



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRICO-MECANICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

TEMA:

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL BAJO
TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN POR RED ELÉCTRICA (PLC) PARA
EL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD DE LA FACULTAD DE
EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE GUAYAQUIL**

Previa la obtención del Título

**INGENIERO ELECTRICO-MECANICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL**

ELABORADO POR:

ROBERTH VITE

GUAYAQUIL, 19 DE DICIEMBRE DE 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el estudiante, ROBERTH ALFONSO VITE ROMERO como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO ELECTRICO-MECANICO.

Ing. Efraín Suarez Murillo

TUTOR

REVISORES

MSc. Pedro Tutiven Lopez

MSc. Jaime Layana Chancay

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Armando Heras Sánchez

GUAYAQUIL, 19 DE DICIEMBRE DEL 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA ELECTRICO-MECANICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

ROBERTH ALFONSO VITE ROMERO

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación denominado **“Estudio y diseño de una red de área local bajo tecnología de comunicación por red eléctrica (PLC) para el laboratorio de electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil”**, ha sido desarrollado con base a una investigación íntegra, 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 trabajo de titulación referido.

Guayaquil, 19 de Diciembre del 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA ELECTRICO-MECANICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN
EMPRESARIAL

AUTORIZACIÓN

YO, ROBERTH ALFONSO VITE ROMERO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: **“Estudio y diseño de una red de área local bajo tecnología de comunicación por red eléctrica (PLC) para el laboratorio de electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Guayaquil, 19 de Diciembre del 2013

El autor

Roberth Alfonso Vite Romero

DEDICATORIA

A Dios, porque siempre ha cuidado de mis pasos, por darme la vida y la tenacidad para culminar cinco años de estudio, dedico este trabajo de graduación a mi padre y madre que estuvieron siempre en cada instante apoyándome durante los momentos de mi vida estudiantil, a mis hermanos y familiares a ellos dedico este trabajo.

A mis profesores de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, quienes me dieron la enseñanza y amistad, a sus autoridades.

Roberth Alfonso Vite Romero

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Robert y Mayra por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A toda mi familia por toda la comprensión y amor, que me ha permitido avanzar y llegar a culminar una carrera de pregrado.

A mis profesores de la carrera Ingeniería Eléctrico-Mecánica, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

Roberth Alfonso Vite Romero

RESÚMEN

Las comunicaciones por líneas eléctricas, *Power Line Communication* (PLC) es una tecnología de red emergente que tiene importantes implicaciones para los ambientes inteligentes. La tecnología PLC cuenta con un nuevo paradigma: "sin cables nuevos" para interconexión de servicios de datos, telefonía y televisión a través del cableado eléctrico existente en viviendas e infraestructuras industriales etc.

Este trabajo de graduación se desglosa de la siguiente manera; el capítulo uno, describe la generalidades del proyecto de graduación, los objetivos, se justifica la propuesta de red LAN-PLC para el laboratorio de Electricidad, pues se evita realizar cableado estructurado y otros aspectos más. El capítulo dos, describe el marco teórico acerca de la tecnología PLC.

El tercer capítulo describe la recolección de datos, que analiza el estado actual de la red eléctrica y tomacorrientes del laboratorio, se verifica estado de líneas eléctricas y se mide los voltajes, tierra, en cada tomacorriente del laboratorio, el cuarto capítulo realiza el diseño de propuesta red LAN-PLC, para el laboratorio de electricidad de la FETD.

El quinto y sexto capítulo, son las conclusiones y recomendaciones acerca de este trabajo.

Palabras claves: PLC, BPL, OFDM, FILTER, LAN

ABSTRACT

Power Line Communication (PLC) is an emerging network technology that has important implications for intelligent environments. The PLC technology offers a new paradigm: "no new wires" to interconnect data services, telephony and television through the existing electrical wiring in homes and industrial infrastructures etc.

This graduation paper is broken down as follows: the first chapter describes the overview of the graduation project, the objectives, the proposed LAN-PLC Network Laboratory Electricity is justified, because it avoids making structured cabling and other aspects more. Chapter two describes the theoretical framework on the PLC technology.

The third chapter describes the data collection, which analyzes the current state of the electrical outlets and laboratory network status is verified power lines and voltages, earth, on each outlet of the laboratory, the fourth chapter takes design is measured LAN-PLC network proposal for the lab FETD electricity.

The fifth and sixth, are the conclusions and recommendations for this work.

Keywords:

PLC, BPL, OFDM, FILTER, LAN

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.6 JUSTIFICACIÓN	3
1.7 HIPÓTESIS	4
1.8 METODOLOGÍA.....	4
CAPÍTULO II.....	5
CONCEPTUALIZACION DE REDES ELECTRICAS Y TECNOLOGIA PLC.....	5
2.1 LA TECNOLOGÍA PLC Y LA RED ELÉCTRICA.....	7
2.2 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGIA PLC O BPL	9
2.2.1 TECNICAS DE MODULACIÓN EN TECNOLOGÍA PLC	10
2.2.2 LA MODULACIÓN OFDM EN TECNOLOGIA PLC	12
2.2.3 VENTAJAS DE MODULACIÓN OFDM	15
2.3 CAPAS DEL MODELO OSI EN QUE OPERA PLC	17
2.3.1 CAPA FÍSICA DE PLC	18
2.3.2 CAPA DE ENLACE DE DATOS-PLC	19
2.4 ARQUITECTURA DE LA RED PLC	22
2.4.1 TOPOLOGÍA FÍSICA DE LA RED PLC	29
2.4.2. TOPOLOGÍA LÓGICA DE LA RED PLC	30
2.5 APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA PLC.....	30
2.5.1. APLICACIONES EXTERNAS.	30
2.5.2. APLICACIONES INTERNAS.	31
2.5.3. APLICACIONES EN BANDA ANGOSTA	31

2.5.4. APLICACIONES EN BANDA ANCHA.....	32
2.6 INFRAESTRUCTURA DE SISTEMAS PLC'S	33
2.6.1 UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO (UA) O UNIDAD HE (HEAD END).....	33
2.6.2 UNIDAD REPETIDORA (UR)	36
2.6.3 UNIDAD DE USUARIO (UU) O MÓDEM PLC	36
2.7 DISPOSITIVOS ADICIONALES PARA EL SISTEMA PLC	38
2.8 ACOPLAMIENTO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS	38
 CAPÍTULO III	 44
ESTUDIO DE CASOS DE TECNOLOGÍA PLC/BPL	44
3.1 ESQUEMA DE INSTALACIÓN EN MEDIA TENSIÓN	44
3.2 CONFIGURACIÓN EN BAJA TENSIÓN.....	46
3.3 PROCESO DE INSTALACIÓN RESIDENCIALES	48
3.4 LIMITACIONES TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA PLC	50
3.5 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO EN LAS REDES PLC.....	56
3.5.1 SEGURIDAD EN REDES PLC	56
3.5.2 CALIDAD DE SERVICIO QOS	58
3.6 TENDENCIAS FUTURAS DE LA TECNOLOGÍA PLC	59
3.7 EMPRESAS ELÉCTRICAS EN EL ECUADOR QUE PROYECTAN LA TECNOLOGÍA PLC.	60
3.7.1 TRANSELECTRIC.....	61
 CAPÍTULO IV	 65
ANÁLISIS DE RED LAN BAJO PLC EN LABORATORIO FETD	65
4.1 REVISIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LABORATORIO.....	65
4.2 MEDICIÓN DE TIERRA FÍSICA.....	66
4.3 EQUIPOS ELECTRO-MODEM.....	69
4.4 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS DE RED LAN BAJO PLC	70

4.5 COSTO-BENEFICIO DE LAN-PLC.....	72
4.6 DISEÑO PROPUESTO DE RED LAN-PLC	74
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de una red eléctrica general.....	17
Figura 2.2 Etapas de la tecnología PLC.....	20
Figura 2.3 Rango de frecuencias de PLC en redes eléctricas.....	22
Figura 2.4 Modelo de 6 sub portadoras bajo OFDM.....	24
Figura 2.5 Las Sub-portadoras en OFDM.....	26
Figura 2.6 Pila de protocolos de la tecnología PLC.....	34
Figura 2.7 Trama en PLC.....	34
Figura 2.8 Arquitectura de una red PLC.....	36
Figura 2.9 Técnica de inyección internet a PLC-acoplamiento inductivo.....	37
Figura 2.10 Los repetidores en la red de acceso PLC.....	38
Figura 2.11 Esquema de conexión de Cabecera PLC.....	39
Figura 2.12 PLC in house.....	40
Figura 2.13 Electromoden marca Netgear de 200 Mbps.....	41
Figura 2.14 Esquema de conexión PLC in house.....	42
Figura 2.15 Unidad de Acondicionamiento instalada un cuarto de Transformación más unidad repetidora.....	49
Figura 2.16 Tipos de filtros instalados en los equipos PLC.....	53
Figura 2.17 Bypass en el transformador eléctrico.....	54
Figura 2.18 Unidad de acoplamiento capacitivo BT.....	56
Figura 2.19 Unidad de acoplamiento inductivo BT y modos de inserción.....	57
Figura 3.1 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.....	60
Figura 3.2 Instalación de PLC en la red BT.....	61
Figura 3.3. Esquema instalación de una red PLC.....	64
Figura 3.4. Esquema de mediciones de interferencia.....	70
Figura 3.5 Tecnologías utilizadas por Transelectric.....	78
Figura 3.6 Sistema Nacional de Transmisión.....	79
Figura 4.1 Laboratorio de Electricidad de la FETD-UCSG.....	82
Figura 4.2 Medición de tierra y voltaje en tomacorrientes del laboratorio.....	83
Figura 4.3. Medición de voltaje en tomacorrientes.....	84
Figura 4.4 Electromoden PLC NETGEAR 200.....	85

Figura 4.5 Configurando dirección IP a Pc1.....	86
Figura 4.6 Configuración de IP a Pc2.....	87
Figura 4.7. Tiempo de respuesta (en milisegundo) entre Pc2 y Pc1.....	87
Figura 4.8 Conectividad lógica entre dos pc's utilizando 2 modems-PLC en laboratorio FETD.....	87
Figura 4.9 Propuesta de conexión LAN-PLC para el laboratorio de Electricidad de la FETD-UCSG.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Número de portadoras para el sistema PLC.....	27
Tabla 3.1. Límite de interferencias estipulados por la FCC.....	69
Tabla 4.1 Resultados de mediciones de voltaje en tomacorrientes	85
Tabla 4.2 Referencia de costo comparando con otras tecnologías.....	89
Tabla 4.3 Referencia de costos para 10 puntos de red.....	89
Tabla 4.1: Presupuesto referencial de red DWDM para campus UCSG.....	48

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis se enfoca en la aplicación de la tecnología *Power Line Communications*, PLC o BPL (*Broadband over Power Line*), donde se utiliza como medio de transmisión los tendidos de red eléctrica para la transmisión de datos, tecnología que no es un descubrimiento nuevo, hoy los recientes avances tecnológicos y la liberalización del lazo de abonado han cambiado radicalmente el marco de aplicación del PLC.

Bajo este enfoque de comunicación emergente, se ha observado que el laboratorio de electricidad de la FETD, puede utilizar esta tecnología sin necesidad de invertir dinero en instalar cableado estructurado para conectar varias computadoras en red, se evalúa que las dimensiones físicas del laboratorio es reducido, y es complejo instalar computadoras en dicho laboratorio, esta propuesta de diseño LAN bajo tecnología PLC.

Beneficiará a los estudiantes de la carrera de ingeniería Eléctrico-Mecánico de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD, ya que en la actualidad existen recursos tecnológicos de software que sirven para calcular, medir parámetros de voltaje, potencia entre otros parámetros más. Se pueden simular cargas en sistemas de control eléctrico, existen además herramientas en línea, de análisis de transitorios en arranques de motores, de cargas y corto circuito en redes radiales, etc.

Por ello se debe utilizar computadoras que estén en red, incluso, que se conecten a internet para mejorar el aprendizaje en dicha carrera.

En la ingeniería Eléctrico Mecánica, es necesario conocer y aplicar las ramas convergentes, es decir competencias y procedimientos informáticos, de telecomunicaciones etc. Cuando se combinan ramas y profesiones afines, se logra ser productivos en procesos domésticos e industriales.

1.2 ANTECEDENTES

En la actualidad uno de los grandes problemas para la utilización de tecnologías informáticas y ciertos servicios de telecomunicaciones, en edificios u aulas de la UCSG, es porque se debe hacer un estudio y diseño del cableado estructurado, se debe analizar de forma técnica el mejor camino o ruta para traer el cable de red.

La tecnología PLC, no tiene necesidad de implementar el cableado de red se utiliza las tomas de voltaje que existen en la red eléctrica de una edificación etc. Y por ese aspecto es fácil dotar de una red LAN bajo esta tecnología para que los estudiantes que utilizan este laboratorio potencialicen su aprendizaje utilizando recursos en la web.

Se necesitará instalar al menos ocho computadoras y se debe adquirir igual número de electro módems para derivar de la señal eléctrica la señal de internet, con ello es posible formar una red LAN-PLC.

Es fundamental contar con un diseño de red de área local LAN, que sea seguro, resistente y fácil de dar mantenimiento etc.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el punto de vista educativo no se utilizan recursos y herramientas online para mejorar el aprendizaje por parte de los estudiantes que utilizan el

laboratorio de electricidad de la FETD, este aspecto no beneficia el desempeño formativo de los estudiantes de la carrera.

Es dificultoso instalar computadoras y otros equipos en el laboratorio de electricidad de la FETD.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio y diseño de una red de área local bajo tecnología de comunicación por red eléctrica (PLC), para el laboratorio de electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el funcionamiento y las principales características de la tecnología PLC como transporte de datos e internet vía tendido eléctrico de baja tensión.
2. Analizar casos de estudio de tecnología PLC, con otras tecnologías para comunicar datos e internet en ambientes residenciales e industriales.
3. Diseñar una conexión LAN con equipos módems basado en tecnología PLC para el laboratorio de electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD.

1.6 JUSTIFICACIÓN

Es fundamental el manejo de tecnologías y programas simuladores en línea para mejorar los conocimientos de los estudiantes el diseño, cálculo de

parámetros de la carrera se puede optimizar con el aprendizaje y simulación en línea.

Es importante investigar sobre las tecnologías que pueden insertarse en el tendido de red eléctrica, así como por la línea telefónica se transmite datos o internet, también se podría ofrecer internet y otros servicios más por la red eléctrica.

1.7 HIPÓTESIS

Con la tecnología PLC se puede transmitir servicios de comunicación como internet, utilizando la red eléctrica de baja tensión. Una red LAN bajo tecnología PLC que se implemente a futuro cercano, en el laboratorio de electricidad de la FETD, permitirá reforzar el proceso de aprendizaje a los estudiantes de la carrera de ingeniería Eléctrico-Mecánica, pues se puede acceder a herramientas en línea, simuladores que ayudan al estudiante a comprobar la teoría de ciertas materias de la carrera antes mencionada.

1.8 METODOLOGÍA

Es descriptiva, también observacional pues se debe tomar observaciones del estado de la red eléctrica del laboratorio de electricidad de la FETD, se revisan planos o documentos de las instalaciones eléctricas, se aplica conocimientos empíricos para evaluar la conectividad entre dos computadores, utilizando dos tomacorrientes del laboratorio de electricidad.

CAPÍTULO II

CONCEPTUALIZACION DE REDES ELECTRICAS Y TECNOLOGIA PLC

Las redes eléctricas, se componen por las siguientes infraestructuras, las de generación, de transporte y de distribución, la figura 2.1 muestra las etapas antes mencionadas.

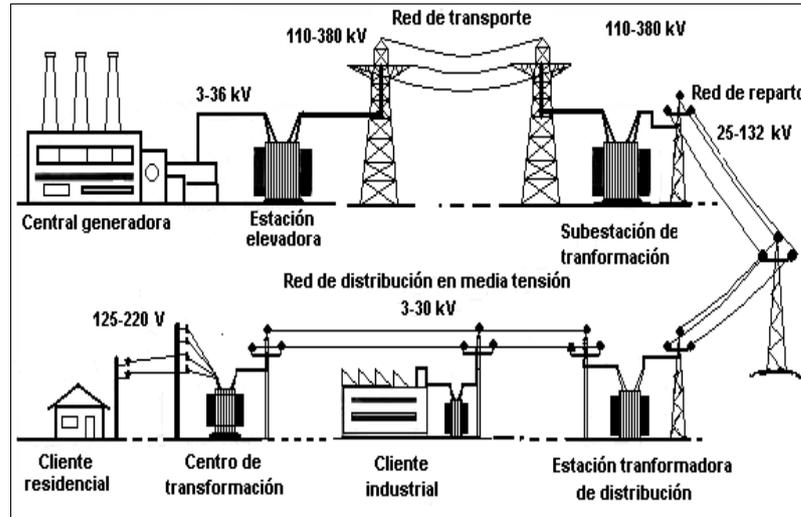


Figura 2.1 Esquema de una red eléctrica general

Fuente: biblioteca digital. (2008) Recuperado de

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_11.htm

Como ya se mencionó, este proceso se divide en tres básicas etapas: Generar, transmitir y distribuir. Asimismo, las redes eléctricas se subdividen en cinco etapas o tramos, definidos con respecto al voltaje que es aplicado.

Según (Sanz & Toledano, 2006) indican que, la central generadora eléctrica puede producir electricidad dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, éstas se clasifican en termoeléctricas (que utiliza como combustible el carbón, petróleo, gas), hidroeléctricas (aprovechando la caída de los ríos), eólicas, solares fotovoltaicas y nucleares.

Estudios eléctricos a nivel mundial, se conoce que la energía eléctrica generada en todo el mundo proviene de los dos primeros tipos de centrales mencionadas. En el Ecuador existen 74 centrales eléctricas, de las cuales 33 son centrales hidroeléctricas 18 son térmicas a vapor, 13 son centrales a turbo gas y 10 son a diesel.

Según la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, dispone de otras centrales particulares, basándose en contratos que permiten atender la disminución de generación por parte de las hidroeléctricas en la época de estiaje. El 60% de la energía generada es de origen hidroeléctrico y la restante de origen térmico.

Entonces desde la central eléctrica se tiene media tensión de voltaje esta luego pasa a ser alta tensión por medio de transformadores elevadores, para que en esta condición vaya a la red de transporte. La red de transporte es la parte del sistema constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía generada en las centrales eléctricas.

Como bien dicen los autores (Cicileo & Gagliano, 2009) en lo referente al transporte de energía, manifiestan que, para llevar a cabo la transmisión de energía, se deberá de elevarla a alta tensión por medio de transformadores elevadores de tensión, en una subestación de elevación pueden elevar la energía eléctrica dentro de un rango de 220 y 320 kilo Voltios (kV).

Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar el voltaje se reduce la intensidad de corriente eléctrica que circulará, reduciéndose las pérdidas por efecto Joule¹.

Las líneas de transporte pueden ser subterráneas (limitadas a las cercanías urbanas de ciudades) como aéreas, la utilización de cables desnudos en estas últimas hace necesaria la conexión de dichos cables a las estructuras metálicas que sostienen los tendidos, mediante uniones eléctricamente aisladas.

Las líneas aéreas de transporte están por tanto constituidas por conductores, aisladores, fusibles, elementos mecánicos de soporte y protección.

2.1 LA TECNOLOGÍA PLC Y LA RED ELÉCTRICA

La tecnología PLC o BPL (*Broad Power Line*) se relaciona con una red eléctrica de transporte, la casi *omni* presencial red eléctrica, son las encargadas de transportar la energía eléctrica desde una planta o central generadora de electricidad, produce y para transmitir dicha energía, utiliza redes eléctricas a alta, a media y a baja tensión.

En la figura 2.2, se muestra desde que etapa se puede inyectar señal de internet u otro servicio de telecomunicaciones, está señalizado como ámbito de PLC, es decir, desde la etapa desde una subdistribuidora eléctrica hasta el último kilómetro, o mejor dicho hasta el usuario o cliente.

¹ Si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo (Ros, 2011)

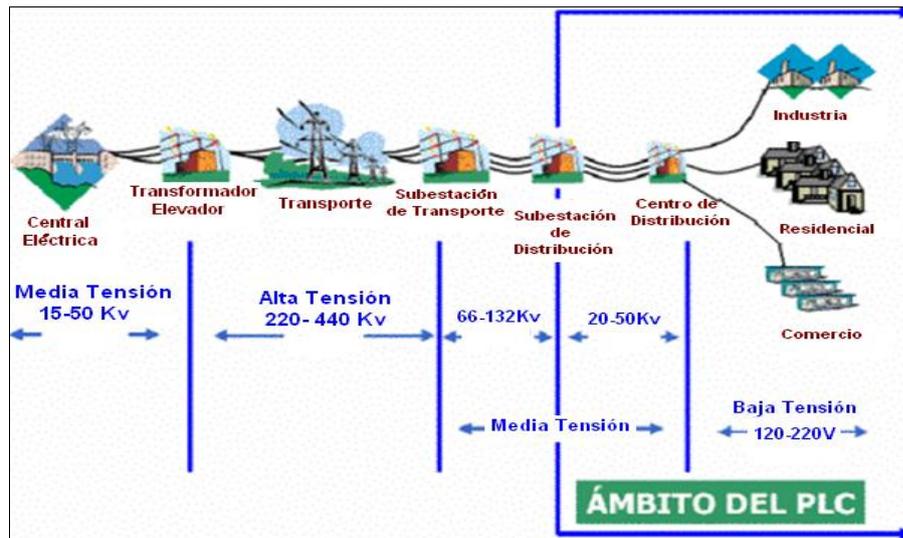


Figura 2.2 Etapas de la tecnología PLC

Fuente: Plancarte Sánchez, F. (2005) [Ámbito de la tecnología PLC]. Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/Canales4/ger/proyectoplac.htm>

El tramo de media tensión actúa como la red de distribución PLC, mientras que el tramo de baja tensión actúa como la red de acceso PLC. Según un artículo online del ing. Federico Plancarte Sánchez, en su tema: “Propuesta del proyecto tecnología OLC”, se definen las siguientes etapas:

- ✚ **Centro de transformación:** En los centros de transformación se realiza el cambio de corriente de alta a baja tensión y se instala un router y un módem que permiten transmitir voz y datos a través de la red eléctrica.
- ✚ **Red de baja tensión:** Son servicios de voz y datos, transmitidos a través de la red eléctrica de baja tensión hasta los cuartos de control.
- ✚ **Viviendas, industria, zonas rurales:** Es la última milla, se deberá conectar un módem PLC en el tomacorriente eléctrico, para acceder al servicio de internet.

2.2 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGIA PLC O BPL

Utiliza la infraestructura de línea eléctrica en una casa, oficina u otro edificio, tanto en interiores como al aire libre, para la creación de redes y la comunicación eliminando así los gastos y molestias de nuevos cables o redes basadas en la antena.

La línea de alimentación puede ser un medio de comunicación extremadamente difícil y ruidoso, caracterizado por varias formas impredecibles y fuertes de interferencia. Las soluciones patentadas por la empresa israelí Yitran, líder en este tipo de tecnología, superan los problemas de interferencia y fiabilidad que pueden ocurrir en la línea de energía y ofrecen bajo costo, robusto y un rendimiento superior.

Es una tecnología de bajo costo, pues PLC permite que las aplicaciones ubicuas para los mercados residenciales y comerciales. Además PLC abre un nuevo mundo de oportunidades de negocio para los fabricantes de electrodomésticos y aparatos eléctricos, servicios públicos y otros proveedores de servicios, sin necesidad de instalar nuevos cables o enchufes. Con PLC, cada toma de corriente eléctrica puede convertirse en un nodo de comunicación, o parte de una red PLC.

Las aplicaciones de PLC incluyen comando y control de redes, lo que permite el seguimiento y la gestión local y remota de dispositivos conectados a una única red.

Según los autores (Boria, Soto, San Blas, & Bachiller, 2012) comentan que, la señal utilizada para transmitir datos a través de la red eléctrica suele ser de 1 a 30 MHz., la cual difiere mucho de la frecuencia de la red eléctrica (50

Hz - 60 Hz, en Ecuador se utiliza la última) lo cual supone que la posibilidad de interferencias entre ambas señales sea prácticamente nula y es que los filtros que tiene los equipos que componen una red bajo PLC o BPL, son los encargados de reconocer una señal de dato dentro de una red que lleva energía eléctrica, es decir por donde se obtiene 110 voltios de corriente alterna es posible recibir señal como la de internet.

La tecnología PLC utiliza portadoras dependiendo en qué aplicación en particular será utilizada. En la siguiente figura 2.3, se muestra el rango de frecuencias que utiliza PLC o BPL en las redes eléctricas.

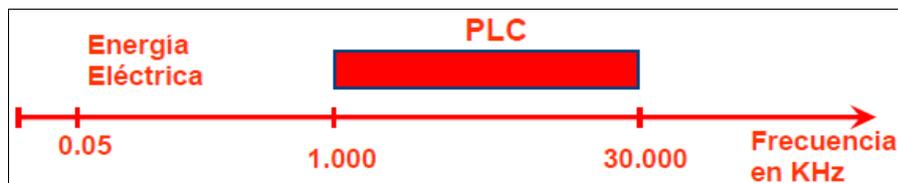


Figura 2.3 Rango de frecuencias de PLC en redes eléctricas

Fuente: Elaboración Roberth Vite, 2013

2.2.1 TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN TECNOLOGÍA PLC

Según Enríquez (2005) indica que, la técnica de modulación utilizada hoy en día por la tecnología PLC es OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales). Pues antes cuando se desarrollaba este proyecto de llevar datos y otras señales vía tendido eléctrico se utilizaba técnicas de modulación digital como:

- GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*): La modulación por desplazamiento mínimo Gaussiano, usado con una única portadora es capaz de proveer una tasa de datos de hasta 1 Mbps. Los autores (Alvarez, Garcia, Gonzalez, González, Rodriguez, & Gutierrez) señalan que, sirve para transmisión de información, es una técnica que consigue

suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal (por medio de filtro gaussiano²), consiguiendo por lo tanto reducir los requerimientos de ancho de banda.

- **DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)**: La modulación de secuencia directa por espectro ensanchado, es usado con una única portadora es capaz de proveer una tasa de datos de hasta 1 Mbps, aquí la información es transmitida en una secuencia de tren de bits.
- **OFDM**: Es la técnica de modulación digital, preferida frente a otras debido a su robustez frente a interferencias provenientes de fuentes externas que puedan dañar la señal que se desee transmitir. En otras palabras esta técnica de modulación es de gran adaptabilidad a ambientes ruidosos y gran eficiencia en el uso del espectro de frecuencias con la utilización de múltiples portadoras es capaz de entregar hasta normalmente una tasa de datos de 45 Mbps (24 Mbps de bajada y 17 Mbps de subida). Algunos desarrolladores de hardware han llegado a velocidades de 200 Mbps con esta tecnología.

En entornos urbanos, existen muchas fuentes externas que pueden ocasionar interferencia en la comunicación, estas son por lo general, los artefactos electrodomésticos, motores eléctricos, o cualquier otro dispositivo que se encuentre utilizando la misma red eléctrica de la que se está

²Circuito que protege la información transmitida de las perturbaciones externas a la línea de comunicación. Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema06.pdf>

utilizando para transportar las señales de alta frecuencia (voz, video o datos).

2.2.2 LA MODULACIÓN OFDM EN TECNOLOGIA PLC

La modulación OFDM es similar a FDM (*Frequency Division Multiplexing*, Multiplexación por división de Frecuencia), esta técnica permite transmitir grandes cantidades de datos digitales sobre una onda de radio. Divide la señal de radio en sub-señales que son transmitidas simultáneamente hacia el receptor en diferentes frecuencias. Reduce la diafonía (efecto de cruce de líneas) durante la transmisión de la señal, es utilizado en otros medios como DSL, WiFi (802.11), Wimax (802.16), sistemas *broadcast* (DVB, DAB).

Por esta cualidad, OFDM es la modulación escogida para la televisión digital, para la telefonía celular de 3.5 generación, pues posee una robustez a interferencias multitrayecto, ver figura 2.4 la señal con subportadoras.

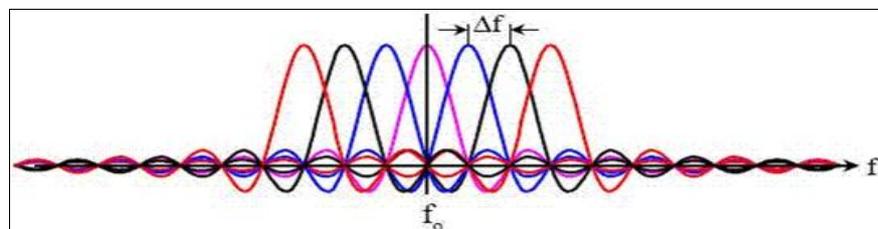


Figura 2.4 Modelo de 6 sub portadoras bajo OFDM

Fuente: <http://www.ualberta.ca/~mahmoodi/thesis.html>

Según los autores (Junestrand, Passaret, & Vásquez, 2005) comentan que, ésta técnica de modulación utiliza 256 portadoras, de las cuales 192 subportadoras de datos, 8 subportadoras pilotos y 56 nulas, se adiciona una banda de guarda para prevenir el ISI (interferencia inter-símbolo), o multitrayecto, es decir señal con retrasos.

Se producen las reflexiones, al recorrer una mayor distancia hasta llegar a la antena del receptor, y no es una sino varias señales que se retrasan, por lo tanto, se origina lo que se conoce como, multitrayecto.

El espaciamiento entre portadoras confiere "ortogonalidad" para evitar que las frecuencias se traslapen esto lo hace inmune a interferencia cocanal entre los espectros de una canal.

Con OFDM, cada fuente se convierte a una banda de frecuencia diferente; es decir, utilizando portadoras de diferente frecuencia que se transmiten simultáneamente por un solo medio de transmisión. OFDM distribuye los datos sobre un número grande de portadoras que están espaciadas en frecuencias determinadas.

Los autores (Pastor, Capmany, & Ramos, 2007) comentan que, éste espacio proporciona la ortogonalidad que impide al demodulador ver frecuencias que no sean las propias. Así todos los canales de banda angosta se pueden transmitir en un sistema de transmisión de banda ancha, lo cual se logra asignando a cada canal una portadora diferente, véase la figura 2.5.

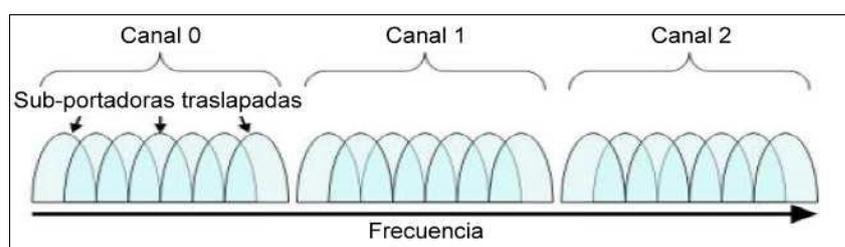


Figura 2.5 Las Sub-portadoras en OFDM

Fuente: Tomada de Revistas Bolivianas, disponible en www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892007000200009&Ing=en&nrm=iso

Con comunicaciones de gran ancho de banda, los canales para la transmisión son susceptibles por razones de propagación de la señal, por lo

que al dividir el ancho de banda total en canales paralelos más angostos y cada uno en diferente frecuencia se reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en la sub-portadora.

Si además, estas subportadoras poseen un espaciamiento que les proporciona "ortogonalidad" en frecuencia, se tendrá dos portadoras en la misma frecuencia sin que éstas se traslapen o interfieran entre ellas, con ello se reduce el ancho de banda total requerido en el canal, logrando mayor eficiencia espectral y una menor distorsión.

El número de portadoras y la distribución en el espectro de frecuencia depende de cada diseñador tecnológico, son empresas propietarias de equipos PLC como se muestra en la Tabla 2.1.

Sistema o Estándar	Número de portadoras	Frecuencia Mhz	V _{TX} (Mbps)
HOMEPLUG	84	4.5-21	Máxima =14 Efectiva =6-7
DS2	1280→768 ascendente 512 descendente Con 0,2,4,6 u 8 bits de información por portadora	Hasta 30	45 y 200

Tabla 2.1 Número de portadoras para el sistema PLC

Fuente:<http://www.ea1uro.com/eb1dgh/Digitales/Modulaci%F3n/Modulacion.html>

Es una Modulación que resulta eficiente para trabajar en un medio como la red eléctrica, ya que el rango espectral queda dividido en ranuras (slots), cuyo ajuste permite que los equipos se adapten dinámicamente a las condiciones del medio, potenciando aquellas frecuencias donde el ruido es menor y anulando el uso de frecuencias donde el ruido es elevado.

Los autores (López, Fernández, & Durán, 2005) indican que, OFDM es capaz de transmitir múltiples señales simultáneamente sobre un solo medio de transmisión, como un cable o el aire, cada señal viaja con su propio y único rango de frecuencia (señal portadora), el cual es modulado en un receptor OFDM para separar la información recibida (texto, voz, vídeo).

Los dispositivos módems PLC/BPL con tecnología de modulación OFDM utilizan técnicas de control adaptativo para detectar la presencia de interferencias localizadas en las bandas que se está transmitiendo, con lo que en todo momento puede decidir qué portadoras no transmitir y cuales debe potenciar, se trata de que siempre exista un número mínimo de portadoras funcionando al mismo tiempo con o que el receptor tiene diversas fuentes que teóricamente deberían proporcionarle el mismo valor binario. Una vez muestreadas, se trata de decidir cuál es el valor más probable de ese conjunto lo cual reduce bastante la tasa de error.

2.2.3 VENTAJAS DE MODULACIÓN OFDM

La modulación OFDM brinda múltiples ventajas y es la que ofrece mayor robustez frente a las características de ruido del medio eléctrico que emplea PLC, entre los beneficios que proporciona se mencionan:

- Minimización de los efectos de interferencias dentro de banda estrecha.
- Flexible y adaptable (las subportadoras de banda estrecha pueden ser moduladas usando varios formatos de modulación, con posibles anchos de banda y tasa de datos adaptables de acuerdo al número de bits presente en cada portadora).

- Excelente rendimiento de ISI, no requiere complejos canales de ecualización.
- Adapta el canal a las condiciones de transmisión, a través del monitoreo continuo, mediante las configuraciones del canal para obtener buena velocidad y fiabilidad.
- El alto número de portadoras permite una sincronización robusta y sencilla.
- Tiene un mejor comportamiento frente al ruido sea selectivo o impulsivo.
- Todos los rangos del espectro que están disponibles son muy usados y no existe interferencia, excepto para el ruido de conexión a tierra, aunque generalmente no afecta debido a que suele ser muy débil, comparado a la potencia de transmisión.
- La modulación OFDM es muy robusta frente al multi-trayecto (*multipath*), que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia y frente a las interferencias de RF (radio frecuencia). Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con distintos retardos y amplitudes (*fading*) que llegan al receptor.
- Este tipo de modulación es la ideal para PLC/BPL ya que se adapta a las condiciones de las redes eléctricas: Medio cambiante con el tiempo, con aplicaciones eléctricas *plugged/unplugged*³. El espaciamiento entre portadoras confiere "ortogonalidad" para evitar que las frecuencias se

³ Términos que se refieren a conectado/desconectado

traslapen. Los sub-canales están solapados, así se consigue un eficiente uso del espectro ahorrando ancho de banda.

- En condiciones donde el nivel de ruido es bajo, la señal transmite con mayor eficiencia y se envían paquetes con mayor cantidad de bits (máximo 8 bits por portadora por cada uno de los envíos).
- Conforme aumenta la distancia de transmisión se atenúan más las señales entonces la calidad del canal baja y se empieza a reducir la cantidad de bits que se transmiten en cada uno de los tonos portadores. Esto mejora la transmisión, ya que se puede utilizar otros sub-canales y cuando existe este tipo de redundancia en transmisión de señales, es bueno ya que si se pierde la información de un sub-canal, nos quedan otros sub-canales que tienen la misma información, entonces no se pierde la información cuando la Relación Señal Ruido SNR (*Signal Noise Relation*) requiera e incluso se podría adaptar la potencia de transmisión de cada sub-canal.
- Las tasas de datos por subportadoras se adaptan dependiendo del SNR detectado. Esta característica da una excepcional adaptabilidad a las condiciones del canal.

2.3 CAPAS DEL MODELO OSI EN QUE OPERA PLC

Según el artículo en línea (Gamboa , Quiguiri , & Narvaez , 2012) Comunicaciones por líneas eléctricas, se cita que, la descripción de la operación de los sistemas de telecomunicaciones modernos, generalmente se utiliza el modelo de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*)

promovido por la ISO para definir la forma en que se comunican los sistemas abiertos de telecomunicaciones, es decir, los sistemas que se comunican con otros sistemas.

El modelo de referencia consiste en 7 capas, estas capas se visualizan generalmente como bloques acumulados, por lo que también se le conoce como el "*OSI Protocol Stack*".

Según los autores (Morales y Gómez, 2007) dicen que, PLC trabaja principalmente en la capas 1 y 2, es decir en la capa física y en la capa de enlace de datos. Algunos fabricantes importantes como la empresa española; DS2 ubicada en Valencia, diseña y fabrica chips PLC que alcanzan mayores velocidades de transmisión (hasta 200 Mbps) y además que cuenta con tecnología PLC para transmitir información de datos en redes de media tensión, DS2 crea chips-PLC basada en el modelo OSI.

2.3.1 CAPA FÍSICA DE PLC

La Capa física del modelo de referencia OSI es la que se encarga de las conexiones físicas, es decir, el nivel básico que se compone generalmente por el cableado. La tecnología PLC cuenta con la ventaja de utilizar infraestructura física ya instalada; los cables eléctricos, como su capa física se genera un ahorro en obras de instalación de cableado.

Sin embargo, se tiene la limitante de que este medio no fue concebido para soporte de telecomunicaciones, por lo que se hace necesario el uso de equipos con altas velocidades de trabajo y eficiencia espectral para lograr transmisiones confiables.

Se debe considerar una capa física robusta debido a que esta especifica la modulación, la codificación y el formato de los paquetes. La capa física es la encargada de definir las especificaciones eléctricas, mecánicas y funcionales para activar y mantener un enlace físico entre varios elementos. A este nivel, cualquier nodo debe ser capaz de enviar bits a otro nodo conectado a la red eléctrica.

La capa física de PLC utiliza OFDM como técnica de modulación para contrarrestar esta desventaja del canal de comunicaciones, además entrega una velocidad de 14 Mbps donde 8 Mbps corresponden a la capa MAC (*Media Access Control*, Control Acceso al Medio) y 6 Mbps se refieren a TCP (*Transmission Control Protocol*, Protocolo para el control de la transmisión).

2.3.2 CAPA DE ENLACE DE DATOS-PLC

PLC se gobierna mayoritariamente por protocolos de capa 2, en esta capa, se realiza la organización de los datos en paquetes lógicos que serán convertidos en señales binarias para inyectarlas al medio físico y viceversa. Además, se establecen comunicaciones, identificando cada uno de los nodos de la red con una dirección MAC. Al ser 100% compatible con el estándar OSI, PLC puede compartir conexiones con usuarios de Ethernet y otros estándares compatibles.

- No hay límite de distancia entre dos nodos, esto es importante ya que en cables de red la señal sufre atenuaciones, por lo menos con el cable de acero y cobre este aspecto supera las distancias entre nodos.

- Dos nodos pueden transmitir simultáneamente, es decir la comunicación es bidireccional.

Para diseñar una subcapa MAC, el PLC, considera dos características: la frecuencia variable y las reflexiones producidas. Los protocolos PLC-MAC, se dividen en dos tipos:

a) Protocolos con arbitraje: Un controlador central coordina los equipos conectados o usuarios, determinando cual puede enviar información en cierto momento. Se requiere acceso a todos los equipos conectados. Se utiliza el protocolo TDMA (*Time Division Multiple Access*, Multiplexación por división de tiempo).

b) Protocolo sin arbitraje: No hay controlador central, todos los nodos disminuyen las colisiones. Se utiliza el protocolo CSMA. Protocolos híbridos: protocolo intermedio entre las dos clases anteriores.

En conclusión el equipo PLC puede acceder a dos medios diferentes (Ethernet y PLC) realizando sus enlaces lógicos y de enrutamiento IP.

El control o acceso al medio del equipo se puede llevar a cabo utilizando SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*, Protocolo Simple de Transferencia de Correo) o el protocolo de control 802.1. La figura 2.6. Muestra la pila de protocolos que se utiliza en PLC.

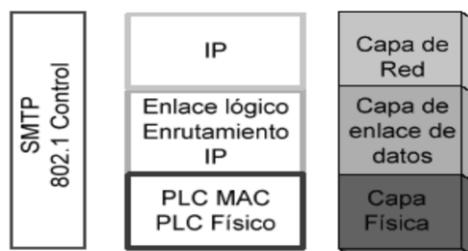


Figura 2.6 Pila de protocolos de la tecnología PLC.

Fuente: <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>

Para garantizar una comunicación fiable sobre las líneas eléctricas, es preciso asumir en técnicas de control, se coincide con la autora (Ramos, 2011) que indica, que la corrección de errores y fragmentación de los paquetes grandes en tramas. La MAC indica el modo de transmitir las tramas por el medio, en la figura 2.7, se muestra que fragmento de protocolo se utiliza en cada capa del modelo OSI.

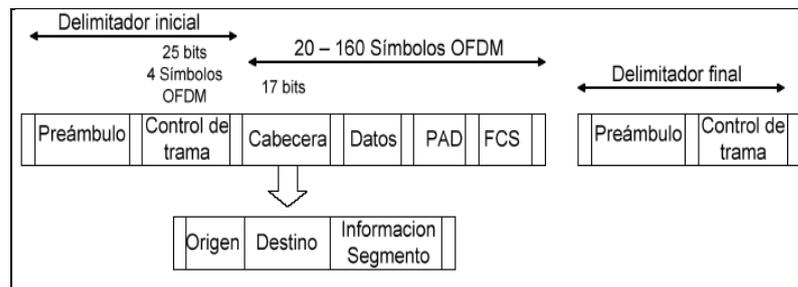


Figura 2.7 Trama en PLC.

Fuente: <http://www.ekoplac.net/noticias/programa-fomento/ambitos-aplicacion.htm>

Según los autores (Sanz & Toledano, 2006) señalan que, la trama utilizada para la transmisión de datos a través de PLC, consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final de la trama. La delimitadora marca el inicio o fin de la información de temporización. El delimitador de inicio especifica el tiempo de duración de la carga útil y se utiliza en la trama larga.

Los primeros 17 bits de la carga útil de la trama contiene la dirección de destino, origen e información de segmentación.

El delimitador final indica el final de la trama y el momento esperado para el final de la transmisión, por lo tanto se conoce el tiempo que va a estar ocupado ese canal para la transmisión.

La segmentación y el re-ensamblado permiten trabajar con tramas más cortas, lo que asegura, que el tráfico de alta prioridad no sufra grandes

retardos. El control de errores indica cómo proceder cuando se pierde información o ésta sufre algún daño.

2.4 ARQUITECTURA DE LA RED PLC

Lo que es PLC Access, es la tecnología que intentan implementar las empresas eléctricas. Mientras que la tecnología PLC interno (*in-house*), utiliza el cableado eléctrico de baja tensión de cualquier edificio y lo transforma en una red de datos normal y corriente.

En general la tecnología PLC, utiliza la red de distribución de Media y Baja tensión (MT y BT) como medio de transmisión, accediendo así al bucle o lazo local del abonado (hogares o empresas) ver figura 2.8.

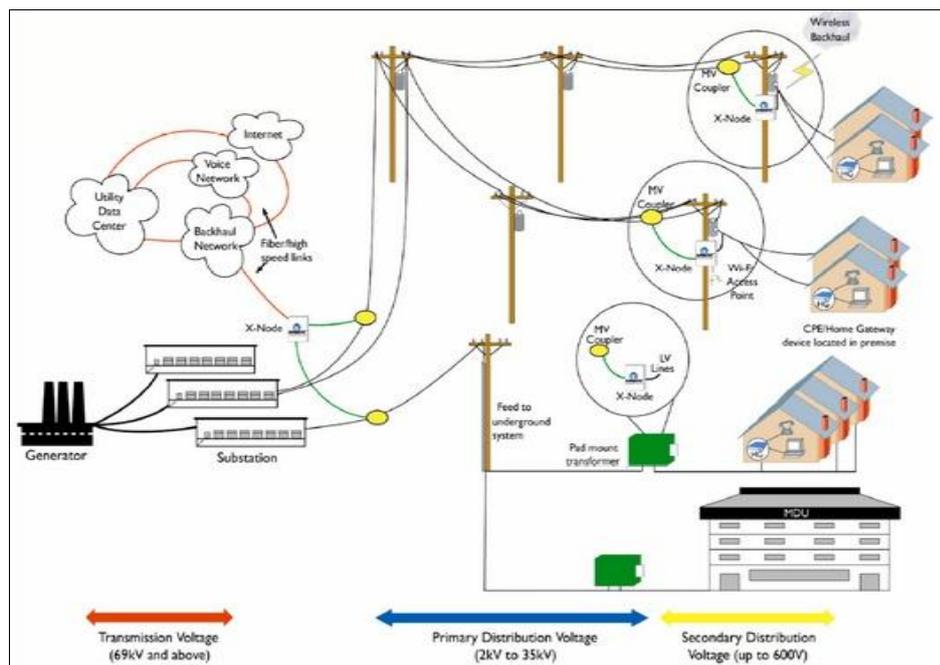


Figura 2.8 Arquitectura de una red PLC.

Fuente:

https://docs.google.com/document/d/1UuJFttqdPrE8UQpAMfEYMVRb3OxtSgTy4SL_vXBCyCs/edit?hl=en

Como se aprecia en la figura 2.8, es a partir de la sub distribuidora o sub estación eléctrica donde se puede inyectar señal de internet, desde esta etapa existe la baja tensión. Una empresa proveedora de internet debe asociarse con la subdistribuidora, e implementar suficientes nodos para proporcionar conectividad entre la red de retorno de conexión y el segmento de media tensión. El inconveniente que tienen las empresas eléctricas reside precisamente allí, la red de media tensión complica el uso del PLC, debido a los altos niveles de interferencias que se forman en la media tensión, mientras ese inconveniente es inexistente en la red baja tensión.

La alta velocidad de datos viaja a través de la MT. A continuación los acoplamientos inductivos para la inyección de internet, convierte el IP de tráfico de datos en una señal de radio frecuencia RF, en el cable. Entonces la señal es inyectada en los cables de MT o BT, por inducción utilizando núcleos de ferrita, por ello el nombre de acoplamiento inductivo y puede ser realizado sin la conmutación de potencia, ver figura 2.9.

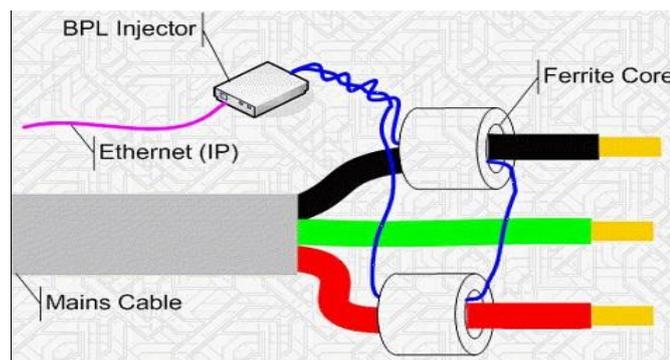


Figura 2.9 Técnica de inyección internet a PLC-acoplamiento inductivo

Fuente: <http://novastars.com/BPL/>

Una técnica de inyección alternativa, conocida como "acoplamiento conductor" se conecta el cable de señal directamente a los cables de

electricidad, sino que requiere el poder de ser desconectada durante la conexión por razones de seguridad. El usuario final simplemente se conecta un módem BPL a cualquier toma de corriente en el edificio para el acceso a la señal de RF PLC. El módem PLC convierte la señal de RF en sus datos IP. El usuario final se conecta el módem PLC en un ordenador, servidor, conmutador o punto de acceso inalámbrico.

La red de acceso PLC, está constituido por una combinación de fuentes de línea de transmisión, y de allí se distinguen los siguientes componentes:

- Por un nodo (equipo) denominado **cabecera PLC** (primer elemento de la red PLC, emite señales de baja potencia (50 mili vatios) y que además permite conectar la red a un backbone de telecomunicaciones.

Es decir este equipo es conectado directamente a los equipos de la red del proveedor de datos, ver figura 2.10.

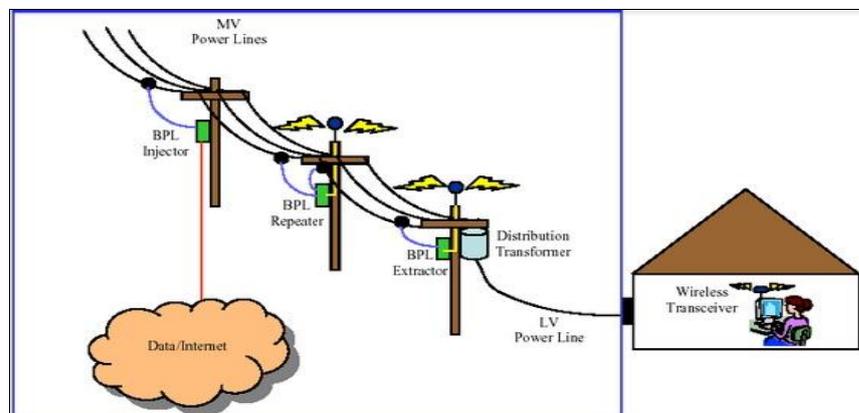


Figura 2.10 Los repetidores en la red de acceso PLC

Fuente:

https://docs.google.com/document/d/1UuJFttqdPrE8UQpAMfEYMVRb3OxtSgTy4SL_vXBCyCs/edit?hl=en

Luego están los repetidores, la señal que llega a los domicilios, ha de ser amplificada mediante repetidores, los cuales suelen ubicarse en el trayecto

del tendido eléctrico, también en los tableros de distribución de los edificios, viviendas etc.

Este equipo sirve para generar la señal que llegue a toda la red de baja tensión. Este equipo, normalmente se instala en los puntos donde es necesario reforzar la señal, pudiendo atender hasta 250 módems aproximadamente.

El repetidor reconoce la señal proveniente del equipo cabecera del sistema externo (*outdoor*) (Red de transporte BT) y envía la señal en el tramo *indoor*, es aquí donde cada punto de tomacorriente pasaría a convertirse en un punto de datos, por dar un ejemplo, debido a la distancia los datos se atenúan, por lo tanto es importante utilizar en las redes PLC-externo repetidores de señal para asegurar la calidad al usuario final, llamado también última milla.

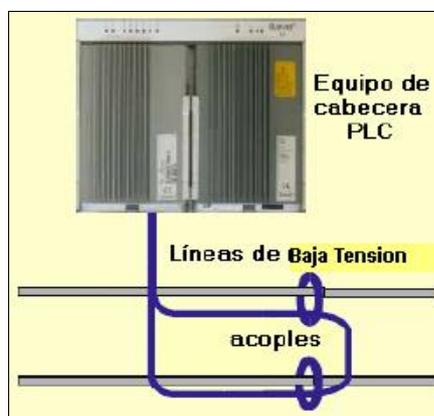


Figura 2.11 Esquema de conexión de Cabecera PLC

Fuente: <http://www.geocities.ws/gilbert.prado/fase2/t.html>

El otro segmento es el subsistema interno, denominado PLC *in house* o de última milla, en esta se utilizará equipos como modem PLC's, o los llamados electro-módems, ver la figura 2.12.

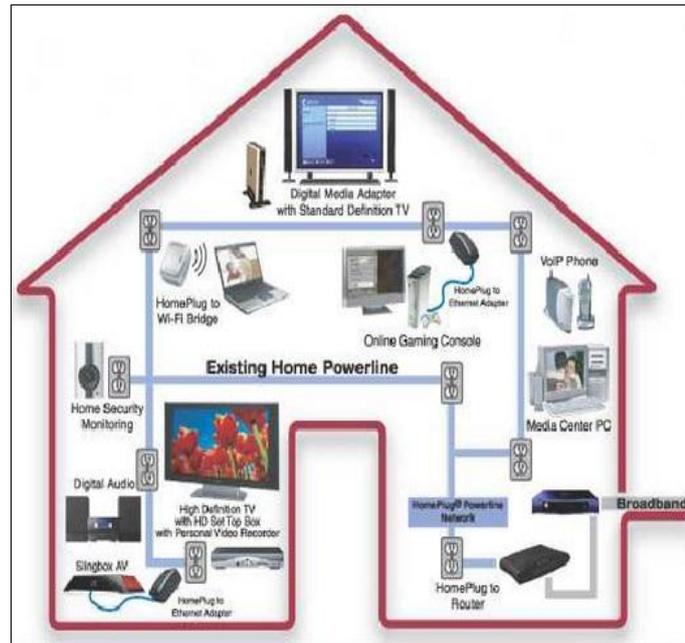


Figura 2.12 PLC in house

Fuente:

https://docs.google.com/document/d/1UuJFttqdPrE8UQpAMfEYMVRb3OxtSgTy4SL_vXBCyCs/edit?hl=en

(Berterreix & Bonet, 2006) Señalan además, que estos módems eléctricos, convierten las altas frecuencias que están dentro del cable eléctrico, en señales de internet o datos (interno o dentro del hogar o edificio), y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes o enchufes ubicados al interior de los hogares y/o edificios.

Según diferentes autores, esta “unión” o comunicación entre el primer y segundo sistema se lo llama la red de acceso o última milla.

Hoy en día estos dispositivos cuentan con filtros para suprimir ruidos e incluso pueden comunicar de forma inalámbrica a dispositivos portátiles, ver figura 2.13.



Figura 2.13 Electromoden marca Netgear de 200 Mbps.

Fuente: Roberth Vite 2013

Algunos países, entre ellos España, están siendo escenario de proyectos pilotos y despliegues comerciales limitados de este modelo de solución PLC. Puesto que las señales de datos PLC no soportan una transformación de tensión, los centros de transformación deben contar con dispositivos HE (*Head End*, dispositivo: cabecera PLC).

La propuesta de este proyecto será recomendada esta tecnología para proveer de conexión de internet al laboratorio de electricidad de la FETD, para ello se debe adquirir por cada tomacorriente un electromoden (recomendable).

La figura 2.14 muestra un esquema de conexión, antes de llegar la señal al medidor del hogar este ha sido amplificado por un repetidor externo colocado en algún poste de alumbrado eléctrico.

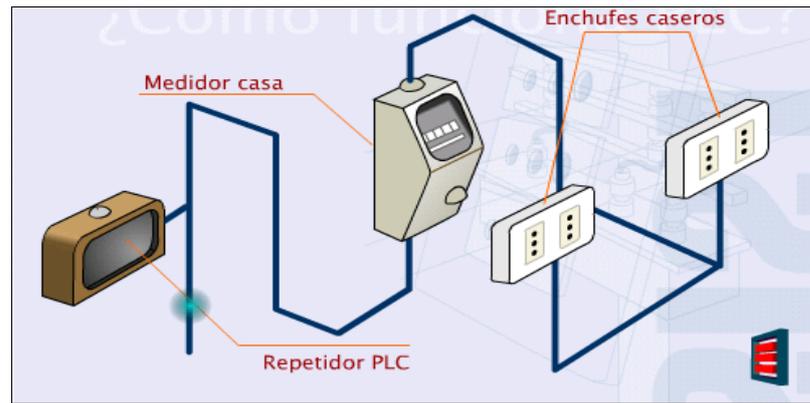


Figura 2.14 Esquema de conexión PLC in house

Fuente: <http://www2.udec.cl/~fcisternas/DreamHC/PLC/page8.html>

Según el autor (de la Vega, 2002) señala que, el electromodem o dispositivo CPE (*Customer Premises Equipment*, dispositivo de usuario) es un equipo que cada vez que se conecta a un tomacorriente eléctrico obtiene una dirección IP desde su proveedor de internet PLC (ubicado en una sub-estación eléctrica), en España estos equipos trabajan a una velocidad de 45 Mbps probados y ya se han hecho pruebas con 100 Mbps, no así con 200 Mbps ya que esta proclive a interferencias o ruidos que se inducen en el cable eléctrico.

Tanto el HE como el CPE poseen una serie de elementos encargados de filtrar y separar la corriente alterna eléctrica (60 Hz de frecuencia) de las señales de alta frecuencia, que son las que soportan los servicios de video, datos, voz, etc.

Cada tomacorriente de una vivienda es potencialmente un punto de acceso a internet con el equipo adecuado, pero así también hay que poner en claro que es una tecnología donde los usuarios comparten ancho de banda disponible y que, como es lógico vendrá condicionada por el número de

clientes dados de alta en el servicio y que por supuestos estén usando en ese instante el acceso PLC

En función de la solución PLC empleada, así como de la calidad y nivel de ruido de la instalación eléctrica de baja tensión, la distancia entre equipos oscila entre los 150 metros y los 400 metros sin necesidad de dispositivos repetidores. Para los casos en los que el tendido eléctrico supera esas distancias se utilizan los repetidores extendiendo así el alcance de la red.

2.4.1 TOPOLOGÍA FÍSICA DE LA RED PLC

Según (Gamboa , Quiguiri , & Narvaez , 2012) en su artículo referente a la arquitectura de PLC, señalan que, la topología de la red eléctrica es tipo árbol y una red PLC, también se estructura de esa forma, sea que los equipos PLC, se ubiquen en lugares centrales, en las cercanías del usuario PLC o en cualquier lugar de la red, la consideración que se debe tomar en cuenta es la distancia entre los equipos centrales y los equipos de usuario, para evitar la instalación de elementos extras que incrementan los costos de la red.

Entonces la parte física, empieza con un nodo de cabecera conectado directamente al *backbone*, de fibra óptica de esta forma se puede centralizar el acceso a internet, telefonía, datos etc. En la topología árbol la que es recomendada, debe instalarse repetidores en la línea de baja tensión

Un nodo de enlace troncal, denominado Unidad de Acondicionamiento (UA), desde él se ramifican los demás nodos, que serían las Unidades de Usuario

si la distancia es corta, o Unidades Repetidoras a distancias mayores de 300 m para la red de MT y 150 m para la red de BT.

La comunicación entre los UA y las UU o las UR se establece mediante una configuración full-duplex punto a multipunto.

2.4.2. TOPOLOGÍA LÓGICA DE LA RED PLC

La topología lógica se refiere a como la información viaja por los medios del cableado eléctrico. Y existen, dos tipos de transmisiones:

- ❖ La información que viaja de la estación maestra a los usuarios
- ❖ La información que viaja de los usuarios a la estación maestra.

La información que va de la estación maestra es detectada por todos los nodos aunque solamente es aceptada por el nodo o los nodos hacia los que va dirigido, si un nodo está averiado sencillamente, deja de comunicarse; y esto no interrumpe la operación.

2.5 APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA PLC

Existen 4 tipos de aplicaciones principales:

2.5.1. APLICACIONES EXTERNAS.

Son comunicaciones en el tramo existente entre la subestación eléctrica y las redes domésticas (estándar ETSI). Para un buen desempeño se usan condensadores de acoplamiento especiales para conectar transmisores de radio de baja frecuencia a los conductores de corriente alterna.

Entonces hay que verificar y cumplir la norma ETSI que la subestación eléctrica y las redes domésticas para un buen desempeño deben instalar condensadores de acoplamiento capacitivos a los conductores de corriente

alterna (fases del cable o acoplamiento inductivos a la malla de protección de éste), para inyectar la señal de internet en los cables y aislar la media tensión típica de 15 o 20 kV.

2.5.2. APLICACIONES INTERNAS.

Son aquellas que utilizan el cableado eléctrico de la casa como un medio de transmisión, esta técnica es usada en la automatización de seguridad, iluminación, climatización, entretenimiento en casas (Domótica) como: el manejo de la iluminación y de aparatos sin necesidad de ninguna instalación de control adicional., cuando se desea implementar la domótica en la vivienda bien puede utilizar las señales de control a través del cable eléctrico.

Para ello se debe utilizar equipos domóticos bajo tecnología PLC. Las aplicaciones de domótica en vivienda o edificios deberán funcionar sin ningún problema pues la topología y funcionamiento es normalizado por OSI, se nombran algunas aplicaciones:

- ❖ Internet banda ancha.
- ❖ TV digital interactiva.
- ❖ Domótica.
- ❖ tele seguridad

2.5.3. APLICACIONES EN BANDA ANGOSTA

PLC de Banda angosta no necesita la instalación de redes de comunicaciones adicionales. Ejemplos de usos para esta banda es la teledetección de hecho muchas empresa que transmite la energía eléctrica a

las distribuidoras de energía eléctrica utilizan el sistema, en él puede monitorear el estado de la red que a su vez puede llevar cables de fibra óptica para dar el servicio de alquiler de *backbone* a empresas comercializadoras de internet, de telefonía, de televisión entre otros más servicios.

Es entonces que la banda angosta tiene una aplicación para vigilar y supervisar la red de tendido eléctrico en alta y media tensión. Las subestaciones también pueden utilizar PLC en banda angosta el sistema de tele medición, con ello se puede medir el consumo eléctrico de los usuarios. Una aplicación es la medición por telemetría en ciertos sectores para obtener el consumo del usuario y en una vivienda la puesta en marcha de climatización, iluminación, entretenimiento y otra comunicación interna de equipos electrónicos dentro del hogar.

2.5.4. APLICACIONES EN BANDA ANCHA

Los sistemas PLC de Banda ancha proporcionan tasas de transmisión significativamente altas (más de 2 Mbps) que los sistemas PLC de banda angosta. En Europa con los proyectos realizados es posible comunicarse a una velocidad de 100 Mbps.

Se espera dar confiabilidad en la velocidad de 200 Mbps, que es el mínimo ancho de banda para ser denominada como de banda ancha, hoy en día los fabricantes obtiene resultados favorables con el uso de equipos auxiliares como filtros y acopladores, la idea es que muy pronto PLC sea normalizado y/o estandarizado para que exista compatibilidad entre fabricantes de equipos por el momento las empresas son de hardware propietario.

Una limitación del PLC de banda angosta, es su reducido número de canales para la transmisión, por el contrario, en el PLC de banda ancha se dispone de un mayor número de canales con lo cual se podría ofrecer más servicios de telecomunicación.

2.6 INFRAESTRUCTURA DE SISTEMAS PLC'S

Se describen sus principales componentes;

1. El PLC de acceso que debe asegurar la conexión con el último tramo que en telecomunicaciones se conoce como "última milla". Comprende la red eléctrica que va, desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el medidor de la energía eléctrica. Es decir la conexión final en casa del usuario y está formado por tres componentes.
 - a) Equipo cabecera o (*Head End* – HE) también unidad de acondicionamiento UA
 - b) Equipo repetidor (*Home Gateway* – HG) o unidad repetidora UR.
 - c) Módem terminal o módem cliente (CPE) y unidad de usuario UU.
2. El segmento interno o *indoor*, es el que esta después del medidor de consumo eléctrico y donde cada tomacorriente es un punto de acceso de señal de internet provisto desde un proveedor ubicado en una subestación eléctrica.

2.6.1 UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO (UA) O UNIDAD HE (HEAD END)

Dentro del esquema externo el equipo de cabecera es uno o varios equipos que permiten la conectividad a la red o *backbone* de telecomunicaciones

(WAN, internet, etc.) o al proveedor de servicios de internet (ISP), da el interfaz de los protocolos TCP/IP a los computadores.

Además permite conectar el sistema de la red a un backbone de telecomunicaciones (WAN, Internet, etc.) o al proveedor de servicios de Internet (ISP), por lo que es el interfaz entre la red de datos y la red eléctrica.

Las UA-PLC se ubican en cada subestación de distribución eléctrica, cerca al transformador de media a baja tensión. Esto depende realmente del modelo del sistema PLC que se implemente. Una UA puede llegar a contener unas doce unidades transmisoras con una estructura típica de armario o rack, integradas en un mismo módulo.

Según (Huidrobo Moya, 2007) indica que, cada una puede comunicar un canal y ofrecer servicio a aproximadamente 50 usuarios normalmente. Los datos ingresan a estas estaciones y son incorporados a la señal eléctrica. Existen Unidades de Acondicionamiento de MT que transmiten las señales a una distancia de 1500 m y las UA de BT tienen un alcance de 150 m.

La figura 2.15, muestra una Unidad de Acondicionamiento, que debe instalarse en una sub estación eléctrica, desde un proveedor de internet, estará conectado por fibra óptica o radioenlace, y dicho equipo estará en condiciones de inyectar señal de internet (equipo UA) al tendido de red eléctrica.

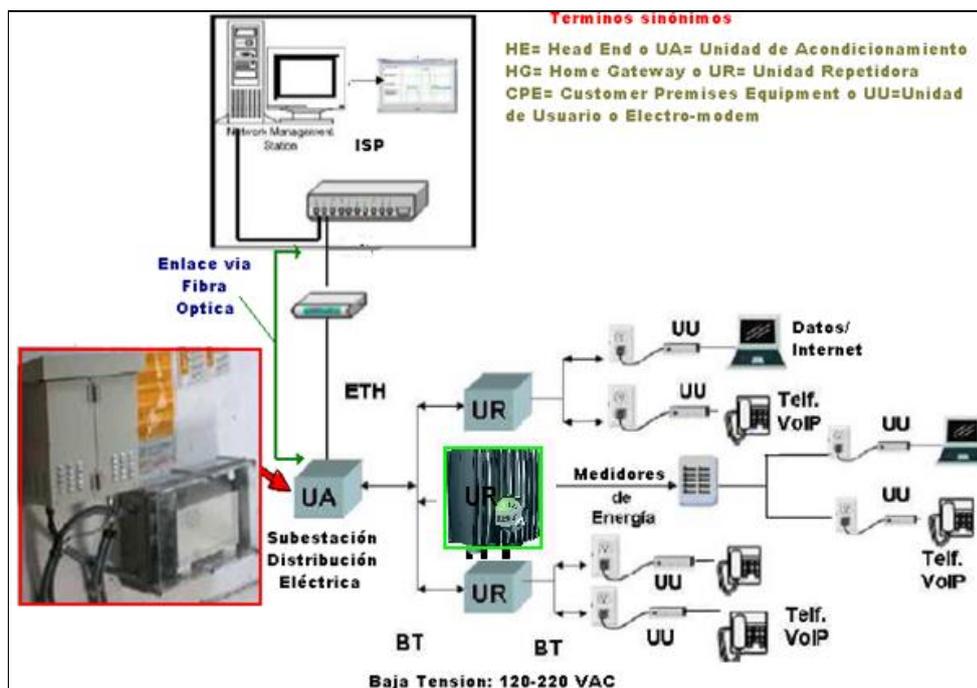


Figura 2.15 Unidad de Acondicionamiento instalada en un cuarto de Transformación (Subestación eléctrica) más unidad repetidora

Fuente: http://redes-plc.googlecode.com/svn_history/r113/trunk/Entrega/PDF/Final.pdf

Este equipo (UA) dispone de varias tarjetas, que permite flexibilidad en el desarrollo de capacidad y velocidad en una red de internet, y además tienen:

- ❖ Tarjetas BT (Baja tensión): Inyectan la señal de datos a los cables de baja tensión.
- ❖ Tarjetas MT (Media tensión): Permiten la interconexión de subestaciones o CT utilizando como red de distribución las redes de MT.
- ❖ Tarjetas “Fast Ethernet” o “Gigabit Ethernet”: Permiten la interconexión de subestaciones a través de interfaces RJ-45 o Gigabit Ethernet convencionales. Esta tarjeta permitirá la conexión del enlace de F.O. a la UA.

- ❖ Velocidad máxima de 100 Mbps de ancho de banda.
- ❖ Soporta hasta 256 usuarios.
- ❖ DHCP/DNS/FTP Server/ Cliente
- ❖ Posee una interfaz Ethernet 10/100 base T.

2.6.2 UNIDAD REPETIDORA (UR)

Se usa para extender el alcance de la señal de datos. Es requerido cuando existe una distancia considerable entre la Unidad Acondicionadora y la Unidad de Usuario. Su función es regenerar la señal afectada por la atenuación del medio de transmisión debido a la distancia.

Consigue altas velocidades de transmisión en lugares alejados de la UA, la UR aumenta la cobertura del servicio y se conecta a las líneas eléctricas mediante acopladores eléctrico.

En general se trata de evitar el uso de los repetidores tanto como sea posible, ya que agregan costos adicionales a la red PLC.

- ❖ Permite velocidades de 45 Mbps
- ❖ Permite 32 conexiones simultáneas (esclavos).
- ❖ Posibilidad de manejo de 64 direcciones MAC.
- ❖ Alta sensibilidad del receptor para asegurar su cobertura.
- ❖ Fácil sistema que emplea el concepto de VLAN y servicios QoS.

2.6.3 UNIDAD DE USUARIO (UU) O MÓDEM PLC

Según (Berterreix & Bonet, 2006) señalan que, los dispositivos terminales que se enchufan en la red de suministro eléctrico, para utilizar como medio

del enlace de datos. Permite conectar un equipo a la red de datos establecida por la UA. Se ubica en los hogares de los usuarios.

Según (Tomasí, 2003) comenta al respecto que, su función es convertir cada toma de corriente en un punto de conexión de terminal de usuario, tienen en su interior dos filtros, uno pasa bajos y otro pasa altos.

El primero de ellos, el pasa bajo, libera la corriente eléctrica de 60 Hz para su propia alimentación. Este filtro además sirve para limpiar los ruidos generados en la red por los electrodomésticos conectados en casa del usuario.

Si se dejaran pasar esos ruidos, al unirse a los procedentes de otros usuarios de la red, acabarían por introducir distorsiones muy significativas.

En segundo lugar, el filtro pasa alto es el que libera los datos que viajan en frecuencias portadoras de entre 2.4 hasta 38 MHz y facilita el tráfico bidireccional entre el cliente y la red a la corriente.

También es importante destacar que tanto las UA como las UU poseen un equipamiento que contiene filtros para las señales de electricidad y de los datos, lo que facilita el acoplamiento entre los clientes y una subestación eléctrica.

Este elemento recibe la señal proveniente de la red eléctrica sea de MT o BT, la cual se introduce en un Filtro Pasa-Bajo que permite pasar señales de baja frecuencia donde viajan las señales de energía eléctrica, enviándolas al puerto de distribución eléctrica (PDE) para su distribución, cancelando la señal de alta frecuencia.

Otro Filtro Pasa-Alto, extrae la señal de alta frecuencia donde viajan los datos y cancela las señales de baja frecuencia. Este filtro libera los datos a través del puerto de distribución de comunicaciones (PDC) mediante interfaz Ethernet, USB, estándar 802.11b u otro que el equipo PLC posea, facilitando el tráfico bidireccional entre el cliente y la red.

El filtro pasa bajos también sirve para atenuar los ruidos provocados por las aplicaciones eléctricas, ya que si se dejaran pasar estos ruidos se provocaría distorsiones significativas en la red.

2.7 DISPOSITIVOS ADICIONALES PARA EL SISTEMA PLC

Para poder establecer la comunicación de datos a través de la línea telefónica son necesarios algunos elementos adicionales, como se puede ver en la figura 2.16, tales como, filtros pasa alto, pasa bajo, la combinación de los mismos hace que se pueda crear una señal de datos. Dichos elementos se los detalla a continuación.

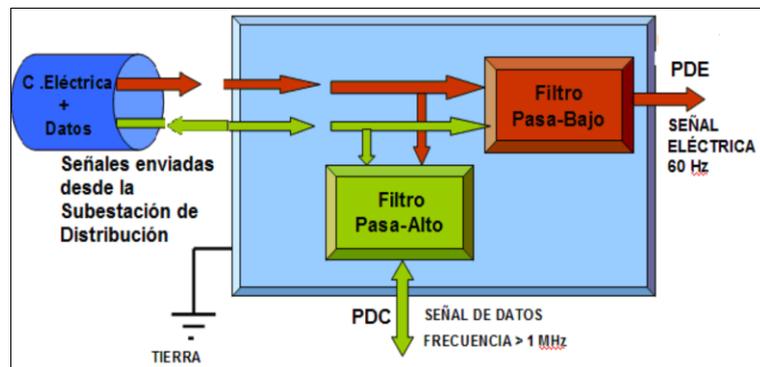


Figura 2.16 Tipos de filtros instalados en los equipos PLC.

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3778/2/35735-1.pdf>

2.8 ACOPLAMIENTO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

Las unidades de acoplamiento son elementos que permiten físicamente, adaptar e inyectar la señal digital PLC a la red eléctrica de media o baja

tensión en niveles de hasta 24 kV. Los circuitos de acoplamiento deben ser cuidadosamente diseñados para así entregar la señal específica de transmisión con el apropiado ancho de banda y el nivel de seguridad requerido.

Según los autores (Buevas, Telléz, & Mateus, 2009) comentan que, los transformadores de distribución atenúan significativamente la mayoría del espectro de RF utilizado por PLC ya que actúa como circuito abierto. Una solución es crear un camino para el paso de la señal de alta frecuencia en la que viajen los datos este camino se denomina *bypass*.

Es fundamental que este camino se limite sólo a la señal PLC y no a los 60 Hz de electricidad. Las ventajas del *bypass* es su bajo costo, facilidad de instalación, mantenimiento y que no disminuye la fiabilidad eléctrica.

El *bypass*, como se muestra en la figura 2.17, está compuesto de un acoplador inductivo de MT, una UA y un acoplador BT, el acoplador de BT puede ser inductivo o capacitivo. Se coincide con la información de la página web;http://plcenecuador.blogspot.com/p/disenio-de-topologia_19.html, donde se extrae la información de instalación de soluciones inductivas por método *bypass*, por comodidad en los sistemas PLC es el método para acoplar la señal de comunicaciones en la red eléctrica.

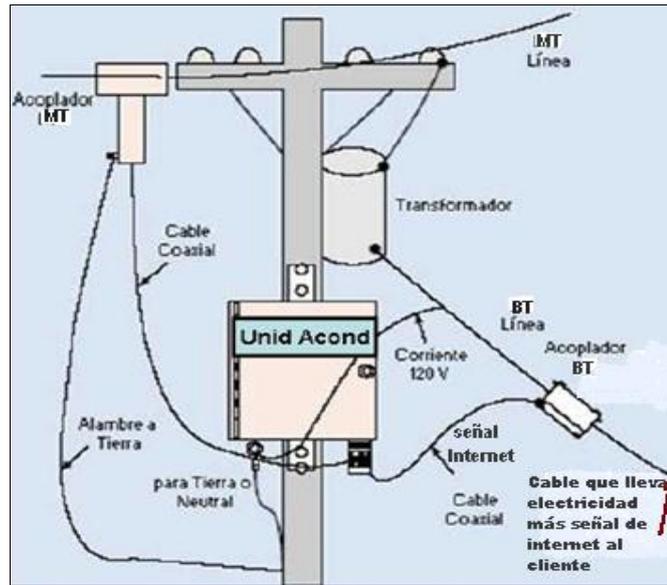


Figura 2.17 Bypass en el transformador eléctrico

Fuente: <http://www.seincodelcentro.com/productos.php?lstMarca=-1&lstTipo=SID>

En el receptor se desea un fuerte rechazo de banda para bloquear la señal de 110 V, 60 Hz, pero sin atenuar las señales de alta frecuencia.

En el lado del transmisor se desea tener propiedades de paso amplio a la señal de comunicaciones para que no sea atenuada. Además para que la atenuación de la señal sea pequeña se desea que el acople tenga una impedancia muy parecida.

Según (Berterreix & Bonet, 2006), comentan que, existen dos métodos de acoplamiento: acoplamiento capacitivo paralelo a la red eléctrica o acoplamiento inductivo mediante el uso de un núcleo magnético.

a) UNIDADES DE ACOPLAMIENTO CAPACITIVO

Este tipo de acoplamiento inyecta la señal en las líneas eléctricas por contacto directo permitiendo el acoplamiento mediante tensión a través del núcleo. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda,

optimizando la adaptación de impedancias entre la línea de media ó baja tensión y el equipo de comunicaciones PLC.

Este tipo de acoplamiento es muy utilizado para líneas aéreas y en instalaciones de interiores. Presenta una mínima atenuación de la señal, es de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, etc. (Ver Fig. 2.18) y se conecta entre fase y neutro.

Tienen menor pérdida que los inductivos, pero su manipulación exige eliminar la corriente por los cables durante su instalación.



Figura 2.18 Unidad de acoplamiento capacitivo BT

Fuente: <http://www.seincodelcentro.com/productos.php?lstMarca=-1&lstTipo=SID>

b) UNIDADES DE ACOPLAMIENTO INDUCTIVO

inyectan la señal sin contacto directo, mediante la inducción de un campo magnético. Permite acoplarse a diversos niveles de corriente (50A - 150A) sin necesidad de intervenir en el circuito no interrumpiendo así el servicio del suministro de energía eléctrica.

Mediante el acoplador inductivo se permite que la señal PLC no se pierda por la presencia de transformadores en redes de MT a BT continuando así el camino hasta el domicilio del usuario.

Además se emplean cajas de distribución, filtros y accesorios de cableado para completar la instalación de una red PLC.

- **Cajas de distribución:** Se emplean cuando debe acoplarse más de un cable en modo capacitivo, o dos en modo inductivo.
- **Filtros de Coexistencia:** Dado que secciones contiguas de la red de distribución utilizan diferentes frecuencias portadoras para transmitir la señal PLC, se utilizan filtros de coexistencia antes de inyectar en la red la señal que viene de las tarjetas de media o baja tensión de los equipos PLC.

La figura 2.19, muestra los acoplamientos inductivos y las capacitivas cuando se inyectan entre fase y tierra y fase-fase.



Figura 2.19 Unidad de acoplamiento inductivo BT y modos de inserción

Fuente: <http://www.seincodelcentro.com/productos.php?lstMarca=-1&lstTipo=SID>

- **Filtros de Bloque y Unidades de Adaptación de Impedancias:** Es necesario colocar filtros de bloque para eliminar las interferencias que se

pueden inducir a otros usuarios u otras partes del edificio, así como, en ocasiones, usar unidades de adaptación de impedancias en la conexión eléctrica del domicilio.

- **Un filtro paso alto (HPF):** Es un tipo de filtro electrónico en cuya respuesta en frecuencia se atenúan las componentes de baja frecuencia pero no las de alta frecuencia, éstas incluso pueden amplificarse en los filtros activos. La alta o baja frecuencia es un término relativo que dependerá del diseño y de la aplicación que se tenga con respecto a la aplicación de la tecnología PLC.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE CASOS DE TECNOLOGÍA PLC/BPL

Se detalla estudio de casos de configuración en sub-distribuidoras eléctricas, se describen esquemas de implementación de la tecnología, con conexiones en dos modalidades, en alta y media tensión y la otra en media y baja tensión.

3.1 ESQUEMA DE INSTALACIÓN EN MEDIA TENSIÓN

Esta configuración despliega la red de MT y BT como medio de transmisión de señales de datos de alta velocidad, en algunos casos, especialmente en zonas rurales y remotas donde la densidad poblacional es extremadamente baja, pocos clientes locales están conectados directamente a la red de distribución de MT a causa de la larga distancia y la consiguiente caída de tensión.

En este escenario, el proveedor de servicios podría ofrecer servicios de teléfono, televisión e Internet a través de fibra o redes de larga distancia a base de cobre hasta usuario final o domicilio del abonado. El suscriptor PLC/BPL deberá instalar un electro módem que se conecta a una toma de corriente normal y pagar una cuota de suscripción similar a los abonados por otros tipos de servicios de Internet.

En esas zonas, la accesibilidad backbone, por GSM, fibra o satélite, simplemente no es factible debido a la baja densidad poblacional. Por lo tanto, la única manera viable es transmitir las señales de los datos sobre las líneas de MT tanto como sea posible de una zona con mayor densidad

de población y una mejor oportunidad de interconexión backbone como la mostrada en la figura 3.1.

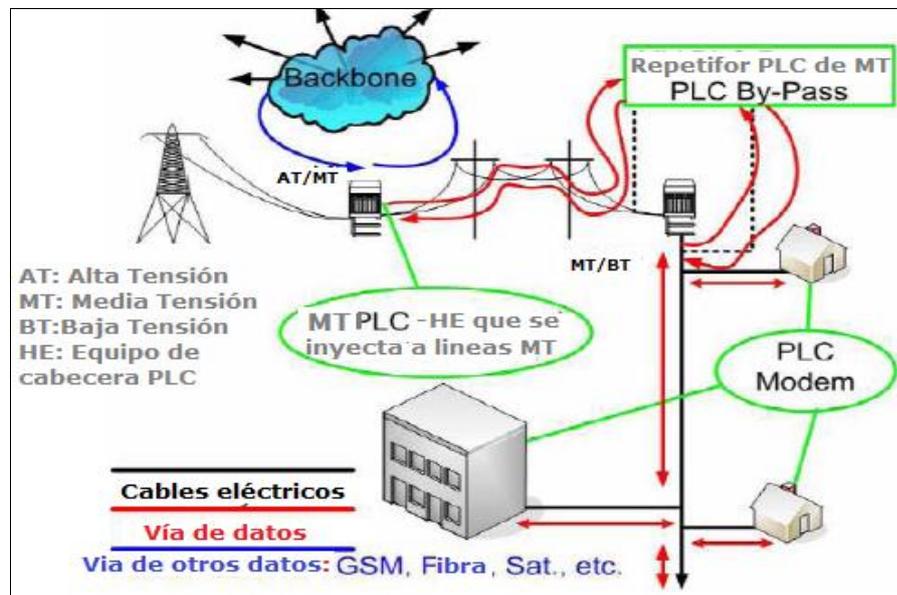


Figura 3.1 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.

Fuente: <http://www.caslon.com.au/powerlinenote.htm>

Esta configuración necesita equipos diseñados especialmente para PLC que proporcionan altos SNR, para viajes de larga distancia y repetidores de señal. Por otro lado, la capacidad de conexión no es una cuestión de diseño como la línea PLC normalmente compartida por varios clientes. Observe que con esta configuración, las señales de datos necesitan puentear los transformadores de MT/BT.

Hay que tomar en cuenta que se necesitan más unidades PLC se necesitan para cubrir una mayor área de red. Al menos dos unidades MT deben estar instaladas en la línea de MT, una para proporcionar accesibilidad al backbone y otra para la repetición de la señal y puentear el transformador MT/BT y la inyección de señal.

3.2 CONFIGURACIÓN EN BAJA TENSIÓN

Esta configuración es la más sencilla y es apto para la mayoría de las zonas densamente pobladas. Aquí, los datos viajan distancias más cortas entre el cliente y los puntos de acceso Backbone disponibles en los transformadores de BT. Véase la figura 3.2

Esto simplemente se debe a la bien establecida infraestructura básica en las áreas metropolitanas, zonas urbanas y suburbanas. Debido al mismo hecho, PLC debe proporcionar conectividad de alta capacidad por línea, con el fin de satisfacer la densa presencia de clientes.

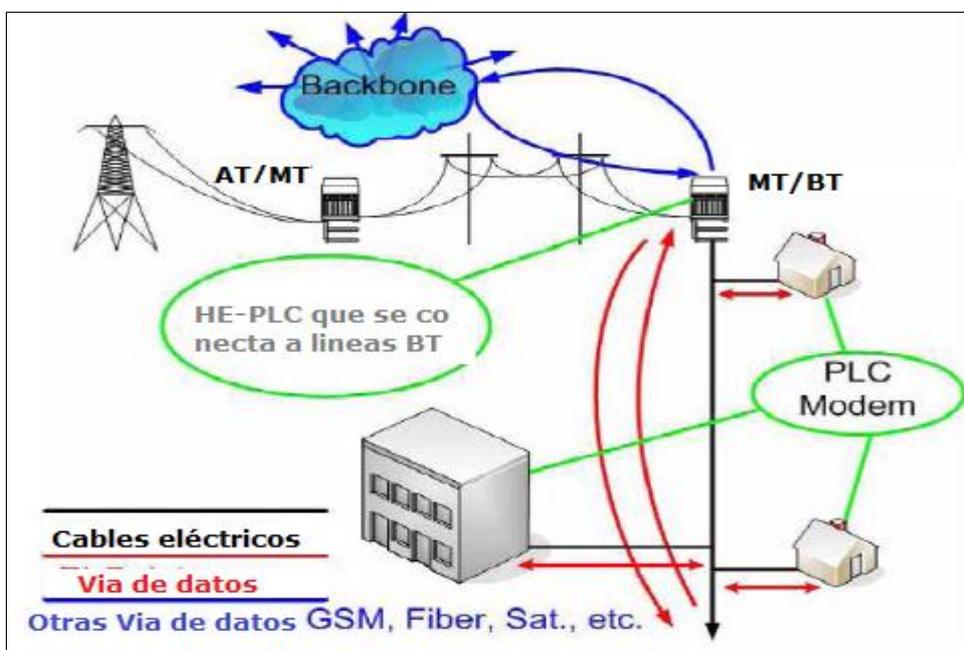


Figura 3.2 Instalación de PLC en la red BT

Fuente: <http://www.caslon.com.au/powerlinenote.htm>

Aquí se toma en consideración la alta densidad de clientes para proporcionar conectividad PLC de alta capacidad dentro de áreas pequeñas y, por tanto, no tener que inyectar señales de datos en la red MT.

Las redes PLC soportan el protocolo de gestión simple de red SNMP (*Simple Network Management Protocol*) y otros servicios como habilitar el monitoreo de redes y dispositivos específicos de empresas.

El principal problema del despliegue de una red PLC en la primera milla consiste en elegir la ubicación de la cabecera PLC, entendiendo por cabecera el punto donde se efectúa la conversión de un transporte de telecomunicaciones convencional (por ejemplo, fibra óptica) a la tecnología PLC.

El costo de este punto de conversión debe ser repartido entre el mayor número de usuarios posible. En Europa un buen candidato es el transformador de media a baja tensión, al que se conectan unos 150 usuarios de electricidad de los cuales, en un entorno de libre competencia y con una estimación de penetración final optimista, un 30% contratarían el servicio de telecomunicaciones.

En EE.UU., la media de usuarios por transformador de media a baja es 15 en lugar de 150, luego si se sitúa la cabecera en este punto la repercusión por usuario será diez veces mayor que en Europa.

Adicionalmente, si se colocan los puntos de interconexión en los transformadores de media-baja, hay que llegar a ellos con la infraestructura de telecomunicaciones convencional (fibra, radio) y esta capilaridad incrementa costo por usuario.

Por ello se buscan tecnologías que puedan ser utilizadas tanto en media como en baja tensión (como las distancias en medio voltaje son mayores que en baja, se requerirán repetidores).

La idea es colocar las cabeceras en los transformadores de alta-media y llegar desde estos a los usuarios, puenteados con repetidores los transformadores de media-baja. Sólo en aquellos escenarios en que el número de usuarios de un segmento de baja tensión fuera suficiente se colocarían cabeceras en los transformadores de media-baja tensión.

3.3 PROCESO DE INSTALACIÓN RESIDENCIALES

En cada uno de los lugares en donde se ha puesto en marcha la implementación (pruebas piloto, realizadas mayormente en España, compañía Iberdrola⁴) de la tecnología PLC, se han realizado las siguientes fases:

- a) Reconocimiento de la red eléctrica.** Puesto que no se ha dispuesto de esquemas bifilares, ha sido necesario un reconocimiento en campo de la red eléctrica con el objeto de identificar la calidad de la red y realizar un mapa de dicha red en el cual basarse para realizar la instalación. En función de las dimensiones y las circunstancias de la red, estas actividades pueden extenderse más o menos en el tiempo, pero el reconocimiento no suele durar más de una semana por transformador.
- b) Instalación del módem de cabecera.** El HE o módem de cabecera ha de instalarse estratégicamente situado de forma que la señal inyectada en un sólo punto consiga conectividad en todo el bloque.

⁴ Empresa que está desarrollando su proyecto Opera desde el 2007 para proveer banda ancha sin mucha interferencias.

En la figura 3.3, se muestra un esquema de instalación doméstica de tecnología PLC.



Fig. 3.3. Esquema instalación de una red PLC

Fuente:<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2984/1/5501.pdf>

Se debe considerar que se ubique físicamente en un lugar seguro y protegido son también importantes. En algunas pruebas piloto, la inyección de la señal del módem de cabecera sobre la red eléctrica se ha realizado después del contador (medidor) y antes de los tableros de distribución de cada vivienda. Una vez realizada la inyección se pudo verificar que los parámetros de señal observados eran adecuados para poder disponer de conectividad PLC en todo los puntos de la casa

c) Comprobaciones de cobertura. A continuación se pasa a verificar el grado de cobertura de la señal PLC en la red eléctrica de los centros, lo que permite comprobar la calidad de la transmisión en los diferentes puntos y la evaluación tanto de la necesidad de eventuales equipos repetidores en la red PLC como la posible ubicación de los mismos.

d) Realización de un mapa de la red PLC. Una vez realizadas las pruebas pertinentes se procede a configurar un mapa de la red PLC, con

todos los datos sobre la ubicación del HE, los repetidores y los equipos de usuario CPE.

e) Instalación de Equipos Internos. Finalmente se deberá proceder a la instalación de los equipos CPE en sus correspondientes ubicaciones.

3.4 LIMITACIONES TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA PLC

Los autores (Gamboa , Quiquiri , & Narvaez , 2012) además señalan que, las redes eléctricas no han sido creadas con el propósito de transmitir información, estas representan un medio hostil para la transferencia de datos. PLC al ser una tecnología emergente se enfrenta a varios inconvenientes que deterioran su desempeño y limitan su implantación.

Dos de los problemas más importantes que enfrenta esta tecnología son los niveles excesivos de ruido y la atenuación de la señal a las frecuencias de interés. Para que un sistema PLC funcione adecuadamente, debe ser capaz de evitar o sobreponerse a los diferentes tipos de ruido que ocurren a diferentes frecuencias y en cualquier momento. La atenuación en las líneas de potencia muchas veces es alta e impredecible.

Además es muy difícil obtener un modelo significativo de este canal debido a su drástica variación con el tiempo, por la constante conexión y desconexión de dispositivos.

Entre los aspectos técnicos que hacen difícil el desarrollo de un sistema de comunicaciones PLC se destacan:

- **El mal estado de las instalaciones eléctricas:** Esto es un factor clave para el buen desempeño de la red, cuando una línea eléctrica está llena de empalmes, no se encuentra debidamente aislada, se ha humedecido

por la entrada de agua en los ductos eléctricos, el sistema está mal aterrizado o no dispone de uno, el cable es antiguo lo cual hace que se deterioren sus características físicas y eléctricas, esto hace que la transmisión de la señal no se dé en forma confiable hacia los conectores de la casa. Por lo que es necesario analizar el cableado eléctrico para eliminar o aislar los problemas.

- **PLC tiene limitantes en cuanto a distancia:** Así como en otros sistemas de telecomunicaciones el factor distancia entre transceptores es inevitable, la distancia que una señal de PLC puede viajar varía y depende de muchos factores. Los factores principales son la impedancia, la atenuación y la relación de señal-ruido (SNR).
- **Impedancia:** Es una expresión para describir la oposición que un componente electrónico ofrece a la corriente eléctrica, la impedancia depende en gran parte del tipo de metal y del diámetro del cable. Los cables de cobre o acero poseen impedancias relativamente bajas en comparación con el aluminio que tiene una impedancia mayor. Entre mayor sea la impedancia menor será la distancia que viajará la señal a lo largo del medio.
- **Atenuación:** Es la pérdida de potencial de una señal cuando transita por cualquier medio de transmisión. Al introducir una señal con potencia en un circuito pasivo, como puede ser un cable, esta sufrirá una atenuación y al final de dicho circuito obtendremos una potencia diferente.
- **Relación Señal-a-ruido (SNR):** Es el valor en decibelios de la relación entre el ruido de alta frecuencia natural en cualquier medio y la señal.

Una relación señal a ruido muy baja dificulta la distinción entre la señal y el ruido de las líneas. La utilización de filtros puede mejorar la relación señal a ruido. Sin embargo la implementación de tales filtros es compleja. En cualquier sistema de comunicaciones, la SNR limita la capacidad de transmisión en otras palabras la señal de ruido es omnipresente y siempre será un factor que debe tratar de reducirse.

- **Número de hogares servidos por transformador:** Debido a que las señales de datos de PLC no sobreviven al pasar por un transformador, solo se utilizan en la última milla, en Europa se coloca un transformador por cada 150 hogares aproximadamente, mientras que en Ecuador se tiene un promedio de 50 hogares por transformador de baja tensión. Esto hace que sea necesario instalar una Unidad de Acondicionamiento por cada transformador del sistema eléctrico y cuanto menor sea el número de usuarios por cada transformador, más se elevarán las inversiones necesarias para establecer la red.
- **Problemas de Interferencia:** En los despliegues realizados de la tecnología PLC se han registrado interferencias y perturbaciones en otros servicios como las comunicaciones de radio, específicamente en las bandas de HF y VHF. Los cables conductores comienzan a emitir señales, generando interferencia en las bandas anteriormente señaladas, perjudicando comunicaciones como el de los radioaficionados. En este aspecto técnico, algo escabroso debería darse toda la viabilidad a las personas que necesiten un servicio

económico y eficaz la comunicación HF es de unos pocos ciudadanos o empresarios.

La interferencia en la tecnología PLC es provocada por varias fuentes, siendo las más frecuentes las que se crean al inyectar los datos en la red eléctrica, mediante la modulación de la señal, lo que genera que algunas de estas señales salgan de la red eléctrica, otro tipo de interferencia es la que se obtiene de otros equipos que transmiten en las mismas frecuencias y que utilizan la red eléctrica como medio de transporte.

En la Tabla 3.1, se muestran los valores límite de radiación que debería emitir la señal PLC para no causar interferencias con otras frecuencias.

Uso	Frecuencia (MHz)	Límite de Radiación (uV/metros)	Distancia (m)	Ancho de Banda(kHz)
Portadora MT/BT	1.075-30	30	30	9
Clase A Comercial MT	30-88	90	10	120
Clase B Residencial BT	30-88	100	3	120

Tabla 3.1. Límite de interferencias estipulados por la FCC

Diseño: Robert Vite, 2013

Estas emisiones de señales fuera de la red eléctrica causan pérdida de los datos e interfieren con otras señales: como la de los Radioaficionados, afecta también a equipo de radio de taxistas o ambulancias se ven afectadas por esta interferencia.

Mayormente en la banda de radio ciudadana se presenta interferencia, pero se sugiere que el estado y la Supertel asignen otra banda a los

radioaficionados pues son más ecuatorianos los que se beneficiarían con el sistema PLC.

Otra causa de interferencia es la característica del cable eléctrico que funciona como una antena al no estar cubierto por un aislante. Realizar mediciones para determinar las interferencias conducidas en PLC de acceso, es difícil ya que existe un peligro de seguridad debido a las altas tensiones en las redes eléctricas.

La FCC (*Federal Communications Commission*) de los Estados Unidos ha desarrollado pruebas y mediciones para determinar los valores de interferencias y radiación presentes en la red PLC. Ver la figura 3.4.



Fig. 3.4. Esquema de mediciones de interferencia

Fuente: <http://redesplc.googlecode.com/svn/trunk/Meli/una%20tesis/T%252011199%2520CAPITULO%25202.pdf>

En el caso de la Red de acceso, instalado en las líneas eléctricas aéreas, el equipo de medición es una antena la cual se coloca debajo del punto de inyección y se mueve en forma paralela a los cables eléctricos hasta alcanzar una distancia de 30 m para frecuencias menores de los 30 MHz.

La distancia entre la línea eléctrica y la antena de medición es conocida como “distancia de inclinación”.

Es importante aclarar que existen diferentes frecuencias que no necesariamente tienen que interferir con la banda de HF y que funcionan perfectamente para aplicaciones industriales con PLC.

- **Interferencias por los tipos de Ruido**

Debido a que la red no se encuentra protegida contra las ondas de radio ni contra el ruido electromagnético se producen interferencias debido a los tipos de ruido que pueden generarse. La causa más común del ruido en una línea eléctrica son los múltiples dispositivos domésticos o industriales conectados a la misma.

Una característica común a todos estos tipos de ruido es que su comportamiento depende de la frecuencia y el instante en que aparecen es impredecible. El ruido y perturbaciones en la red eléctrica incluyen sobre voltaje, bajo voltajes, variaciones de frecuencia.

- **Barreras de Conexión para la señal de datos en la red eléctrica.**

Existen barreras en forma directa e indirecta para la señal de datos en la red eléctrica como: Los medidores de consumo de electricidad atenúan la señal tanto que es prácticamente imposible tener una comunicación libre de errores a través de ellos.

La caja de distribución representa otra barrera de conexión. Este nodo central entre diferentes instalaciones muestra una extrema baja impedancia y acaba con la mayoría de la señal de alta frecuencia impidiendo una comunicación PLC.

Existe el riesgo de que los cables de una instalación estén a pocos metros de los de una instalación ajena en el mismo ducto, ya que por la falta de blindaje, las líneas se comportan como antenas y pueden transmitir señales interceptables entre los dos sitios.

3.5 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO EN LAS REDES PLC

Como todo medio de transmisión público, se van a presentar problemas de seguridad en la transmisión de datos a través de las redes eléctricas. PLC parte de la base que múltiples viviendas compartirán un mismo centro de transformación y la misma línea eléctrica.

La red de transmisión de datos que pertenezca a un usuario específico va a circular por la vivienda de otro, no obstante la tecnología PLC ha sido pensada de tal manera que se minimice la cantidad de información que pueda transmitirse por la línea de otros usuarios. Para poder interceptar el tráfico de datos de una red PLC sería necesario haber accedido previamente a la red eléctrica.

3.5.1 SEGURIDAD EN REDES PLC

El hardware para la implementación física de la tecnología PLC incluye mecanismos de encriptación, de tal manera que todos y cada uno de los paquetes son encriptados antes de su transmisión a la red eléctrica, de esta manera cada uno de los usuarios vería la señal del otro como ruido.

Esto se logra al tener cada usuario una “llave” única para la decodificación de las señales y todo lo que se transmita en su propia LAN será visible para él mientras que no lo será para el resto de los usuarios.

La tecnología PLC, actual contempla una encriptación de datos para impedir la interceptación del tráfico de datos, denominado *Data Encryption Standard* (DES) es un algoritmo de cifrado, que cifra información para dar seguridad, DES ha sido sometido a un intenso análisis académico lo que dio un concepto moderno del cifrado por bloques y su criptoanálisis.

En criptografía el Triple DES (TDES o 3DES) es el algoritmo que hace triple cifrado del DES. Una encriptación de 56-Bit puede ser insegura (normalmente es el sistema de cifrado que viene en la mayoría de equipos PLC). Para solucionar el problema con la longitud de la clave es preferible el algoritmo Triple DES, que consiste en utilizar tres veces DES.

La clave utilizada por Triple DES es de 128 bits de clave y 16 de paridad); es decir, dos claves de 64 bits (56 de clave y 8 de paridad) de los utilizados en DES. El motivo de utilizar este tipo de clave es la compatibilidad con DES.

Si la clave utilizada es el conjunto de dos claves DES iguales, el resultado será el mismo para DES y para Triple DES. Para aplicaciones que manejan datos sensibles, se recomienda mejorar aún más la seguridad mediante conexiones SSL y VPN.

Además la seguridad dentro de la red PLC está garantizada por medio de mecanismos de autenticación basados en protocolos cliente/servidor; en estos el servidor actúa controlando el tráfico hacia y desde los clientes y

aquellos mantienen su privacidad por medio de la implementación de redes virtuales (VLAN).

3.5.2 CALIDAD DE SERVICIO QOS

Los requisitos para obtener una QoS (*Quality of Services*, Calidad de servicio) están relacionados de acuerdo al tipo de datos como por ejemplo la reproducción en tiempo real de vídeos, música, voz o datos.

Para obtener una QoS excelente para reproducir datos, los niveles de prioridad pueden ser configurados colocando etiquetas al principio de los tramas de datos. Cada aplicación debe contar con el ancho de banda adecuado para asegurar la Calidad del Servicio.

Anteriormente, esto no representaba un problema puesto que cada aplicación tenía una línea dedicada, los siguientes aspectos técnicos, que se citan a continuación fueron revisados en la página web: [http://redes-plc.googlecode.com/svn/trunk/\[REVISAR\]%20Funcionamiento%20PLC](http://redes-plc.googlecode.com/svn/trunk/[REVISAR]%20Funcionamiento%20PLC).

Se debe identificar el contenido de los diferentes paquetes de información, conocer si se trata de un paquete de voz o de video, ya que se requiere asignar el ancho de banda adecuado, para que las aplicaciones no se vean afectadas entre sí.

Debido a la competitividad del mercado, la tecnología PLC debe brindar una desarrollada gama de servicios, QoS (Calidad de Servicio) y a costo moderado.

Accediendo garantizar a los usuarios, bajos niveles de retardo en la transmisión de datos en una red de extremo a extremo no excediendo un

nivel específico de tiempo y que garantice un ancho de banda específico para un servicio.

Las redes eléctricas son un contorno incompatible para medidas de Calidad de Servicio, es complicado, debido a su variabilidad con el tiempo.

La QoS a partir de configuraciones definidas por la red eléctrica, debe ser analizada por el desempeño en la variación de los siguientes parámetros:

- Cantidad de usuarios conectados simultáneos
- Tipos de aplicación
- Protocolo de transporte
- Tamaño del paquete IP (*Internet Protocol*, Protocolo de internet)
- Dirección del tráfico (“*upload*” y “*download*”).

Los parámetros mínimos recomendables son:

- Tasa de pérdidas de paquetes.
- Prueba de latencia.
- Jitter (variación del atraso) verificación de la priorización del tráfico de servicios

3.6 TENDENCIAS FUTURAS DE LA TECNOLOGÍA PLC

Power Line Communication (PLC) es una tecnología de red emergente que tiene importantes implicaciones para los ambientes inteligentes, esta tecnología como se indicó en la introducción de este trabajo de graduación cuenta con un “nuevo” paradigma: es decir el que no necesita instalar cables “nuevos” para interconectar diferentes redes, tales como televisión, de internet y de telefonía, por lo que el cableado eléctrico existente que suministra energía eléctrica se reutiliza.

La tecnología PLC, que aunque incipiente en la actualidad, está madurando rápidamente y demostrando ser la solución de última milla más prometedor para el acceso a internet de banda ancha. Al igual que con todo el despliegue público de los servicios inalámbricos de Internet, el PLC de banda ancha también sufre de la falta de un mecanismo robusto para proporcionar seguridad de Autenticación, Auditoría y Control de acceso (AAA) es también un problema. Investigación LISTA se dirige hacia un mecanismo para explorar nuevos métodos híbridos para proporcionar última milla de acceso a Internet de banda ancha.

Los temas de seguridad de redes de PLC también están siendo investigados en lista con un énfasis en la AAA. Se están desarrollando nuevos mecanismos para vigilar y cuenta uso de la red por los abonados individuales a fin de evitar el uso no autorizado de la red PLC. Actualmente el trabajo está dirigido a la creación de un piloto seguro PLC

3.7 EMPRESAS ELÉCTRICAS EN EL ECUADOR QUE PROYECTAN LA TECNOLOGÍA PLC.

Hoy en día, los servicios de telecomunicaciones son indispensable, es por eso que existen proyectos enfocados al uso de tecnologías de banda ancha, tal como, PLC o BPL, que trata de utilizar la red de distribución eléctrica para su implementación, por ello, las empresas eléctricas Transelectric, Empresa Eléctrica Quito, Empresa Regional Centro Sur, se encuentran involucradas en desarrollar este tipo de tecnología.

Las dos primeras vienen desarrollando proyectos pilotos en urbanizaciones de la capital y en sectores rurales de Esmeraldas.

3.7.1 TRANSELECTRIC

La empresa Transelectric S.A., una de las más grandes en el país en su rama; posee 32 subestaciones eléctricas, y varias oficinas de proyectos en todo el Ecuador, en su departamento de telecomunicaciones, que constituye el pilar fundamental dentro de la empresa, ya que este soporta la transferencia de datos y voz del Sistema Nacional de Transmisión (SNT).

La empresa es un carrier⁵ es decir provee de una red backbone que atraviesa de norte a sur todo el territorio ecuatoriano llevando en sus torres de alta tensión un cable OPGW⁶ en el cual lleva varios cables (48 hilos) de fibra óptica monomodo, de esta manera empresas comercializadoras, grandes ISP's alquilan la red de Transelectric para ellos lucrar con la conectividad nacional.

Desde hace 30 años se ha operado y mantenido un sistema de telecomunicaciones que utiliza onda portadora (PLC) a través de las líneas de alta tensión del SNT, hoy es posible dar un servicio de datos con resultados satisfactorios.

Las actuales necesidades de comunicación y los requerimientos de alta disponibilidad, demandan la utilización de nuevas tecnologías en la transmisión de la información, es por esto que Transelectric ha sido uno de los pioneros dentro de país en la utilización del PLC, si bien no como un

⁵ Empresas de Telecomunicaciones que dan tráfico de datos a otras empresas que proveen o explotan el servicio a clientes finales.

⁶ Cable de guarda para protección de las líneas de transmisión eléctrica contra descargas atmosféricas y corto circuitos (conexión a tierra). Transporte de 48 hilos de fibra dentro de una estructura formada por conductores metálicos.

prestador del servicio, pero si lo ha empleado de manera efectiva como medio portador de información.

En la actualidad esta gran empresa, aprovechando el nuevo marco legal y la apertura a la competencia en cuanto a las telecomunicaciones dentro del país, pretende incursionar en el mercado del servicio portador y red de acceso Ecuatoriano dentro de la tecnología PLC, para brindar la calidad y seguridad que requieren sus servicios a todos sus clientes.

En la figura 3.5, se observa en porcentajes el tipo de tecnología empleada por Transelectric, para sus comunicaciones.

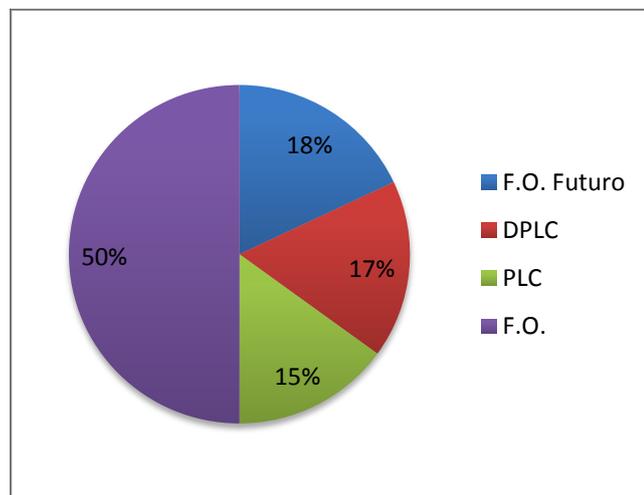


Figura 3.5 Tecnologías utilizadas por Transelectric.

Fuente: Transelectric, 2012

En la figura 3.6, se muestra el mapa territorial del país, con el recorrido de las diferentes líneas de transmisión eléctricas, sean de alta o media tensión, estas redes de transporte forman, el sistema nacional de transmisión, SNT del Ecuador.



Figura 3.6 Sistema Nacional de Transmisión

Fuente: Transelectric, 2011

Hasta la actualidad la tecnología PLC resulta favorable en sectores rurales y en las viviendas que tienen una instalación eléctrica técnicamente bien implementada, es decir sin empalmes defectuosos, con aterrizamiento, es decir instalaciones que cumplen normas técnicas en sus materiales (cables, *breakers*, fusibles etc.).

Los proyectos pilotos se aseguran que los habitantes de la vivienda, conozcan la tecnología PLC, su modo de funcionamiento etc. Y así también se les recomienda que no implementen extensiones eléctricas, sin cumplir las normas técnicas adecuadas para PLC.

El uso de internet a través de PLC se aplica en hosterías, hoteles, y comunidades de la costa del norte del país, se desarrolla en Quito nuevas

construcciones de ciudadelas que están alejadas del entorno urbano y que tienen instalaciones de PLC-indoor.

Resumiendo, PLC funciona mediante la transmisión de señales de datos de alta frecuencia a través de la misma red de cable de alimentación utilizados para el transporte de energía eléctrica a los usuarios domésticos. Tal señal no puede pasar a través de un transformador. Esto requiere de dispositivos ("dispositivos exteriores") que combinan las señales de voz y datos con la corriente de baja tensión en los centros de transformación locales a cerrar la última milla.

En la casa, los "adaptadores" se utilizan con el fin de filtrar las señales de voz y datos y para consumir las distintas aplicaciones.

La tecnología se remonta a la década de 1940. Ha sido utilizado por las compañías eléctricas para teledirigida y controlar cómodamente y de forma remota equipos en sus redes.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RED LAN BAJO PLC EN LABORATORIO FETD

Una vez que se han estudiado las características técnicas de los dispositivos PLC, se procede a verificar el estado de los cables de cobre y los respectivos conectores de toma corriente en el laboratorio de Electricidad FETD-UCSG.

4.1 REVISIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LABORATORIO

En el laboratorio de electricidad de la FETD, existen 10 tomacorrientes polarizados, se considera el siguiente procedimiento para verificar las conexiones eléctricas del aula de informática.

Inspección y verificación de normas eléctricas básicas:

- ❖ Reconocer las instalaciones eléctricas; luminarias, tomacorrientes, enchufes, entre otros aspectos más.
- ❖ Verificar cumplimiento de la norma NEC 2007⁷ en cuanto estado de componentes instalados en el aula de informática,
- ❖ Comprobar si existe grabado o rotulación en caja de breakers, cables fuera de cajetines si los hubiera dentro del aula de informática.
- ❖ Verificar si existe la instalación de puesta a tierra según norma NEC y/o NFPA-70⁸
- ❖ Confirmar el estado material de todos los tomacorrientes en el laboratorio.

⁷ *National Electrical Code*, originaria de EEUU y adoptada en muchos países latinos; anuncia requisitos eléctricos de seguridad, adoptado en Registro Oficial No 382 para el Ecuador.

⁸ Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, es una norma de consenso general de la *National Fire Protection Association*, para reducir riesgos y accidentes de trabajo. Su última actualización es la NFPA 70E 2004.

- ❖ Verificar si los conductores que conecta a los tomacorrientes estén empalmados adecuadamente.

El lugar donde se efectuó la inspección es el laboratorio de electricidad, allí se encuentran 10 tomacorrientes.



Figura 4.1 Laboratorio de Electricidad de la FETD-UCSG

Fuente: el autor

4.2 MEDICIÓN DE TIERRA FÍSICA

Este aspecto es importante pues las computadoras en caso de un sobre voltaje este puede descargarse por la puesta a tierra y de esta forma no dañarse o quemarse algún componente como el disco duro etc. En el procedimiento anterior se verificó la existencia de la puesta a tierra, los tomacorriente son polarizados.

Por medio de un multímetro, y en escala de voltaje de corriente alterna se deberá medir el potencial de caída entre la fase, el neutro y el conductor llamado tierra. Como el laboratorio tiene conexión monofásica y trifásica, es hay dos fases, un neutro y el conductor a tierra, es decir hay 3 puntos para

medir. En medir la tierra, se tiene un promedio de 1.3 V que es aceptable para un sistema de puesta a tierra. En la figura 4.2 se muestran las mediciones de voltaje.



Figura 4.2 Medición de tierra y voltaje en tomacorrientes del laboratorio

Fuente: el autor

Los valores de voltaje en cada uno de los tomacorrientes, se da cuando se mide de una fase con respecto a neutro la fase con la tierra, el neutro con la tierra. El propósito fundamental de la tierra es garantizar la seguridad o protección de las estudiantes y profesores que ocupan dicho laboratorio, ya que si se produjera un cortocircuito, ellos así estén en contacto directo con los

gabinetes o case metálicos de la computadora, se protegerán de descargas eléctricas.

En la figura 4.3. Se aprecia la medición de voltaje efectuada a todos los tomacorrientes del laboratorio, este aspecto es importante con ello podemos saber si existe algún problema en el tomacorriente, ya que si el voltaje es muy bajo sin duda hay mal empalme u otro factor no adecuado para utilizar el tomacorriente.

Los valores obtenidos en los 10 puntos promediaban los 123 VCA. La diferencia de potencial es adecuada.



Figura 4.3. Medición de voltaje en tomacorrientes

Fuente: el autor

Se procede a realizar un valor promedio de voltaje y los resultados se muestran en la tabla 4.1.

UBICACION	VOLT. (L/N) Prom.	VOLT. (L/T) Prom.	VOLT (T/N) Prom.
Pared izquierda	123	123.1	0.1
Pared derecha (ventanas)	122.8	122.9	0.3
Fondo	123.2	123.3	0.5

Tabla 4.1 Resultados de mediciones de voltaje en tomacorrientes.

Diseño: Roberth Vite, 2013

4.3 EQUIPOS ELECTRO-MODEM

Los equipos que se adquirió para realizar las pruebas de conectividad son 2 electro-modem de la marca NETGEAR capaz de dar una velocidad de 200 Mbps, y su conexión es plug and play⁹ para aplicaciones de banda ancha como *streaming*¹⁰ de audio y vídeo de HD¹¹.



Figura 4.4 Electromodem PLC NETGEAR 200

Fuente: autor

⁹ Se refiere a la capacidad de un sistema informático de configurar automáticamente los dispositivos al conectarlos. Permite poder enchufar un dispositivo y utilizarlo inmediatamente, sin preocuparte de la configuración.

¹⁰ Se utiliza para aligerar la descarga y ejecución de audio y vídeo en la web, ya que permite escuchar y visualizar los archivos mientras se están descargando. Si no se utiliza el streaming, para mostrar un contenido multimedia en la red, se tiene que descargar primero el archivo entero en el computador y más tarde ejecutarlo, para finalmente ver y oír lo que el archivo contenía.

¹¹ *High Definition*, sistema digital de vídeo en alta definición.

4.4 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS DE RED LAN BAJO PLC

Para probar la hipótesis de esta tesis, en cuanto al diseño de una red LAN-PLC, se evaluó la conectividad entre dos computadoras. Para ello, por comodidad se utilizó dos computadoras portátiles, fue necesario configurar una dirección IP a cada una de las computadoras portátiles, así se puso a una pc1 la dirección IP: 192.168.1.120 y a la pc2, la dirección IP: 192.168.1.121. Véase la figura 4.5, donde se procede a configurar las direcciones IP's en cada computador portátil, previo a la demostración de conectividad bajo tecnología PLC.

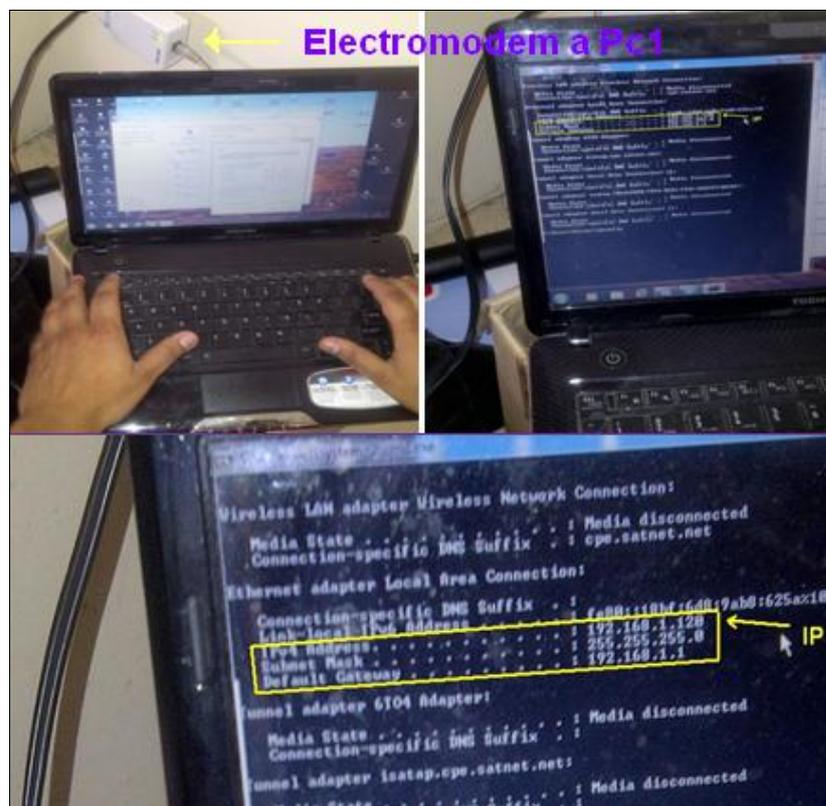


Figura 4.5 Configurando dirección IP a Pc1

Fuente: autor

En la figura 4.6 se muestra los cambios realizados en cuanto a dirección IP que debe estar bajo una red, en el caso de la computadora Pc2, la dirección fue: 192.168.1.121.

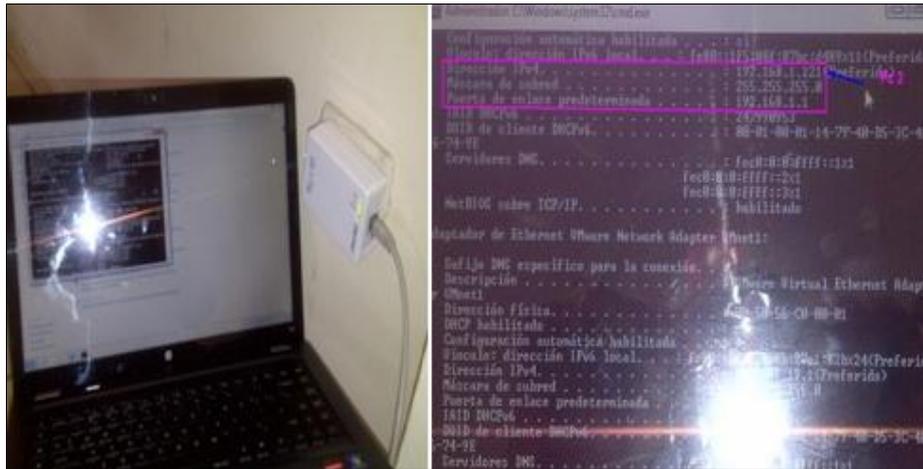


Figura 4.6 Configuración de IP a Pc2

Fuente: autor

Una vez configurada una red LAN mínima con una puerta de enlace 192.168.1.1, se procede a determinar conectividad con comando PING, el cual es el que determina el tiempo en milisegundo mientras más bajo es el tiempo es adecuado para establecer la conexión. Así que desde la Pc1 hacemos ping a la pc2.

En la figura 4.7 y 4.8, se aprecian los resultados obtenidos.

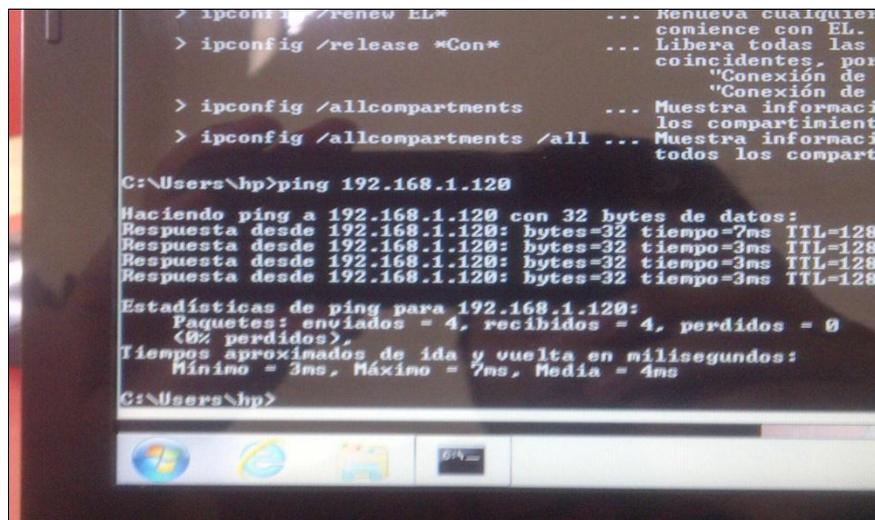


Figura 4.7. Tiempo de respuesta (en milisegundo) entre Pc2 y Pc1

Fuente: autor

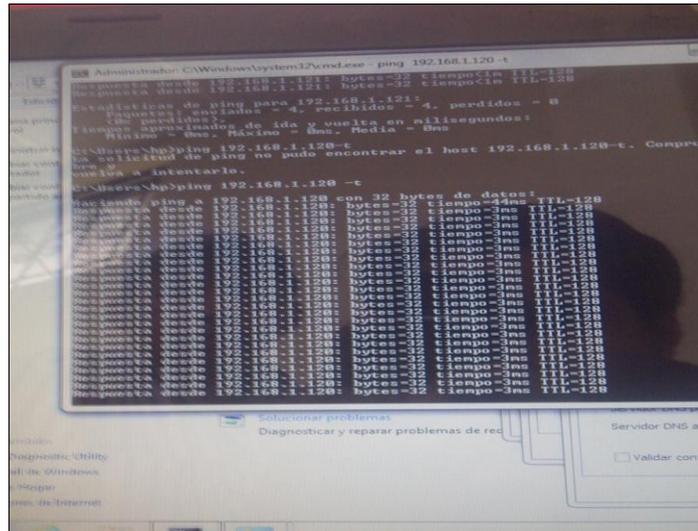


Figura 4.8 Conectividad lógica entre dos pc's utilizando 2 modems-PLC en laboratorio FETD

Fuente: autor

El diseño de red PLC-LAN, tiene el siguiente análisis costo beneficio.

4.5 COSTO-BENEFICIO DE LAN-PLC

El costo-beneficio es un aspecto importante para considerar, pues adquirir los 10 electro-modems es un costo algo similar que si esta LAN fuese cableada (Ethernet), ya que adquirir un Router y un switch de 24 puertos más canaletas y cables de red, llega a costar aproximadamente: 500 dólares, mientras que cada electro modem a 48 dólares cada uno, la inversión llega a 480 y se compraría el Router 80; total 560.

En una red cableada se calcula su costo dependiendo del número de equipos la cual resulta mucho más cara que una inalámbrica o una PLC. Además su forma de instalación lleva mucho más tiempo y requiere de ciertas normas de calidad a la hora de manipular el cableado que por lo general no son tenidas en cuenta por los técnicos a la hora de su instalación.

En comparación con una red Ethernet, PLC es un medio compartido a través del cual se obtienen velocidades de 85 Mbps contra 10 Mbps en Ethernet sin

necesidad de utilizar un switch. Además, los equipos PLC permiten reducir la instalación de cableado estructurado entre un 90% y un 100%, dependiendo de las condiciones de la empresa. Esto se traduce en un menor tiempo de instalación, manteniendo siempre la calidad de su operacionalidad aplicando tecnología de punta a costos competitivos. Ver tabla 4.2.

REFERENCIA:	LAN	PLC	WIFI
PUNTO DE RED	\$ 100	\$ 45 (PAR)	\$ 100
ELEMENTOS EXTRA	PATCHCORD \$ 10	0	TARJETA WIFI \$ 30

Tabla 4.2 Referencia de costo comparando con otras tecnologías

Diseño: Roberth Vite, 2013

Como se aprecia en la tabla 4.2 el par de puntos de red para PLC tiene un costo de 45 dólares y es doble, ya que se comercializa siempre por dos unidades e incluso viene el *patchcord* incluido. Según los costos en económico bajo tecnología PLC los denominados puntos de red.

En la siguiente tabla se compara costos cuando se tiene 10 puntos de red.

REFERENCIAS	LAN	PLC	WIFI
10 PUNTOS DE RED	\$ 1000	\$ 225	\$ 100
ELEMENTOS EXTRA	PATCHCORD \$ 100	0	300
TOTAL	\$1100	\$225	\$400

Tabla 4.3 Referencia de costos para 10 puntos de red

Diseño: Roberth Vite, 2013

El costo total cuando son 10 puntos según la tecnología es el siguiente, para una LAN bajo Ethernet el costo puede llegar a 1100 dólares, para una red bajo Wifi llegaría a 340 dólares y para PLC puede estar en 225 dólares, el valor es menor, el costo es bajo cuando se compara con las tecnologías antes mencionadas.

4.6 DISEÑO PROPUESTO DE RED LAN-PLC

La figura 4.9, es el diseño propuesto de conexión de una red LAN bajo tecnología PLC destinado para conectar al menos 10 computadores en el laboratorio de electricidad de la FETD-UCSG.

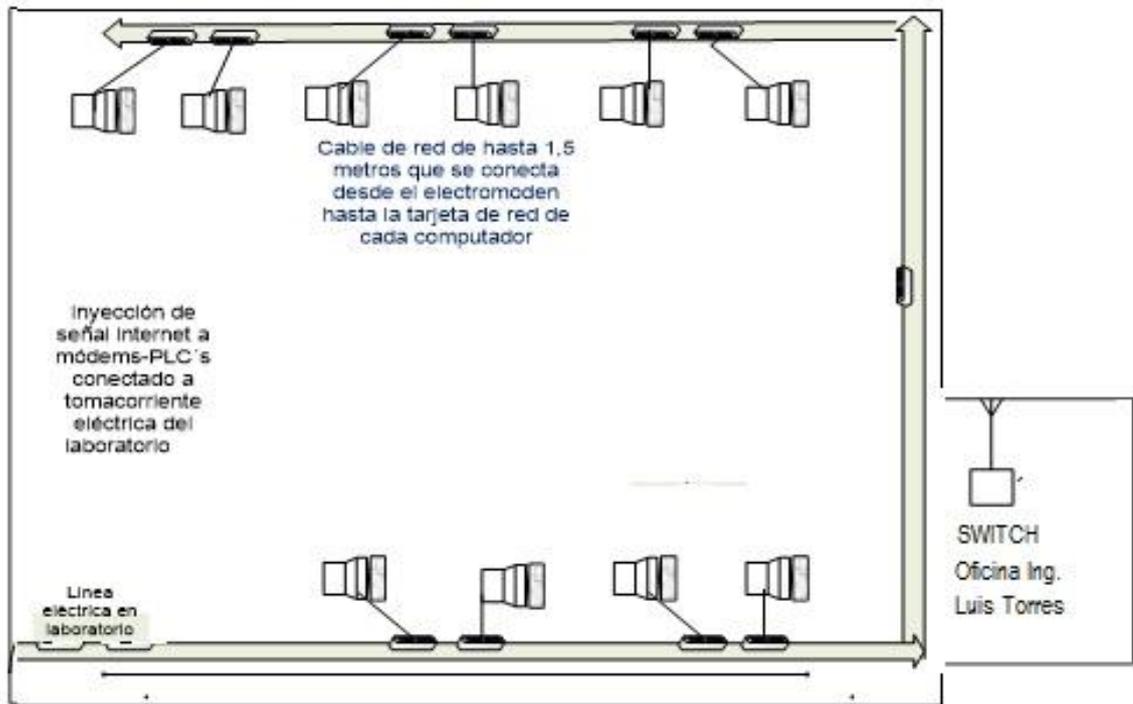


Figura 4.9 Propuesta de conexión LAN-PLC para el laboratorio de Electricidad de la FETD-UCSG

Diseño: autor

CONCLUSIONES

La tecnología PLC, está madurando rápidamente y demostrando ser la solución de última milla más prometedor para el acceso a internet de banda ancha.

Al igual que con todo el despliegue público de los servicios inalámbricos de Internet, la tecnología PLC de banda ancha, también sufre de la falta de un mecanismo robusto para proporcionar seguridad. Autenticación, Auditoría y Control de acceso (AAA) es un inconveniente que se espera corregir.

Las nuevas investigaciones, se dirige hacia un mecanismo para explorar nuevos métodos híbridos para proporcionar última milla de acceso a Internet de banda ancha.

Cuando se implementa puntos de datos, la tecnología PLC, tiene un 50% menos de inversión comparado con un punto de datos bajo Ethernet, ya que un par de electro-módems está por 48 dólares y un punto de red LAN-Ethernet está por los 100 dólares donde se incluye el cableado estructurado y/o obra civil.

Comparando PLC con Wifi, la diferencia de costos es por el 60% menos que cuando se desea implementar un punto de red inalámbrico.

PLC funciona de forma sencilla y se pueden utilizar los tomacorrientes como punto de datos para conectar varios computadores del laboratorio de Electricidad.

PLC utiliza dos filtros, el pasa bajo, que libera la corriente eléctrica de 60 Hz Este filtro además sirve para limpiar los ruidos generados en la red por los electrodomésticos conectados en casa del usuario.

El filtro pasa alto es el que libera los datos que viajan en frecuencias portadoras de entre 2.4 hasta 38MHz y facilita el tráfico bidireccional de señal de internet, de telefonía y hasta de televisión.

RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar en cuenta y revisar cada año el estado de los puntos de toma corriente, deben estar en buen estado para no producir cortos.

Así mismo en caso de ampliar puntos de toma corriente estos deben ser realizados sin derivaciones flojas, o malos empalmes.

Se recomienda que cuando estén conectadas las computadoras a internet, no se debe tener encendido por mucho tiempo los motores eléctricos ya que induce ruido o interferencia electromagnética en la red LAN.

Se recomienda que el sistema de tierra este optimo, y que todos los puntos de tomacorriente estén polarizados.

En los tomacorrientes que estén bien instalados técnicamente, se deberá conectar el electro-modem que tienen en su interior dos filtros, uno pasa bajos y otro pasa altos.

Así también se especifica que los electro módem PLC, sean de un solo fabricante.

La señal de internet debe tener el acople inductivo en el panel de breaker del laboratorio de electricidad.

Se recomienda que los electromodem estén dentro de un mismo circuito, es decir que los modem PLC's, estén formando un circuito de red y no compartiendo con aulas alejadas a la LAN-PLC propuesta, ni en edificios alejados de la red.

BIBLIOGRAFÍA

- Ania, I., & Gomez de Silva, A. (2008). *Introducción a la computación*. Mexico: Cengage Learning.
- Blake, R. (2004). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Boria, V., Soto, P., San Blas, A., & Bachiller, C. (2002). *Líneas de transmisión, Volumen 1*. Valencia: Universitat Politecnica de Valencia.
- Cicileo, G., & Gagliano, R. (2009). *IPv6 para todos*. Buenos Aires: Internet society.
- de la Vega, M. (2002). *Problemas de ingeniería de puesta a tierra*. Mexico: Limusa.
- Duran, L. (2006). *Ampliar configurar y reparar su PC*. Barcelona: Marcombo.
- Enríquez, G. (2002). *Elementos de diseño de Subestaciones eléctricas*. Mexico: Limusa.
- Enríquez, G. (2005). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de media y alta tensión*. México: Limusa.
- Faúndez, M. (2001). *Sistemas de Comunicaciones*. Barcelona: Marcombo.
- Herrera, E. (2004). *Introducción a las Telecomunicaciones modernas*. Mexico: Limusa.
- Hranisca, H. (2004). *Broadband Powerline Communications Networks*. Londres: Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- Huidrobo Moya, J. (2007). *Sistemas telemáticos*. Madrid: Paraninfo.
- Huidrobo, J. (2006). *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.

-
- Junestrand, S., Passaret, J., & Vásquez, D. (2005). *Domótica y hogar digital*. Madrid: Paraninfo.
- López, R., Fernández, F., & Durán, A. (2005). *La comunicacion local por internet*. Barcelona: Universitat Jaume I.
- Morales, J., & Gómez, A. (2007). *La red inteligente: Ahorro energético y Telecomunicaciones*. Madrid: L&M data Communications.
- Pastor, D., Capmany, J., & Ramos, F. (2007). *Sistema de Comunicaciones Ópticas*. Valencia: Universitat Politecnica de Valencia.
- Salavert, A. (2003). *Los protocolos en las redes de ordenadores*. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.
- Sanz, J., & Toledano, J. (2006). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ENLACE Y CENTROS DE TRANSFORMACIÓN*. Madrid: Paraninfo.
- Sanz, M. (2009). *Estudio sobre la tecnología PLC : despliegue de una red*. Valladolid: Editorial Valladolid.
- Sbarato, D. (2007). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmosfera*. Córdoba: Colección Salud Ambiental.
- Tomasí, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Mexico: Prentice Hall.

Recursos de internet

- http://www.celec.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=269&lang=es
- http://www.ecuacier.org/index.php?option=com_content&view=article&id=431:evolucion-normativa-del-sector-electrico-ecuadoriano&catid=61:edicion71&Itemid=53

-
- <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=114>
 - <http://redes-plc.googlecode.com/svn/trunk/Meli/Power%2520Line%2520Communications.pdf>
 - http://www.epen.gov.ar/archivos/educativo/Tesis_GB_MB.pdf
 - <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rev18-16.pdf>

 - [1] Artículo " Power Line Communication" Referencia tomada de http://en.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication
 - [2] Artículo "Power Line Communication de YITRAN " Referencia tomada de: <http://www.sagitron.com/productos/activos/yitran/436-soluciones-para-comunicacion-de-datos-por-la-red-electrica-power-line-communication-de-yitran>
 - [3] Artículo "¿Internet por el cable de la luz?" Referencia tomada de <http://www.alambre.info/archives/00000012.html>
 - [4] Artículo "Propuesta del Proyecto PLC" Referencia tomada de <http://www.gestiopolis.com/Canales4/ger/proyectopl.htm>

GLOSARIO

BACKBONE: Columna vertebral de una red de comunicación. Involucra un mecanismo de conectividad primario, que a través de una línea de alta velocidad permite distribuir el tráfico de paquetes a otras líneas menores.

BAJA TENSIÓN: Es el nivel de energía que se distribuye a los usuarios finales que equivale a (110 – 220) voltios.

BANDA ANCHA: Capacidad de transmisión con anchura de banda suficiente para ofrecer conjuntamente voz, datos y vídeo.

BANDA ESTRECHA: Servicio que ocupa una anchura de banda pequeña (generalmente a la velocidad de 64 kbit/s o menor) que sólo permite transmitir unos pocos canales de voz o de datos.

BPL: Broadband over Power Line, es una tecnología que permite la utilización de la infraestructura de energía eléctrica tanto de (BT) baja tensión como de (MT) media tensión permitiendo ofrecer servicios de telecomunicaciones de banda ancha de gran calidad.

CARRIER: Empresas que ofrecen servicios de telecomunicaciones y transporte de datos entre ciudades.

CAPACITANCIA: Propiedad de un sistema de conductores y dieléctricos que permite almacenar electricidad cuando existe una diferencia de potencial entre los conductores.

HE (Head End): Es el componente principal en la topología de una red BPL, se le suele denominar también TPE (Transformer Premises Equipment) o módem de cabecera.

INDOOR: Estructura de la red eléctrica que se encuentra al interior de la ubicación del usuario, desde la acometida hacia adentro.

INDUCTANCIA: Propiedad de un circuito que establece la cantidad de flujo magnético que lo atraviesa, en función de la corriente que circula por él.

INTERFERENCIA: Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA: Interferencia producida por una señal electromagnética que causa una distorsión de la señal que afecta a su integridad dando errores o pérdida de datos.

IP (Internet Protocol): Protocolo sobre el que se basa el encaminamiento de paquetes, método de comunicación utilizado en Internet.

ISP (Proveedor de servicios internet): Proveedor de servicios de acceso a Internet.

LAN: Red de comunicaciones de datos solamente confinada a un área geográfica limitada con velocidades desde 100 kbps a 100 Mbps o más.

MEDIA TENSION: Es una conexión que transporta un voltaje de 13.2 Kv equivalente a 13.200 voltios.

MODEM: Dispositivo que transforma una señal digital en analógica, y viceversa.

PLC: Power Line Communications es la definición que le da ETSI aunque es lo mismo que BPL.

PLUG & PLAY: Tecnología que permite la auto detección de dispositivos tales como tarjetas de expansión por parte del ordenador, con objeto de facilitar su instalación.

ÚLTIMA MILLA: Tramo más cercano al abonado de un sistema, que comprende el enlace desde la red troncal digitalizada y los hogares.