectados al *head end*, es decir que al aumentar el número de clientes se disminuye la tasa de transmisión que le corresponde a cada uno, mejorando así a ADSL. Las figuras 5.12 y 5.13 muestran la operación de PLC.

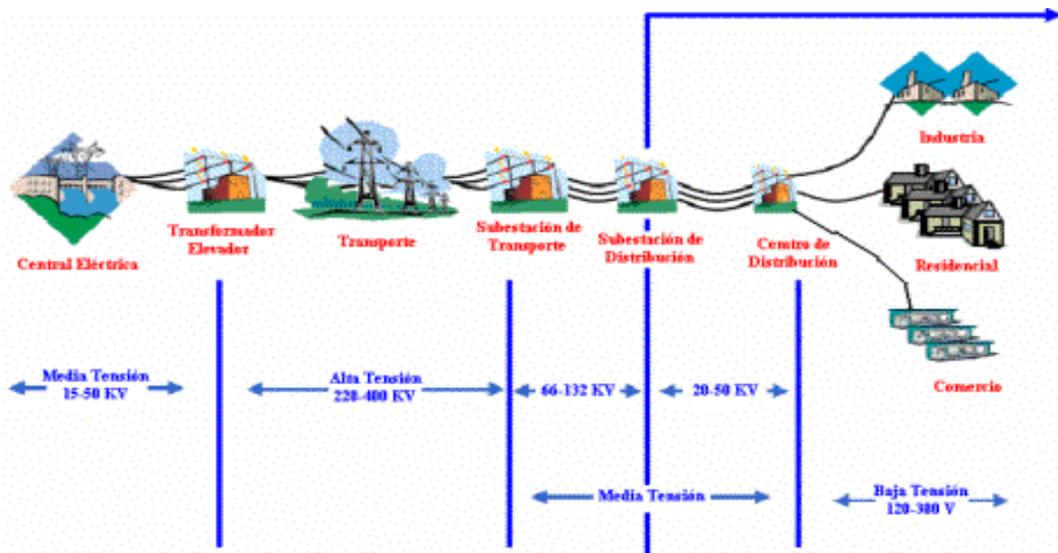
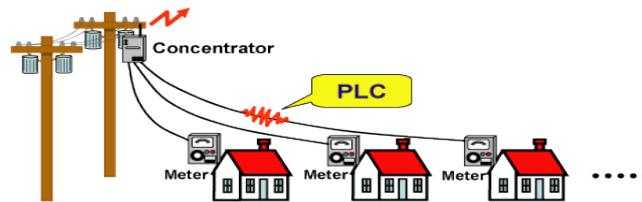


Figura 5.12 Ámbito de PLC

Fuente: www.gestiopolis.com

◆ AMR (Automatic Meter Reading)



◆ Home Network

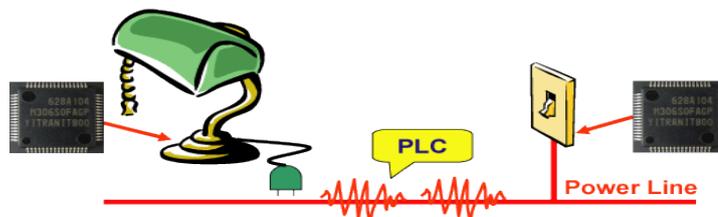


Figura 5.13 Operación de PLC

Fuente: www.channelbiz.es

Empleando cables de fibra óptica se transportan datos de telefonía e internet al transformador de distribución donde está el *head end* PLC con convertidores optoeléctricos y se introducen los datos al régimen de distribución de energía de bajo voltaje y de esta manera los datos van a los clientes por las líneas eléctricas ingresando por los medidores al repetidor PLC donde se restauran los datos y llegan

al abonado transformando un enchufe en un punto de acceso. El cliente requiere un módem PLC para tomar los datos, este dispositivo opera como un filtro pasa-altas para los datos y pasa-bajas para la electricidad. Ahora el cliente tiene acceso a los datos en cualquier enchufe del inmueble.

5.1.4 LOS CENTROS DE TRANSFORMACION

Son centros donde llega electricidad en alto voltaje, unos 30 KV o medio con 13,8 KV y la transmite en medio o bajo voltaje a los clientes finales a 120 o 240 V, es decir que opera como una subestación eléctrica. En este proceso se emplean transformadores de distribución. Con PLC cada centro ofrecería prestaciones de banda ancha a la comunidad. Se localizan en edificios y cámaras subterráneas con equipos tales como interruptores de alta tensión, transformadores y armario de bajo voltaje.

5.2 DISEÑO DEL SISTEMA PLC

Se considerarán dos aspectos: la red eléctrica y la de datos.

5.2.1 LA RED ELECTRICA

Es necesario en este punto diferenciar aquellos dispositivos correspondientes al tramo de acceso y de la localidad del cliente, evaluando los dispositivos según las características de la empresa eléctrica respectiva para transportar la información al cliente por las líneas de bajo voltaje empleándolas como red de acceso.

También se requiere establecer la forma de conexión de los tramos de la red de energía, esto puede hacerse mediante un acoplamiento capacitivo en paralelo a la red para interiores e inductivo en la red de acceso. A continuación hay que comprobar el estado de la red eléctrica subterránea y de las instalaciones del cliente.

Todo esto se realiza tomando en cuenta los estándares referentes a los trayectos en los inmuebles, esto es menos de 100 m en domicilios a causa de la electricidad monofásica a 110 VAC para asegurar la conexión entre nodos y en edificios pueden tenerse trayectos mayores por lo que se necesita más seguridad en las transmisiones. En conclusión, es importante evaluar la utilidad de PLC en estas localidades de acuerdo al diseño de la red de energía.

5.2.2 LA RED DE DATOS

Es necesario establecer una red para el envío de información a los centros de transformación, la cual puede ser de fibra óptica como en las redes HFC, es decir que podría emplearse la de algún proveedor de telecomunicaciones, ésta se enlazará a través de la canalización de medio voltaje al centro.

Para esta etapa hay que tomar en cuenta la cantidad de usuarios PLC que se conectarían al centro de transformación y establecer el tráfico de datos que irá por la red y de lo cual se deducen los métodos de automatismo y supervisión de los centros que operan con pocos bps y ahora requerirán Mbps para atender los requerimientos de banda ancha de los clientes. Con estos datos se establecerá la potencia requerida para el envío de información transmisión de datos y asegurar el necesario ancho de banda y reducir las consecuencias del ruido en la red.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha efectuado un estudio detallado de la tecnología *Power Line Communication* y de los requerimientos para la transmisión de servicios Triple Play.

Se procedió a determinar la posibilidad de utilizar las redes eléctricas con tecnología PLC para la transmisión de servicios Triple Play.

A continuación se realizó el análisis de los resultados de la investigación realizada para determinar la aplicabilidad de la red eléctrica como medio de transmisión, encontrándose una respuesta positiva estableciéndose que las redes eléctricas son una opción como red de acceso.

Lo expresado demuestra que se ha cumplido con el objetivo principal de la investigación al haberse realizado una evaluación para establecer la ventaja que representaría la utilización del sistema PLC para brindar servicios convergentes Triple Play.

RECOMENDACIONES

Las empresas que dan servicio de Triple Play debería considerar a futuro la implementación de PLC como una alternativa de acceso domiciliaria.

En caso de su aplicación, brindar capacitación al personal técnico en lo referente a PLC para la operación adecuada del servicio.

Es importante revisar las instalaciones eléctricas de los usuarios antes de implementar el servicio con PLC para evitar fallas en la transmisión de datos.

Debería fomentarse la implementación de la tecnología PLC para transmisión de información especialmente en aquellas áreas que no pueden ser atendidas mediante las redes convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, J., García, V., González, D., González, G., Rodríguez, D., Rubio, M., y otros. (2011). *Transmisión de datos por la red eléctrica*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de <http://www.victorgarcia.org/>: <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>

Anatory, J., & Theethayi, N. (2010). *Broadband Power-line Communication Systems: Theory & Applications*. WIT Press.

Barragan, A. (7 de mayo de 2012). *Topologías de red*. Recuperado el 30 de Julio de 2013, de uhu.es: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/5topologias>

Carcelle, X. (2009). *Power Line Communications in Practice*. Artech House.

Castro, L. (8 de Octubre de 2012). *Topologías de las redes*. Recuperado el 30 de Julio de 2013, de Prezi: <http://prezi.com/ppgfyt22yelv/copy-of-topologias-de-las-redes/>

Dostert, K. (2001). *Powerline Communications*. Prentice Hall International.

Ferreira, H., Lampe, L., Newbury, J., & Swart, T. (2011). *Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines*. John Wiley & Sons.

Fuentes, D., & Izquierdo, A. (2004). *Power line communication*. IberLibro.com.

Gago, J. (17 de Noviembre de 2009). *Comunicaciones PLC*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2013, de XV JORNADES de CONFERÈNCIES JCEE'09:
http://www.jcee.upc.edu/JCEE2009/pdf_ponencies/PDFs/Gago_17_11_09_M.pdf

Gonzalez, R. (s.f.). *Redes de area amplia - WANs*. Corrientes - Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.

Hooijen, O. (1998). *Aspects of Residential Power Line*. Shaker.

Hrasnica, H., Haidine, A., & Lehnert, R. (2005). *Broadband Powerline Communications: Network Design*. Wiley.

Ilevo. (2012). *Sistema PLC Ilevo*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2013, de Schneider Electric:
www.ingeborda.com/biblioteca/.../Schneider/Panorama_Ilevo.pdf

Kinnard, D. (2011). *Powerline*. Desert Breeze Publishing In.

Latchman, H., Katar, S., Yonge, L., & Gavette, S. (2013). *Homeplug AV and IEEE 1901: A Handbook for PLC Designers and Users*. John Wiley & Sons.

Lee, J. (2008). *Performance Enhancement of CSMA/CA in Powerline Communications under Heavy Traffic and Hidden Node Conditions*. University of Florida.

Millán, R. (2003). Banda ancha en el enchufe. *PC World No.202 IDG Communications S.A.*

Romero, M., & Cucalón, A. (2013). *Estudio y proyección del despliegue de la tecnología PLC como alternativa de acceso en Ecuador*.

Guayaquil: Editorial de la Dirección de Publicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil .

Rubin, O. (2002). Plug into home networks. *IEEE Spectrum*, 60-62.

Villalva, A. (2012). *Propuesta de la prestación de servicios de banda ancha mediante el empleo conjunto de tecnologías CATV y PLC*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Wellstone, P. (2003). *Powerline: The First Battle of America's Energy War*. U of Minnesota Press.

GLOSARIO

ADSL:	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> , Línea de Abonado Digital Asimétrica
AMR:	<i>Automatic Meter Reading</i>
ASK	<i>Amplitude-Shift Keying</i>
ATM:	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BPL:	<i>Broadband over Power Line</i>
CATV:	<i>Community Antenna Television System</i> , Sistema de Televisión por Antena Colectiva
CPE:	<i>Customer Premises Equipment</i>
CSMA/CA:	<i>Carrier Sense Multiple Access and Collision Avoidance</i> , Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Prevención de Colisiones
CT:	Centro de Transformación
DFT:	<i>Discrete Fourier Transform</i>
DQPSK:	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying</i>
DSSS:	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
FFT:	<i>Fast Fourier Transform</i>
FSK:	<i>Frequency-Shift Keying</i>
HAN:	<i>Home Area Network</i>
HF:	<i>High Frequency</i>
HFC:	<i>Hybrid Fibre Coaxial</i>
IDFT:	<i>Inverse Discrete Fourier Transform</i>
IEEE:	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IFFT:	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>
IMS:	<i>Information Management System</i>
IP:	<i>Internet Protocol</i>
ISP:	<i>Internet Service Provider</i> , Proveedor de Servicios de Internet
ISO:	<i>International Organization for Standardization</i>
LAN:	<i>Local Area Network</i>
MGEN:	<i>Multi-Generator</i>

MPEG:	<i>Moving Picture Experts Group</i>
OFDM:	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales</i>
OSI:	<i>Open System Interconnection</i>
PLC:	<i>Power Line Communication, Comunicaciones por Líneas de Energía</i>
PSK:	<i>Phase Shift Keying</i>
PSTN:	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PUA:	<i>PLC Utilities Alliance</i>
QoS:	<i>Quality of Service</i>
QAM:	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
SAE:	<i>System Architecture Evolution</i>
SDH:	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SNMP:	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SNR:	Relación Señal-Ruido
SS:	<i>Spread Spectrum, Modulación de Espectro Ensanchado</i>
TCP:	<i>Transmission Control Protocol</i>
TIC:	Tecnología de la Información y Comunicación
UDP:	<i>User Datagram Protocol</i>
UPA:	<i>Universal Powerline Association</i>
VLAN:	<i>Virtual LAN</i>
VoIP:	<i>Voice over IP</i>
VPN:	<i>Virtual Private Network</i>