

**CENTRO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL BAJO TECNOLOGÍA DE  
COMUNICACIÓN POR RED ELÉCTRICA (PLC) PARA EL LABORATORIO DE  
LA FACULTAD DE ELECTRÓNICA DE CEUTEC**

**SUSTENTADO POR**

**SUANNY GRISELDA MARTÍNEZ RICO, 31941042**

**PREVIO A INVESTIDURA DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**TEGUCIGALPA**

**HONDURAS, C.A.**

**Septiembre, 2021**

**CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO  
CEUTEC**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTORA ACADÉMICA CEUTEC**

**DINA ELIZABETH VENTURA DÍAZ**

**DIRECTORA ACADÉMICA CEUTEC**

**IRIS GABRIELA GONZALES ORTEGA**

**TEGUCIGALPA**

**HONDURAS, C.A.**

**Septiembre, 2021**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL BAJO  
TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN POR RED ELÉCTRICA (PLC)  
PARA EL LABORATORIO DE LA FACULTAD DE ELECTRÓNICA  
DE CEUTEC**

**TRABAJO PRESENTADO EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS**

**EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**ASESOR:**

**KARIO ALEXANDRO VILAFRANCA REYES**

**TERNA EXAMINADORA:**

**LUCY ALEXANDRA LÓPEZ QUINTANILLA**

**DARIN RUBY ARGUETA MURILLO**

**ROGER DANIEL PONCE RODRÍGUEZ**

**TEGUCIGALPA**

**HONDURAS, C.A.**

**Septiembre, 2021**

**DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2021  
SUANNY GRISELDA MARTÍNEZ RICO

Todos los derechos son reservados.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'SAR' with a flourish at the end.

---

**FIRMA**  
**SUANNY GRISELDA MARTÍNEZ RICO**  
**31941042**

## **DEDICATORIA**

“Esta tesis está dedicada a:

A Dios, que sin él no hubiera podido lograr nada de lo que hoy tengo. A mi madre Mirna Rico quien, con su amor, paciencia, esfuerzo y sobre todo mucha fe en mí, me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, por siempre tener palabras de aliento y sembrar en mí la credibilidad de que puedo lograr lo que me proponga, siempre de la mano de Dios.

A mi hermano, mi novio, y amigos cercanos que me apoyaron en esta etapa. Por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.”

**Suanny Martínez Rico**

## **AGRADECIMIENTOS**

No hay palabras que expresen todo el agradecimiento que siento con Dios, ya que siempre me ha llenado de oportunidades para lograr cada una de mis metas, sin importar la dificultad del camino siempre me ha mostrado la luz.

El otro ser increíble es mi madre, a quien le agradezco por el apoyo y amor infinito, sus palabras llenas de sabiduría las cuáles siempre me impulsaron a seguir adelante.

Mi hermano que ha sido un ejemplo de excelencia, en todos los aspectos importantes de la vida, siempre me ha impulsado a dar lo mejor de mí, gracias por eso Kevin.

A mi novio, que siempre me ha dado palabras de apoyo y ayudado en muchos proyectos a lo largo de mi trayecto en la universidad.

A todos aquellos familiares, amigos y compañeros de carrera que me han demostrado que la perseverancia, el compañerismo y una buena actitud son factores muy importantes para lograr lo que sea que nos propongamos, muchas gracias por ello.

**Suanny Martínez Rico**

## RESUMEN EJECUTIVO

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

Esta propuesta se presenta en varios capítulos:

El primero que nos presenta una breve introducción al concepto de esta tecnología, el segundo capítulo muestra los antecedentes de este tipo de tecnología, así como la definición del problema y las hipótesis de esta investigación. El marco teórico involucra muchos de los temas más importantes a la hora de estudiar esta innovadora propuesta de transmisión de datos. Se extiende desde la conceptualización de redes eléctricas y tecnología PLC hasta la infraestructura, aplicaciones y arquitectura de estos sistemas, esperando concluir y recomendar de manera objetiva en base a lo investigado y analizado de este tema tan interesante.

Palabras clave: PLC, redes eléctricas, red de área local, cableado estructurado.

## **ABSTRACT**

The need to optimize the resources available to current electrical installation infrastructures, and avoid all the work and time that the installation of a structured cabling system requires, is the problem that this degree project aims to solve. For this, the alternative of using Power Line Communications technology to design a local area network is proposed, making the most of these facilities.

This proposal is presented in several chapters:

The first one that presents a brief introduction to the concept of this technology, the second chapter shows the antecedents of this type of technology, as well as the definition of the problem and the hypotheses of this research. The theoretical framework involves many of the most important issues when studying this innovative data transmission proposal. It ranges from the conceptualization of electrical networks and PLC technology to the infrastructure, applications and architecture of these systems, hoping to conclude and recommend objectively based on the research and analysis of this interesting topic.

Keywords: PLC, electrical networks, local area network, structured cabling.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	7
AGRADECIMIENTOS.....	8
RESUMEN EJECUTIVO .....	9
ABSTRACT .....	10
ÍNDICE.....	11
Índice de Tablas.....	13
Índice de Figuras .....	14
GLOSARIO .....	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	20
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	22
2.1 Antecedentes.....	22
2.2 Enunciado / Definición del problema .....	26
2.3 Preguntas de Investigación .....	27
2.4 Hipótesis.....	27
2.5 Justificación .....	29
CAPÍTULO III: OBJETIVOS .....	30
3.1 Objetivo General.....	30
3.2 Objetivo Específico .....	30
CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO .....	31
4.1 Conceptualización de redes eléctricas y tecnología PLC.....	31
4.1.1 La tecnología PLC y la red eléctrica.....	31
4.1.2 Fundamentos de la tecnología PLC o BPL.....	33
4.1.2.1 Técnicas de modulación en tecnología PLC.....	34
4.1.2.3 Ventajas de modulación OFDM .....	39
4.2 Capas del modelo OSI en que opera PLC .....	40
4.2.1 Capa física de PLC.....	41
4.2.2 Capa de enlace de datos- PLC.....	41
4.3 Arquitectura de la red PLC .....	44
4.3.1 Topología física de la red PLC .....	51
2.4.2. Topología lógica de la red PLC .....	52

4.4 Aplicaciones de la tecnología PLC.....	52
4.4.1. Aplicaciones externas.....	52
4.4.2. Aplicaciones internas.....	53
4.4.3 Aplicaciones en banda ancha .....	53
4.4. Aplicaciones de transmisión de información a través de la red eléctrica domiciliaria .....	54
4.5 Infraestructura de sistemas PLC 's.....	57
4.5.1 Unidad de acondicionamiento (UA) o unidad HE (Head End) .....	57
4.5.2 Unidad repetidora (UR) .....	59
4.5.3 Unidad de usuario (UU) o módem PLC.....	60
4.6 Dispositivos adicionales para el sistema PLC.....	61
4.6.1 Acoplamiento de las líneas eléctricas .....	61
4.6.2 Unidades de acoplamiento capacitivo .....	63
4.7 Estudio de casos de tecnología PLC /BPL.....	65
4.7.1 Esquema de instalación en media tensión .....	66
4.8 Configuración en baja tensión.....	67
4.9 Proceso de instalación residenciales .....	69
4.10 Ventajas de la tecnología PLC.....	71
4.11 Desventajas de la tecnología PLC .....	72
4.12 Comparativo de PLC vs otras tecnologías de acceso .....	72
4.13 PLC actualmente (2021) .....	74
<b>IEEE ComSoc TC-PLC</b> .....	74
<b>Próximos eventos</b> .....	74
<b>Historia corta</b> .....	75
<b>ICPLC 2021: 15. Conferencia internacional sobre comunicaciones por líneas eléctricas</b> .....	75
<b>08-09 de noviembre de 2021 en Estambul, Turquía</b> .....	75
CAPÍTULO V: METODOLOGÍA Y PROCESO.....	77
5.1 Enfoque y Métodos.....	77
5.2 Población y Muestra .....	78
5.3 Unidad de análisis y respuesta .....	78
5.4 Técnicas e instrumentos aplicados .....	79
5.5 Fuentes de información .....	79
5.6 Cronología del trabajo.....	80
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	82

Análisis de resultados de encuesta aplicada.....	82
• <b>Análisis de encuesta PLC</b> .....	82
<b>Datos a Analizar</b> .....	83
6.2 Análisis del diseño de una red PLC en el laboratorio de la facultad de electrónica de Ceutec..	88
Aspectos técnicos relacionados con la transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria.....	88
<b>Modelamiento matemático de un sistema de transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria</b> .....	89
6.3 Matriz FODA para la tecnología PLC .....	91
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	92
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES .....	94
CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA .....	95
Referencias .....	95
CAPITULO X: ANEXOS .....	97
10.1 Apéndice A: Instrumentos de medición.....	97
• <b>Encuesta: Power Line Communications</b> .....	97
10.2 Apéndice B: Resultados de Simulación .....	99
10.2.1 Apéndice B: Análisis de mano de obra y costos para la implementación del proyecto.....	100
10.3 Apéndice C: Ejemplos de diseños de un circuito PLC.....	101
10.4 Apéndice D: Fichas técnica equipo PLC.....	103
10.5 Apéndice D: Industrias .....	105

## Índice de Tablas

Tabla 2.1 Organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología PLC .....	25
Tabla 2.4.1 Conceptualización y Operatividad de las variables de Hipótesis. ....	28
Tabla 4.1 Número de portadoras para el sistema PLC .....	38
Tabla 4.2: Comparativo de PLC Vs otras tecnologías de acceso. (Alarcon, 2012).....	73
Tabla 5.6.1 Cronología del proyecto de graduación. (Propia, 2021) .....	80
Tabla 6.1: Matriz DOFA para la Tecnología PLC .....	91
Tabla 10.2.1 de Costos de 3 módem PLC.....	100

## Índice de Figuras

Figura 4.1 Esquema de una red eléctrica general Fuente: biblioteca digital. (2008) .....	31
Figura 4.2 Etapas de la tecnología PLC .....	32
Figura 4.3 Rango de frecuencias de PLC en redes eléctricas .....	34
Figura 4.4 Modelo de 6 sub portadoras bajo OFDM .....	36
Figura 4.5 Las Subportadoras en OFDM .....	37
Figura 4.6 Pila de protocolos de la tecnología PLC.....	43
Figura 4.7 Trama en PLC. ....	43
Figura 4.8 Arquitectura de una red PLC.....	45
Figura 4.9 Técnica de inyección internet a PLC-acoplamiento inductivo .....	46
Figura 4.10 Los repetidores en la red de acceso PLCFuente:.....	47
Figura 4.11 Esquema de conexión de Cabecera PLC.....	48
Figura 4.12 PLC in house.....	48
Figura 4.13 Electromoden marca Netgear de 200 Mbps.....	49
La figura 4.15 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. ....	50
Figura 4.4.1 Diagrama de conexiones de la línea telefónica con la red eléctrica. ....	55
Figura 4.4.2. Transmisión de un byte de información por la red eléctrica del laboratorio del edificio G sin presencia de cargas.....	56
Figura 4.4.3. Interferencias por fuente switchheada del computador.....	56
Figura 4.16 Unidad de Acondicionamiento instalada en un cuarto de Transformación(Subestación eléctrica) más unidad repetidora .....	58
Figura 4.17 Tipos de filtros instalados en los equipos PLC. ....	61
Figura 4.19 Bypass en el transformador eléctrico.....	62
Figura 4.20 Unidad de acoplamiento capacitivo BT .....	64
Figura 4.21 Unidad de acoplamiento inductivo BT y modos de inserción Fuente: .....	65
Figura 4.22 Instalación de PLC incluyendo la red de MT. ....	67
Figura 4.24 Instalación de PLC en la red BT .....	68
Fig. 4.25. Esquema instalación de una red PLC.....	70
Fig.4.26 Comparativo del Costo Vs Velocidad de acceso otras tecnologías. El coste se calcula para una transferencia de 50 Mbyte al mes.....	73
Figura 5.1 Calculo de tamaño de muestra .....	78
Figura 5.6.1 Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto de graduación. (Propia, 2021) .....	81

Figura 6.1 Gráfico de Género .....	82
Figura 6.2 Gráfico de Edad .....	82
Figura 6.3 Gráfico Pregunta 3 de la encuesta PLC.....	83
Figura 6.4 Gráfico Pregunta 4 de la encuesta PLC.....	83
Figura 6.6 Gráfico Pregunta 6 de la encuesta PLC.....	84
.....	85
Figura 6.6 Gráfico Pregunta 6 de la encuesta PLC.....	85
.....	85
Figura 6.7 Gráfico Pregunta 7 de la encuesta PLC.....	85
Figura 6.8 Gráfico Pregunta 8 de la encuesta PLC.....	86
Figura 6.9 Gráfico Pregunta 9 de la encuesta PLC.....	86
Figura 6.10 Gráfico Pregunta 10 de la encuesta PLC.....	87
Figura 6.2.1 Designación y rangos de frecuencia para bandas de transmisión, según la norma CENELEC EN50065-1.....	88
Fig 6.2.2 modelo en AutoCAD .....	90
Fig. 10.1Planta Eléctrica-PLC del laboratorio de electrónica de Ceutec. Plot. (Propia, 2021) .....	99
Fig. 10.2 Planta Eléctrica-PLC del laboratorio de electrónica de Ceutec. AutoCAD dwg. (Propia, 2021) .....	100
Fig. 10.3.2 Diseño de comunicación Power Line con transceptores de línea. (Bayraktar, 2020) .....	101
Fig. 10.3.3 Elementos principales de un canal PLC.....	102
Fig. 10.4.1 Ficha técnica equipos Master PLC Indoor/Outdoor y adaptadores .....	103
Fig. 10.4.2 Ficha técnica equipos Gateway PLC .....	104
Fig. 10.5.1. Industrias PLC .....	105

## GLOSARIO

- **ADSL** Abreviación de Asymmetric Digital Subscriber Line. ADSL es un método de transmisión de datos a alta velocidad a través de las líneas telefónicas de cobre tradicionales. Es asincrónica, ya que el ancho de banda asignado para downstream es mucho mayor que el ancho de banda de upstream. Esta tecnología es adecuada para el web, ya que es mucho mayor la cantidad de datos que se envían desde el servidor a un computador personal que desde un computador personal a un servidor.
- **ALWAYS ON (DEDICADO)** Siempre conectado. Servicio de acceso a Internet que se caracteriza por brindar las 24 horas del día servicio de acceso a Internet. Este servicio ha sido impuesto por conexiones de banda ancha que, a través de un único pago mensual, permite a sus clientes conectarse a Internet, sin restricciones de horario ni tiempo que dure la conexión.
- **ANCHO DE BANDA** Es la capacidad para transportar datos que posee un medio en particular. Normalmente se mide en Megabytes por segundo (Mb/s) o en Gigabytes por segundo (Gb/s). Un ejemplo de esto sería una manguera de jardín que transporta una cantidad determinada de litros de agua por segundo, pero cuanto mayor sea el diámetro de la manguera, más agua transportará. El ancho de banda se mide en Hertz ("ciclos por segundo") o en bits por segundo (bps), por eso, es uno de los factores más importantes que determinan la velocidad de la conexión a Internet.
- **ASIC** Application Specific Integrate Circuit (Circuitos Integrados de Aplicación Específica)

- **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 TENSIÓN:** 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.

- HOMEPLUG: es el nombre de la familia de diversas especificaciones de comunicaciones por línea eléctrica, que facilitan la creación de redes a través del cableado eléctrico preexistente en el hogar. Existen varias especificaciones bajo el nombre de HomePlug, cada una de ellas ofreciendo capacidades de rendimiento únicas y la convivencia o la compatibilidad con otras especificaciones HomePlug.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, esta tecnología está muy difundida en muchos países, siendo el monitoreo de los medidores de los empalmes eléctricos una de las aplicaciones de mayor interés en la industria. Asimismo, muchas compañías de distribución eléctrica líderes en diferentes partes del mundo se han interesado en la tecnología PLC y han realizado pruebas piloto en sus redes.

A nivel internacional, también se han creado una serie de organizaciones y grupos de empresas productoras de servicios que buscan impulsar, estandarizar y colocar en el mercado la tecnología PLC, entre las cuales se destacan PLC Forum, UPA (Universal Powerline Association), PUA (PLC Utilities Alliance, que busca crear un marco regulatorio), Home Plug (asociación de industriales relacionados con PLC) y el proyecto Open PLC European Research Alliance (OPERA, creado en enero del 2004 por la Comisión Europea).

Alguna de las ventajas de la tecnología PLC son:

- Utiliza infraestructura existente.
- Alto potencial de cobertura en el medio rural.
- Despliegue rápido, modular y selectivo.
- Costo de los equipos (módems, etc.) similar a servicios xDSL e inferior al cable.

- Tasas en baudios similares o mejores que otras tecnologías de acceso como xDSL o cable.

Tal como ya lo hemos indicado, una aplicación práctica de esta tecnología es la lectura remota de los medidores residenciales e industriales en los empalmes de cada cliente. Actualmente, las compañías de distribución eléctrica deben contratar a empresas para lectura de los medidores individuales, con el consecuente gasto y tiempo invertido en esta labor. Este trabajo se dificulta aún más cuando dichos medidores se ubican en zonas rurales alejadas de los grandes centros de consumo, como es el caso de una gran cantidad de hogares e industrias localizadas en el sur de nuestro país.

Con una plataforma PLC, es posible para la empresa eléctrica gozar de beneficios como:

- Lectura remota de los medidores.
- Posibilidad de corte y reposición del suministro eléctrico a distancia.
- Información de consumo de potencia por alimentador.
- Mejorar los índices de calidad de suministro de la empresa eléctrica.

Como hemos visto, este tipo de tecnologías nos abre un mundo de posibilidades de crecimiento en el área eléctrica de potencia y telecomunicaciones, quedando hecha la invitación a las empresas del mercado eléctrico a explorar las posibilidades de negocio que se presentan ante ellas.

## CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 Antecedentes

En 1838, Edward Davy propuso la medición remota de las fuentes de alimentación con el propósito de verificar los niveles de tensión de las baterías en sitios donde no hubiera operadores en el sistema de telégrafo de Londres y Liverpool.

En 1897, Joseph Routin y C.E.L. Brown patentaron en Gran Bretaña su medidor de electricidad el cual enviaba las señales a través de las líneas de potencia. Chester Thoradson de Chicago patentó su sistema para la lectura remota de medidores de electricidad en 1905. Este sistema no fue muy utilizado dado sus pocos beneficios.

La Carrier Frequency Transmission (CTS) de voz sobre redes de transmisión de alta tensión comenzó en 1920. La amplia red ofreció un canal de comunicación bidireccional por ejemplo entre estaciones de transformación y plantas de energía, Debido a las características de transmisión favorables, los niveles de ruido bajos y frecuencias de la portadora relativamente altas (15 kHz - 500 kHz), la distancia máxima entre transmisor y receptor era máximo 900 km con una potencia de 10W. (Majumder, 2004)

En 1950 se empezó con una frecuencia de 10Hz y 10kW de potencia, con comunicación en un solo sentido, aplicándose para el control de líneas eléctricas y para el control remoto de relés. A mediados de 1980 se inició la investigación sobre el uso de la red eléctrica para soportar la transmisión de datos, en bandas de entre 5 –500kHz, siempre en una sola dirección. Mas

adelante, las empresas eléctricas empezaron a utilizar sus propias redes para la transmisión de datos de modo interno.

En 1997 se realizaron las primeras pruebas para la transmisión bidireccional de señales de datos a través de la red eléctrica y el inicio de la investigación de Ascom (Suiza) y Norweb (Reino Unido). En 2000 se llevaron a cabo las primeras pruebas en Francia por EDF R&D y Ascom. (Serna, Redeweb, 2011)

En los años 50 se había creado un sistema que permitía a las empresas de energía controlar el consumo, el encendido del alumbrado público y el valor de las tarifas eléctricas por medio de una señal de baja frecuencia (100 Hz) que viajaba a través de los cables de la red en un solo sentido. A mediados de los 80 se iniciaron investigaciones sobre el empleo de los cables eléctricos como medio de transmisión de datos y a fines de esa década ya se conseguía transmitir información en ambas direcciones. A finales de los 90 se consiguió que esta transmisión se realizara a velocidades suficientemente elevadas. Esto permitió vislumbrar una aplicación en el campo de las telecomunicaciones: el acceso a Internet.

Recientemente ha surgido un nuevo sistema de comunicaciones denominado Power Line Communication (PLC) para atender la demanda de una “Banda Ancha Real”. Esta tecnología consiste en utilizar las líneas de distribución eléctricas para la transmisión de información.

Aunque su utilización para el acceso a internet sí que es algo novedoso, el hecho de utilizar la infraestructura eléctrica para la transmisión de datos no es nada nuevo. Las compañías eléctricas llevan utilizando este tipo de tecnología desde hace muchas décadas, para poder comunicarse con las ubicaciones más remotas de sus redes de generación, como son las centrales hidroeléctricas o los transformadores remotos ubicados en cualquier montaña de la

geografía, en donde por supuesto no llega la red telefónica. Se utilizaban pues, las líneas de alta tensión para transmitir datos, con unas velocidades muy pequeñas, pero suficientes para el telecontrol.

Lo realmente novedoso es que los equipos de investigación hayan logrado recientemente 3 tasas de hasta 3 Mbps mediante un nuevo chip, con lo que se ha despertado otra vez la posibilidad de ofrecer información a alta velocidad a través de la red eléctrica.

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

<p style="text-align: center;"><b>UPA</b></p> <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;"><a href="http://www.upapl.com">www.upapl.com</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se encuentran íntimamente relacionados con el proyecto OPERA, incluso han presentado una propuesta de estándar PLC de manera conjunta en la IEEE.</li> <li>• Su propósito principal es promover entre los líderes de gobierno e industrias, el tremendo potencial de las tecnologías PLC.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comtrend</li> <li>• Corinex</li> <li>• Cypress Perform</li> <li>• DS2</li> <li>• Duke Power</li> <li>• Ileo</li> <li>• Netgear</li> <li>• Pirelli Broadband Solutions</li> <li>• Toyo Network Systems</li> <li>• Toshiba</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>HOMEPLUG</b></p> <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 30px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;"><a href="http://www.homeplug.org">www.homeplug.org</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su meta en un principio fue crear la manera de que las instalaciones eléctricas puedan ser utilizadas para interconectar dispositivos y tener acceso a Internet.</li> <li>• Ahora, <i>HomePlug</i> es un estándar reconocido para redes de alta velocidad utilizando líneas <i>Powerline</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linksys</li> <li>• Intel</li> <li>• LG</li> <li>• Motorola</li> <li>• RadioShack</li> <li>• Samsung</li> <li>• Sharp</li> <li>• Texas Instruments</li> <li>• Huawei</li> <li>• Intellon</li> <li>• ComTek</li> <li>• Devolo</li> <li>• Telkonet</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>PLC FORUM</b></p> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 30px; margin: 10px auto;"></div> <p style="text-align: center;"><a href="http://www.plcforum.org">www.plcforum.org</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una importante asociación internacional que representa los intereses de fabricantes, empresas eléctricas y otras organizaciones en el campo de la tecnología PLC comored de acceso e interiores.</li> <li>• Entre sus principales objetivos está emitir regulaciones y la</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Universidad de Dresden</li> <li>• ETSI - <i>The European Telecommunications Standards Institute</i></li> <li>• Itochu</li> <li>• LINZ AG for Energy, <i>Telecommunications, Transport and Community Services</i></li> <li>• Mitsubishi Materials Corporation</li> <li>• UPLC (<i>United Powerline Council</i>)</li> <li>• Toyo Network</li> </ul>

*Tabla 2.1 Organizaciones encargadas del desarrollo de la tecnología PLC*

## 2.2 Enunciado / Definición del problema

En un principio, la tecnología PLC se desarrolló como una alternativa en el mundo de las comunicaciones de red, frente al ADSL, la conexiones por Cable o la Fibra Óptica. Debido a los costes del equipo necesario e infraestructura por parte de las comercializadoras, se optó por destinar este sistema de comunicación a través de la red eléctrica para conexiones locales, no para un acceso a Internet.

Actualmente la conexión del laboratorio de electrónica cuenta con una conexión LAN por medio de WiFi o cable ethernet. Las desventajas de este tipo de medio de transmisión de datos incurren en, si es que utilizamos WiFi los equipos tendrán pérdidas a medida que nos alejamos del router o cambiamos de habitación. Una de las desventajas, si nos conectamos a través de la red Ethernet es que se debe realizar la conexión a través de cables, esto es algo que suele incomodar a muchas personas, sobre todo porque no quieren dañar la estética de su hogar u oficina con cables en sus paredes. En vista de lo anteriormente descrito queda claro que hay deficiencias con los dos medios utilizados.

La implementación de la tecnología PLC en el laboratorio no sólo se presenta en base a las deficiencias o desventajas con las que cuentan tecnologías como la red ethernet o WiFi. Esta idea se presenta también como método de innovación, ya que la carrera de electrónica es parte de una facultad llena de ideas innovadoras y futurísticas.

Esta tecnología promete alcanzar velocidades que están dentro de los intervalos de banda ancha. Ofreciendo una red libre de cableados y que permita conectar diferentes equipos informáticos a través de una red inalámbrica de banda ancha.

## 2.3 Preguntas de Investigación

1. ¿Cuál es el equipo necesario para el funcionamiento de esta tecnología?
2. ¿Cuáles son los esquemas de instalación?
3. ¿Cuáles son las recomendaciones necesarias para la implementación de PLC en una red LAN?
4. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de utilizar este medio de transmisión de datos?
5. ¿Cuáles son las diferencias más significativas de esta tecnología al compararla con las más utilizadas en la actualidad?

## 2.4 Hipótesis

Hipótesis causales multivariadas:

1. “La aplicación de la tecnología Power line Communications, permitirá ampliar la cobertura de las redes de telecomunicaciones, específicamente a sectores rurales, permitiendo un aumento de servicios de telefonía fija e Internet. “
2. “PLC utiliza las redes de energía eléctrica como medio para dar acceso a Internet, por lo tanto, la cobertura entregada por la red de energía eléctrica será directamente proporcional a la cobertura que entregue la tecnología power line communications.”

Tabla 2.4.1 Conceptualización y Operatividad de las variables de Hipótesis.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones
<b>Tecnología Power line Communications</b>	También conocido por sus siglas PLC, es un término inglés que puede traducirse por comunicaciones mediante línea de potencia y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de transmisión de energía eléctrica convencionales para transmitir señales con propósitos de comunicación. (Serna, redeweb, 2011)	La tecnología PLC aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de <b>alta velocidad</b> de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a Internet mediante banda ancha.	Por modulación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)</li> <li>• DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)</li> <li>• OFDM</li> </ul>
<b>La cobertura de las redes de telecomunicaciones</b>	En telecomunicaciones, el término cobertura se refiere al área geográfica en la que se dispone de un servicio.	Suele aplicarse a comunicaciones radioeléctricas, pero también puede emplearse en servicios de cable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Local Area Networks (LAN) o red de área local.</li> <li>• Wide Area Networks (WAN) o red de área amplia.</li> </ul>
<b>Servicios de telefonía fija e Internet</b>	Un servicio de telecomunicación es una prestación o utilidad que un proveedor de servicios establece a través de un sistema de telecomunicación para satisfacer una necesidad específica del cliente.	Un servicio de telefonía, es entregado por empresas concesionarias, a través de las cuales usted puede contactarse con cualquier otro equipo telefónico, ya sea fijo o móvil, independiente del lugar a donde quiera llamar. El Internet es un servicio de conexión que puede realizarse mediante un cable coaxial o una fibra óptica y que sirve para transmitir datos, información, video y hasta voz en tiempo real.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios de telefonía</li> <li>• Servicios de transmisión de datos</li> </ul>

<b>Las redes de energía eléctrica</b>	Una red eléctrica es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores.	Estas redes trabajan con un sistema de distribución de energía eléctrica el cuál es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor o contador del cliente).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes de distribución</li> <li>• Red Primaria</li> <li>• Red Secundaria</li> </ul>
<b>La demanda de mercado de banda ancha</b>	La demanda de mercado se puede definir como la cantidad de bienes y servicios requeridos por un grupo de personas en un mercado determinado, en el cual influyen los intereses, las necesidades y las tendencias. En telecomunicaciones, se conoce como banda ancha a cualquier tipo de red con elevada capacidad para transportar información que incide en la velocidad de transmisión de esta. (Enciclopedia Económica, 2018)	Los servicios de banda ancha móvil están atravesando una fase de crecimiento espectacular que provoca un enorme incremento del tráfico de datos. Esta creciente oleada de tráfico está siendo impulsada por el incremento en el número de suscriptores móviles, y en particular de usuarios de smartphones, que se conectan a redes de mayor velocidad y consumen contenidos que necesitan un mayor ancho de banda, como los vídeos. (Spectrum4All, 2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 56 kbit/s</li> <li>• 11 Mbit/s</li> <li>• 43.232 Mbit/s</li> <li>• 54 Mbit/s</li> <li>• 100 Mbit/s</li> </ul>

## 2.5 Justificación

Esta investigación tiene como objetivo el estudio de la tecnología PLC. Una tecnología que hasta el momento ha pasado desapercibida en nuestro país, buscar en Google implementación de power line communications en Honduras es un tema que todavía carece de información. En Europa este tipo de tecnología ha sido implementada en muchas fábricas y empresas de alto

impacto en el mercado. Siendo esta una promesa futurística con la cual se podrán mejorar temáticas como redes inteligentes, domótica, el internet de las cosas, etc.

La investigación tratará de esclarecer como utilizar la red eléctrica para la transmisión de información ya que durante años se ha investigado para dar con la tecnología apropiada que permita transmitir información a través de la red eléctrica. No olvidemos que la red eléctrica tiene una capilaridad aún mayor que la red telefónica y sobre todo en zonas rurales está más extendida. Esta tecnología recibe el nombre de PLC y aunque está en sus inicios, de tener éxito las experiencias piloto que se están realizando, podría ser una revolución en el mundo de las redes de acceso. Cambiando el mapa de los operadores alternativos y dando un gran protagonismo a las empresas eléctricas.

A nivel de LAN la implementación de estos modem PLC nos ofrecen múltiples ventajas a excelentes precios, mencionando también que Unitec y Ceutec son universidades que se caracterizan por ir siempre a la vanguardia con la tecnología así que, que mejor idea que implementar una nueva tecnología como medio de transmisión de datos a altas velocidades.

## **CAPÍTULO III: OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo General**

- Desarrollar un estudio del funcionamiento de la nueva tecnología Power Line Communications y diseñar la estructura LAN del PLC en el laboratorio de la facultad de electrónica de Ceutec.

### **3.2 Objetivo Específico**

- Analizar el funcionamiento bajo el que esta tecnología opera.
- Demostrar por medio del análisis y del estudio la factibilidad de implementación de este proyecto en el laboratorio de electrónica de Ceutec.
- Comparar la eficiencia de esta tecnología con las que ya están siendo utilizadas actualmente en el centro de estudio.

## CAPÍTULO IV: MARCO TEÓRICO

### 4.1 Conceptualización de redes eléctricas y tecnología PLC

#### 4.1.1 La tecnología PLC y la red eléctrica

Las redes eléctricas, se componen por las siguientes infraestructuras, las de generación, de transporte y de distribución, la figura 4.1 muestra las etapas antes mencionadas.

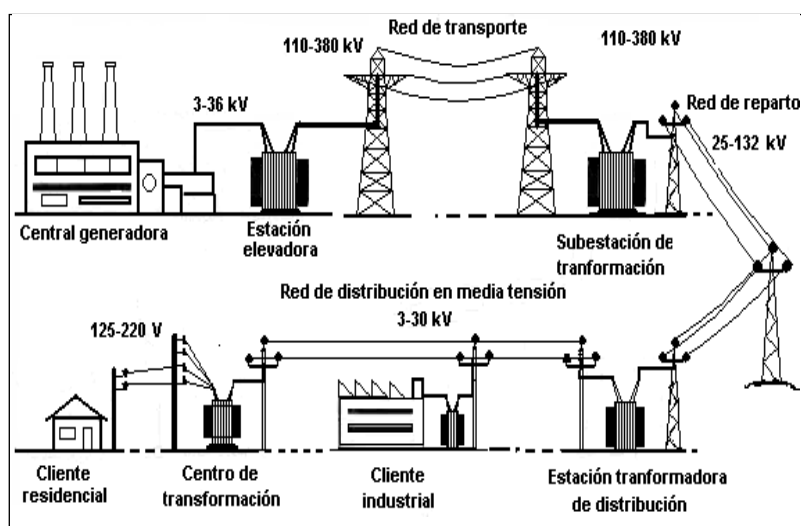


Figura 4.1 Esquema de una red eléctrica general Fuente: biblioteca digital. (2008)

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. (ALMEIDA, 2006)

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. (Vite, 2013).

En la figura 4.2, 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 un subdistribuidor eléctrico hasta el último kilómetro, o mejor dicho hasta el usuario o cliente.

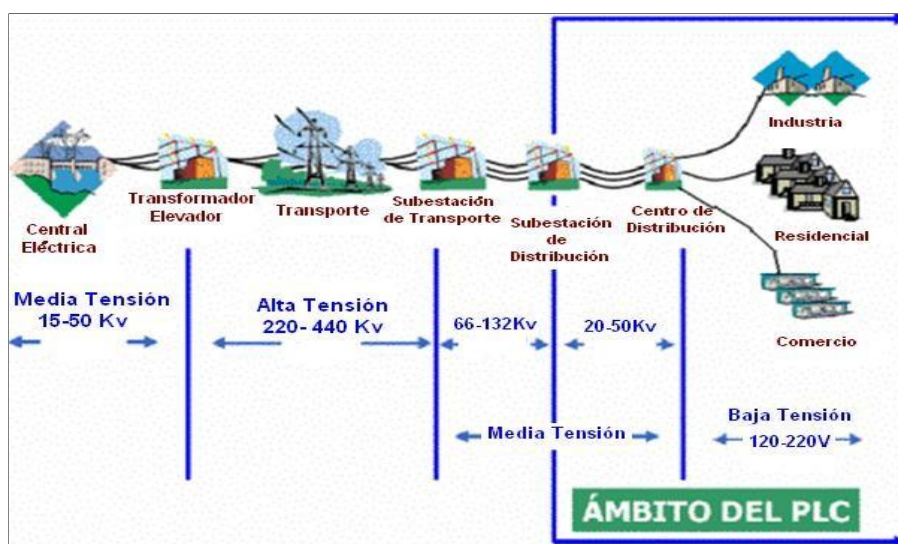


Figura 4.2 Etapas de la tecnología PLC

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. (Montoya Tomala, 2017)

#### 4.1.2 Fundamentos de la tecnología 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. (Vite, 2013).

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.

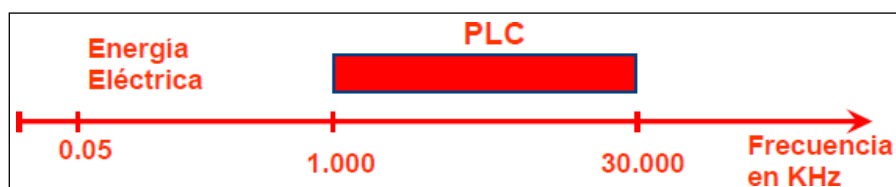
Es una tecnología de bajo costo, pues PLC permite que las aplicaciones ubicuas para los mercados residenciales y comerciales. Además, PLC abre un nuevo mundo de oportunidades de negocio para los fabricantes de electrodomésticos y aparatos eléctricos, servicios públicos y otros proveedores de servicios, 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. (Montoya Tomala, 2017)

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 (50Hz - 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 4.3, se muestra el rango de frecuencias que utiliza PLC o BPL en las redes eléctricas.



*Figura 4.3 Rango de frecuencias de PLC en redes eléctricas*

#### 4.1.2.1 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 (Álvarez, García, González, González, Rodríguez, & Gutiérrez) 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 gaussiano<sup>2</sup>), consiguiendo por lo tanto reducir los requerimientos de ancho de banda. (Vite, 2013).

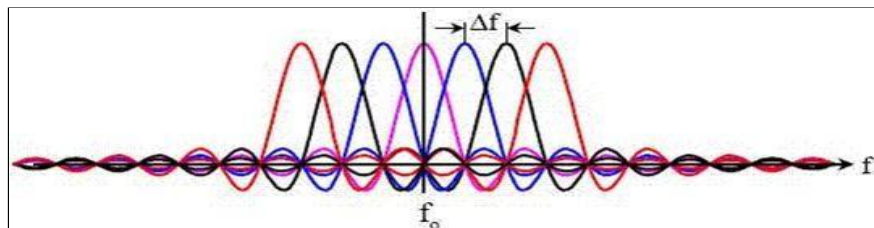
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): La modulación de secuencia directa por espectro ensanchado, es usado con una única portadora es capaz de proveer una tasa de datos de hasta 1 Mbps, aquí la información es transmitida en una secuencia de tren de bits.
- OFDM: Es la técnica de modulación digital, 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 utilizando para transportar las señales de alta frecuencia (voz, video o datos). (Vite, 2013).

#### *4.1.2.2 La modulación OFDM en tecnología 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). (Montoya Tomala, 2017)

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.



*Figura 4.4 Modelo de 6 sub portadoras bajo OFDM*

Según los autores (Junstrand, Passaret, & Vásquez, 2005) comentan que, esta 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 multi-trayecto, 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, multi-trayecto. (Montoya Tomala, 2017)

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. (ALMEIDA, 2006)

Los autores (Pastor, Capmany, & Ramos, 2007) comentan que, este 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 4.5.

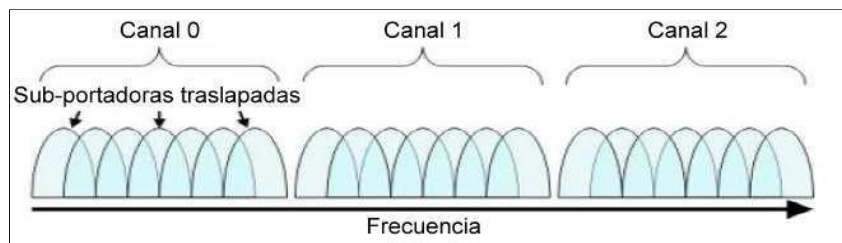


Figura 4.5 Las Subportadoras en OFDM

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 subportadora. (Vite, 2013).

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.

Sistema o Estándar	Número de portadoras	Frecuencia Mhz	$V_{TX}$ (Mbps)
HOMEPLUG	8	4.5-21	Máxima =14
	4		Efectiva =6-7

<b>DS2</b>	1280→768 ascendente 512 descendente  Con 0,2,4,6 u 8 bits de información por portadora	Hasta 30	45 y 200
------------	---	----------	----------

*Tabla 4.1 Número de portadoras para el sistema PLC*

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). (Vite, 2013).

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. (ALMEIDA, 2006)

#### 4.1.2.3 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.
- 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.

## **4.2 Capas del modelo OSI en que opera PLC**

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. . (ALMEIDA, 2006)

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 las 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. (ALMEIDA, 2006)

#### 4.2.1 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. (Revista Electro Industria, 2018)

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).

#### 4.2.2 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:

**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).

**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.

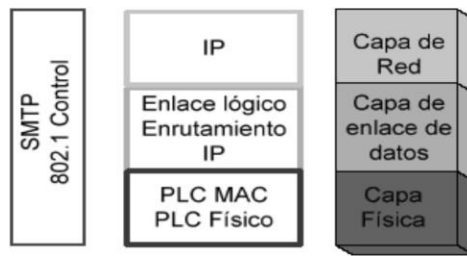


Figura 4.6 Pila de protocolos de la tecnología PLC.

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 4.7, se muestra que fragmento de protocolo se utiliza en cada capa del modelo OSI.

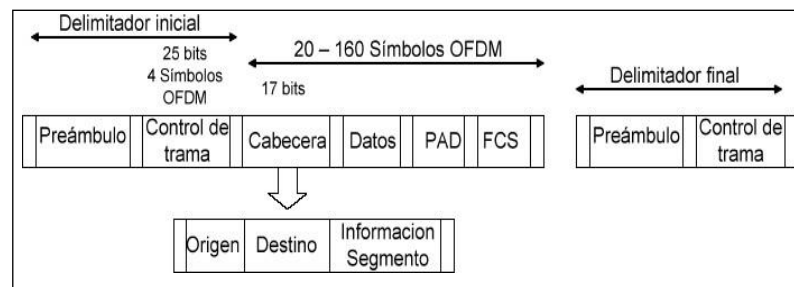


Figura 4.7 Trama en PLC.

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 reensamblado 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.

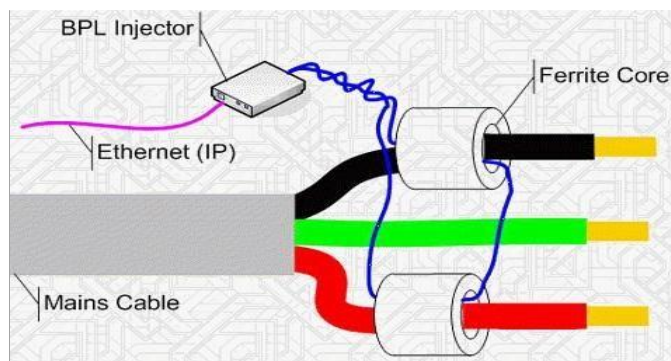
### **4.3 Arquitectura de la red PLC**

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 olazo local del abonado (hogares o empresas) ver figura 4.8.



inducción utilizando núcleos de ferrita, por ello el nombre de acoplamiento inductivo y puede ser realizado sin la conmutación de potencia, ver figura 4.9.



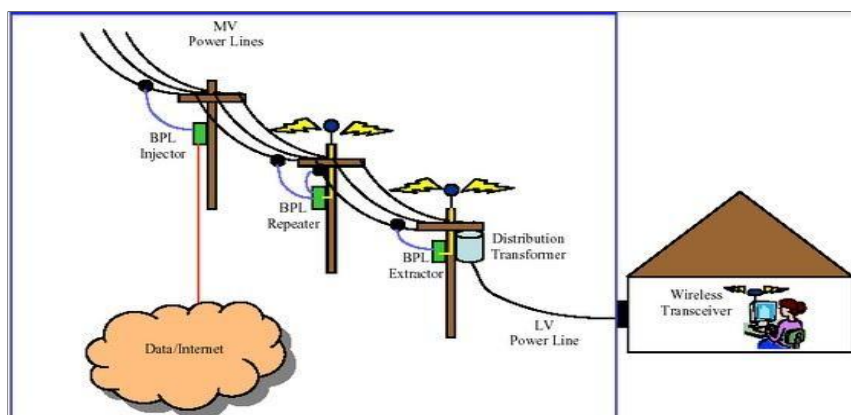
*Figura 4.9 Técnica de inyección internet a PLC-acoplamiento inductivo*

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. (Vite, 2013)

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.

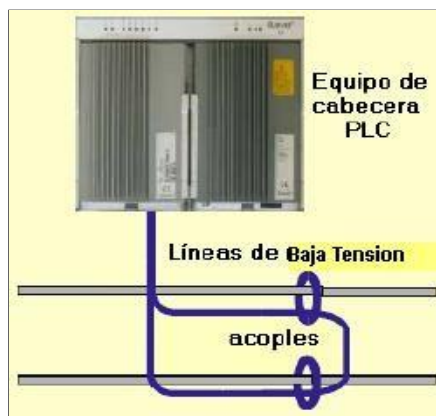


*Figura 4.10 Los repetidores en la red de acceso PLC Fuente:*

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.

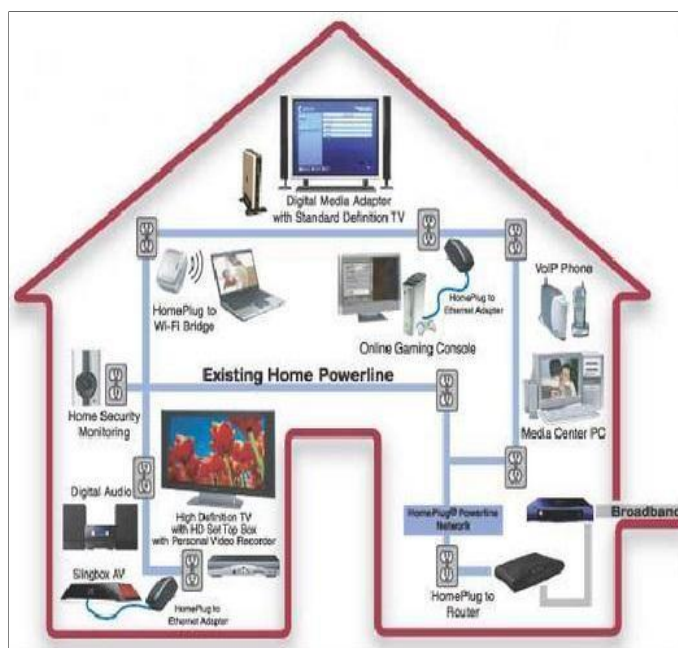
Este equipo sirve para generar la señal que llegue a toda la red de baja tensión. Este equipo, normalmente se instala en los puntos donde es necesario reforzar la señal, pudiendo atender hasta 250 módems aproximadamente. (Rodríguez, 2013)

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 4.11 Esquema de conexión de Cabecera PLC*

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.



*Figura 4.12 PLC in house*

(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. (Vite, 2013)



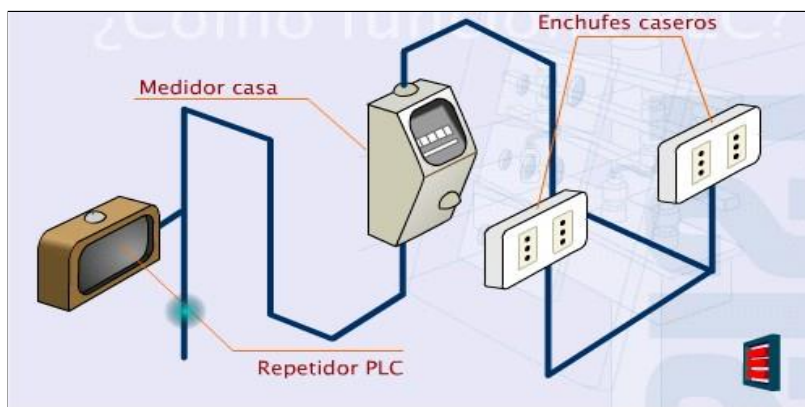
Figura 4.13 Electromoden marca Netgear de 200 Mbps.

Algunos países, entre ellos España, están siendo escenario de proyectos piloto 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). (Rodríguez, 2013)

(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.

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 electromodem (recomendable).



La figura 4.15 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.

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. (Rodríguez, 2013)

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 supuesto 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.

#### 4.3.1 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. (Vite, 2013)

#### 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. (Vite, 2013)

## 4.4 Aplicaciones de la tecnología PLC

Existen 4 tipos de aplicaciones principales:

#### 4.4.1. 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. (Vite, 2013)

#### 4.4.2. 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. (Vite, 2013)

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

#### 4.4.3 Aplicaciones en banda ancha

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 empresas 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 (Rodriguez, 2013)

#### 4.4. Aplicaciones de transmisión de información a través de la red eléctrica domiciliaria

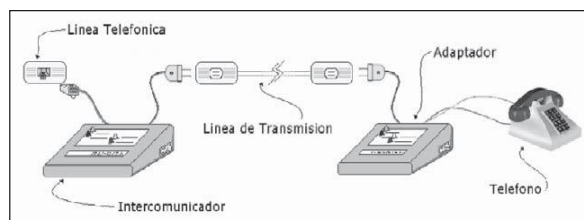
Internet en alta tensión. Fue un proyecto desarrollado por estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia (Malaver y Moreno, 2001), vinculados al grupo de investigación en teleinformática GITUM. El acceso a Internet mediante la red AC consiste en construir una Intranet con los usuarios que se encuentran del otro lado del transformador de distribución, reutilizando la red de tendido eléctrico domiciliario. Esta idea es aplicada en países de Europa, logrando velocidades de 1,6 a 30 Mbps.

Proyecto PLC. ENDESA, a través de su filial especializada en nuevas tecnologías, Endesa Net Factory, ha puesto en marcha el proyecto PLC, para impulsar el desarrollo de esta tecnología y de sus aplicaciones. Inicialmente realizó dos pruebas piloto en Barcelona y Sevilla transmitiendo a 50 familias y negocios servicios de telefonía y acceso a Internet banda ancha con resultados satisfactorios. En el 2002 validó el funcionamiento y la viabilidad tecnológica en entornos reales a gran escala en la ciudad de Zaragoza. Actualmente ENDESA lleva a cabo pruebas piloto de transmisión de voz y datos por la red AC en Chile y México.

Monitoreo de alarmas. Consiste en la transmisión de datos sobre la red eléctrica domiciliaria; a cada dispositivo conectado a la red tipo bus se le asigna una dirección IP, como si fuera una red ethernet; los datos se modulan en ASK y la transmisión se controla mediante un microcontrolador.

Power Line Communications: PLC. Algunas compañías electrificadoras utilizan la tecnología PLC para recoger datos de consumo y facturación, con la desventaja de la baja velocidad (60 bps) y la unidireccionalidad de la transmisión (hacia la compañía); sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías y dispositivos ha permitido la transmisión de información a tasas de 2, 5, 10 y 100 Mbps, permitiendo la transmisión de multimedia y la implementación de redes privadas virtuales: VPN.

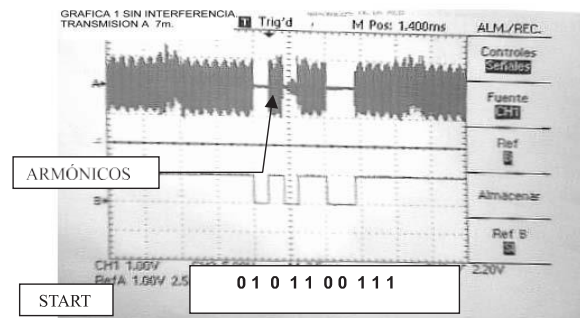
Interconexión de los sistemas telefónico y eléctrico. La aplicación consiste en tomar las señales telefónicas que llegan a una vivienda y retransmitirlas a través de la red eléctrica de la misma, dándole la facilidad de ubicuidad al usuario: utilizar el teléfono en cualquier sitio de la vivienda en donde se encuentre una toma eléctrica.



*Figura 4.4.1 Diagrama de conexiones de la línea telefónica con la red eléctrica.*

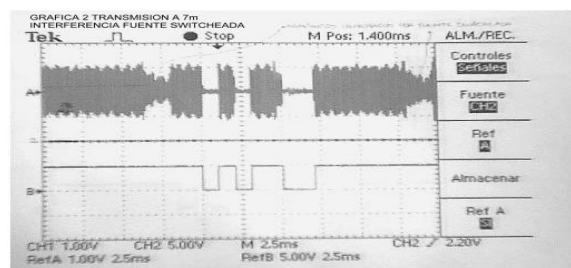
Sistema domótico de altas prestaciones y baja inversión. En el área de comunicaciones del programa de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito se realizan estudios teóricos y experimentales sobre aspectos técnicos de instalación y

configuración de aplicaciones domóticas escalables, flexibles y seguras que ofrezcan un amplio abanico de funciones. Una experiencia desarrollada en laboratorio fue el análisis y modelamiento del ruido en la infraestructura eléctrica de los laboratorios del edificio G de la Universidad citada; en la Figura se observa la transmisión de un byte de información por la red AC sin presencia de cargas.



*Figura 4.4.2. Transmisión de un byte de información por la red eléctrica del laboratorio del edificio G sin presencia de cargas*

Posteriormente se transmitió el mismo byte de información en presencia de varias cargas: motor universal de un taladro eléctrico (carga no síncrona con la frecuencia de la red AC), fuentes de computadores, licuadoras, rectificadores trifásicos y otros transmisores.



*Figura 4.4.3. Interferencias por fuente switchada del computador*

## 4.5 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.

### 4.5.1 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 detelecomunicaciones (WAN, Internet, etc.) o al proveedor de servicios deInternet (ISP), por lo que es el interfaz entre la red de datos y la red eléctrica. (Rodriguez, 2013)

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



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.
- 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.

#### 4.5.2 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.

#### 4.5.3 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. (Revista Electro Industria, 2018)

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. (Revista Electro Industria, 2018)

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 bajo 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.

#### 4.6 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. (Ahola, 2003)

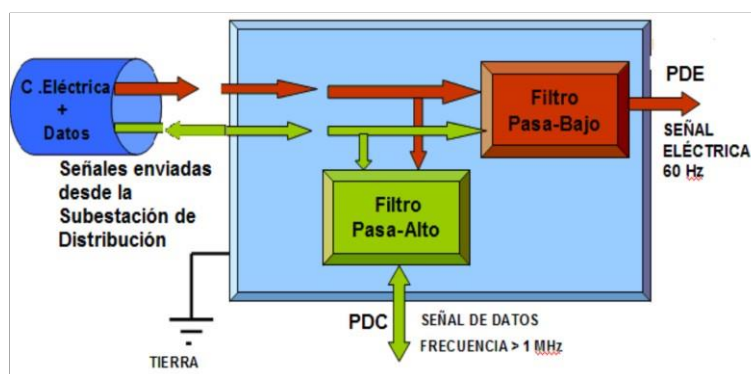


Figura 4.17 Tipos de filtros instalados en los equipos PLC.

##### 4.6.1 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. (Ahola, 2003)

Según los autores (Buelvas, 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 4.18, 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://plcencuador.blogspot.com/p/disenio-de-topologia\\_19.html](http://plcencuador.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.

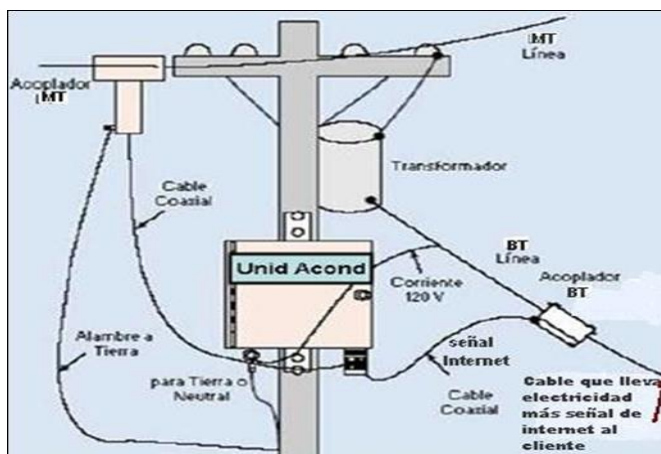


Figura 4.19 Bypass en el transformador eléctrico

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.

#### 4.6.2 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 o 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. (Revista Electro Industria, 2018)



*Figura 4.20 Unidad de acoplamiento capacitivo BT*

a) 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. (Escobar, 2009)

La figura 4.19, muestra los acoplamientos inductivos y las capacitivas cuando se inyectan entre fase y tierra y fase-fase.



*Figura 4.21 Unidad de acoplamiento inductivo BT y modos de inserción Fuente:*

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. (Escobar, 2009)

## **4.7 Estudio de casos de tecnología PLC /BPL**

Se detalla estudio de casos de configuración en subdistribuidores 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. (Escobar, 2009)

#### 4.7.1 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. (Javier Álvarez Valle, 2008)

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.

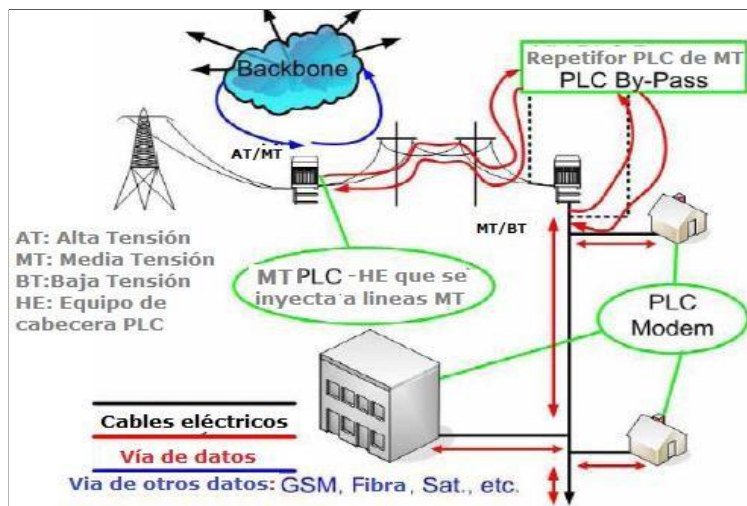


Figura 4.22 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.

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.

#### 4.8 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.

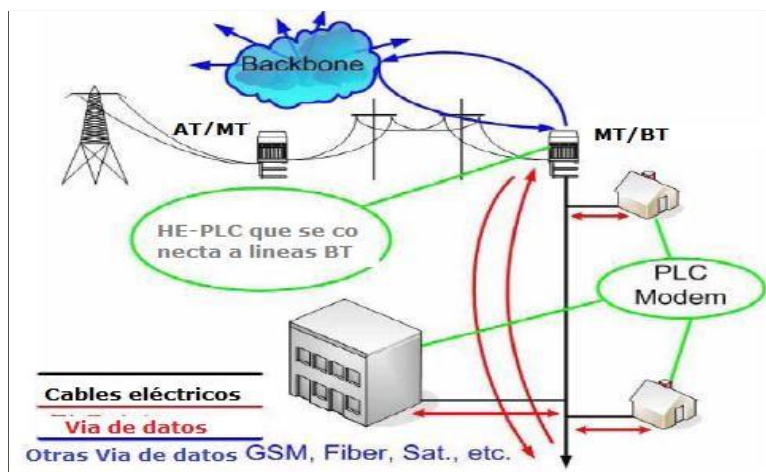


Figura 4.24 Instalación de PLC en la red BT

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. (Javier Álvarez Valle, 2008)

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.

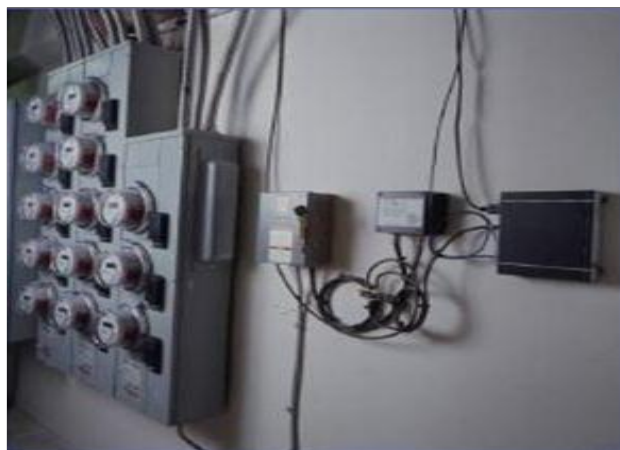
Por ello se buscan tecnologías que puedan ser utilizadas tanto en media como en baja tensión (como las distancias en medio voltaje son mayores que en baja, se requerirán repetidores). (Javier Álvarez Valle, 2008)

#### **4.9 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 Iberdrola<sup>4</sup>) de la tecnología PLC, se han realizado las siguientes fases:

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.

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.



*Fig. 4.25. Esquema instalación de una red PLC*

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 todos los puntos de la casa

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.

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.

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

## 4.10 Ventajas de la tecnología PLC

- Ampliación de mercado de banda ancha.
- Utilización de infraestructura eléctrica existente.
- Ampliación de productos y servicios a través de PLC.
- Innovación al momento de implementar tecnología de punta por una empresa.
- Creación de conexiones cerradas y seguras entre el ISP y los usuarios.
- Optimización del uso de la infraestructura de fibra óptica.
- Creación de redes PLC con mayor cobertura que la red de telefonía.
- Implementación de redes PLC sin requerir desarrollo de obra civil para conseguir que cada toma de corriente sea un potencial nodo de conexión.
  - Transmisión de voz, datos, imágenes y electricidad; todo al mismo tiempo y por un único conductor.
- Simplicidad y economía para el desarrollo del sistema.
- Conexión a Internet con canales dedicados
- Ejecución de aplicaciones multimedia a través de Internet.
- Explotación de telefonía IP.
- Creación y desarrollo de servicios de tele vigilancia y seguridad.
- Acciones como encender un electrodoméstico, luces, televisión, todo a distancia, será posible con la integración de Internet y artefactos inteligentes operados a través de software altamente especializado y muy amistoso.
  - Integración de servicios. Los servicios técnicos de fabricantes de electrodomésticos, podrán conocer las averías y presupuestar las reparaciones, sin tener que desplazarse hasta el domicilio.
- Economía en la instalación de redes de telefonía y redes de computadores.
- Creación de redes virtuales para transmitir voz y datos al interior de la organización.
- Habilitación de trabajo en grupo.

- Implementación de vídeo conferencia, entre clientes y empresa.
- Rapidez y economía en el despliegue de PLC.
- Integración y cobertura a nivel regional.
- Ampliación, cobertura e integración de hogares sin diferenciación de sector geográfico ni social.
- Alternativa válida a las conexiones ADSL
- Cualquier lugar de la casa con un enchufe es suficiente para estar conectado.
- Instalación rápida.

#### **4.11 Desventajas de la tecnología PLC**

El cable eléctrico es una línea metálica recubierta de un aislante. Esto genera a su alrededor unas ondas electromagnéticas que pueden interferir en las frecuencias de otras ondas de radio. Así, existe un problema de radiación, bien por ruido hacía otras señales en la misma banda de frecuencias como de radiación de datos, por lo que será necesario aplicar algoritmos de cifrado. No obstante, la radiación que produce es mínima, la potencia de emisión es de 1mW, muy por debajo de los 2W de telefonía móvil, pero este cumple con todas las normativas a nivel europeo, además de cumplir la estricta normativa alemana.

También existe problema es la estandarización de la tecnología PLC, ya que en el mundo existen alrededor de 40 empresas desarrollando dicha tecnología. Para solventar este problema, la organización internacional PLC Forum intenta conseguir un sistema estándar para lo cual está negociando una especificación para la coexistencia de distintos sistemas PLC.

#### **4.12 Comparativo de PLC vs otras tecnologías de acceso**

La tabla 4.2, muestra algunas características que inciden en el tipo de conexión y marcan algunas diferencias entre tecnologías de acceso a Internet.

Características	Tipo de conexión				
	MODEM	RDSI	ADSL	CABLE	PLC
Tipo de Línea que la soporta	RTB	RTB	RTB	Línea propia fibra óptica	Línea eléctrica
Velocidad de conexión	56 kbps (bajada)	128 kbps	1,5-2 Mbps, 16- 640 Kbps	10-38 Mbps, 128 kbps - 10 Mbps	Puede llegar a 135 Mbps
Calidad	Media	Alta (Digital)	Alta (Digital)	Alta (Óptica)	Alta
Distancia máxima a central	Ninguna	5,8 km (Ampliable)	5,5 km	48,3 km (Ampliable)	No hay Limite. Entre 100 y 300 Metros
implantación de la tecnología	Completa	Completa	Completa confallos continuos	Completa con fallos aislados	En proceso

Tabla 4.2: Comparativo de PLC Vs otras tecnologías de acceso. (Alarcon, 2012)

A continuación, se presenta un gráfico comparativo de las diferentes tecnologías de acceso en España; se tomó este comparativo ya que esta tecnología para Honduras no ha sido implementada.

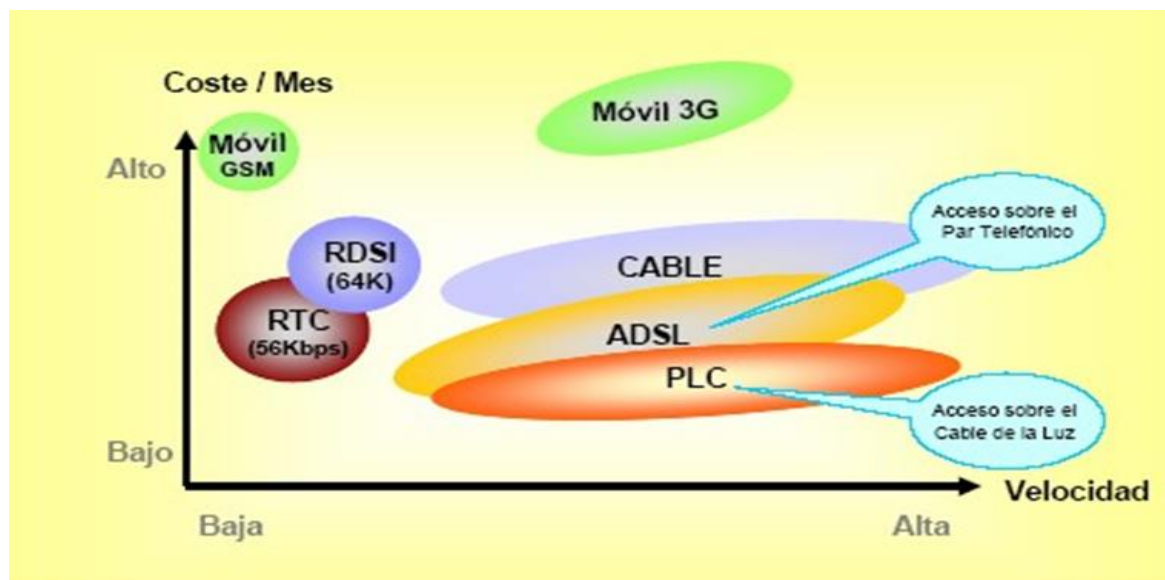


Fig.4.26 Comparativo del Costo Vs Velocidad de acceso otras tecnologías. El coste se calcula para una transferencia de 50 Mbyte al mes

### 4.13 PLC actualmente (2021)

#### *IEEE ComSoc TC-PLC*

Los intereses del Comité Técnico de Comunicaciones por Líneas Eléctricas (TC-PLC) abarcan todas las áreas de comunicaciones a través de líneas eléctricas, por ejemplo, acceso, redes domésticas, aplicaciones en vehículos, aplicaciones de servicios públicos, etc. Las áreas de interés para el Comité Técnico son los aspectos analíticos, teóricos, de simulación, experimentales y prácticos de las comunicaciones digitales a través de líneas eléctricas. El Comité organizará eventos en el área de Power Line Communications, respaldará y organizará conferencias, contribuirá a la organización de eventos técnicos a lo largo de las conferencias insignia de ComSoc y promoverá la realización de números especiales en revistas y revistas de primer nivel. El Comité, en estrecha colaboración con IEEE-SA y otras sociedades IEEE, también promoverá el desarrollo de los estándares IEEE en el área de comunicaciones por líneas eléctricas.

#### Próximos eventos

- Octubre de 2021: Aquisgrán (Alemania). 25° Simposio Internacional IEEE IEEE sobre Comunicaciones por Líneas Eléctricas y sus Aplicaciones (ISPLC) junto con IEEE SmartGridComm . La convocatoria de trabajos se enviará pronto.

- Marzo de 2022 (fecha actualizada): Mannheim (Alemania). 14° Taller de Comunicaciones Powerline (WSPLC).

-30 de noviembre de 2021. 31 de marzo de 2021. Electrónica (factor de impacto: 2.412, JCR Q2 “Ingeniería, electricidad y electrónica”) - Edición especial: Estimación de canales y modulación adaptativa. PLC incluyó entre los temas de interés. Los artículos aceptados se publicarán continuamente en la revista (tan pronto como sean aceptados).

#### Historia corta

- 30 de noviembre de 2004: Inicio del Subcomité Técnico de IEEE Banda ancha sobre líneas eléctricas
- 30 de noviembre de 2005: Actualización a un Comité técnico de IEEE completo
- 27 de marzo de 2006: Políticas y procedimientos adoptados
- 30 de marzo de 2015: Políticas y procedimientos actualizados
- 11 de noviembre de 2016: Carta actualizada (Society, 2021)

ICPLC 2021: 15. Conferencia internacional sobre comunicaciones por líneas eléctricas  
08-09 de noviembre de 2021 en Estambul, Turquía

#### Metas y objetivos de la Conferencia Internacional de Investigación

La Conferencia Internacional de Investigación es una organización federada dedicada a reunir un número significativo de diversos eventos académicos para su presentación dentro del programa de la conferencia. Los eventos se desarrollarán durante un período de tiempo durante la conferencia, dependiendo del número y la duración de las presentaciones. Con su alta calidad, proporciona un valor excepcional para estudiantes, académicos e investigadores de la industria.

La Conferencia Internacional sobre Comunicaciones por Líneas Eléctricas tiene como objetivo reunir a destacados científicos académicos, investigadores y académicos de investigación para intercambiar y compartir sus experiencias y resultados de investigación

sobre todos los aspectos de las Comunicaciones por líneas eléctricas. También proporciona una plataforma interdisciplinaria de primer nivel para que los investigadores, profesionales y educadores presenten y discutan las innovaciones, tendencias y preocupaciones más recientes, así como los desafíos prácticos encontrados y las soluciones adoptadas en los campos de las comunicaciones por líneas eléctricas.

#### Convocatoria de contribuciones

Se anima a los posibles autores a contribuir y ayudar a dar forma a la conferencia mediante la presentación de sus resúmenes de investigación, artículos y carteles electrónicos. Además, las contribuciones de investigación de alta calidad que describen resultados originales e inéditos de trabajos conceptuales, constructivos, empíricos, experimentales o teóricos en todas las áreas de Power-Line Communications están cordialmente invitados a su presentación en la conferencia. La conferencia solicita contribuciones de resúmenes, artículos y carteles electrónicos que abordan temas y temas de la conferencia, incluidas figuras, tablas y referencias de materiales de investigación novedosos. (Academia Mundial de Ciencias, 2021)

## CAPÍTULO V: METODOLOGÍA Y PROCESO

### 5.1 Enfoque y Métodos

La presente investigación está enfocada de manera mixta por la colaboración de las personas dentro del problema; normativo y nomotética ya que se registrará a las metodologías existentes para el estudio del problema, explicativa porque permitirá describir cada una de las soluciones existentes.

Las Modalidad que se aplicaran en la presente investigación son: bibliográfica o documentada, ya que se ha tomado información de libros electrónicos, digitales, tesis, blogs, citas entre otros; Experimental porque se ha considerado la relación de la variable independiente y la relación en la variable dependiente para considerar sus causas y efectos y de campo ya que el investigador recogerá la información primaria directamente de los involucrados a través de encuestas.

Características:

- Se pretende recolectar datos a través del tiempo en puntos o períodos especificados
- Realizar deducciones respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias.
- Estudiar los procesos de cambio que se vinculan con la forma directa con el paso del tiempo.
- Analizar los efectos a largo plazo de un fenómeno.
- Esta investigación permite acumular un número mayor de variables, la cual se puede extender en un área de conocimiento más amplio que la de un estudio transversal.

## 5.2 Población y Muestra

**CALCULO TAMAÑO DE MUESTRA FINITA**

Parametro	Insertar Valor
N	13
Z	1.960
P	50.00%
Q	50.00%
e	3.00%

Tamaño de muestra  
"n" = **12.86**

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

**n** = Tamaño de muestra buscado

**N** = Tamaño de la Población o Universo

**Z** = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

**e** = Erro de estimación máximo aceptado

**p** = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

Nivel de confianza	Z <sub>alfa</sub>
99.7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28
50%	0,674

*Figura 5.1 Calculo de tamaño de muestra*

- La muestra de esta investigación es tipo Probabilístico del tipo aleatorio simple.
- Universo: Estudiantes de la facultad de ingeniería en electrónica de Ceutec.
- Población: 35 estudiantes de la facultad de ingeniería en electrónica de Ceutec.
- Tamaño de muestra: 33 estudiantes de ingeniería en electrónica de Ceutec.
- Un elemento del estudio serían cualquier estudiante de ingeniería electrónica y el procedimiento a utilizar sería muestreo probabilístico- aleatorio.

## 5.3 Unidad de análisis y respuesta

Unidad de análisis: Estudiantes de la facultad de ingeniería en electrónica de Ceutec

Unidad de respuesta: Opinión de los estudiantes acerca del tema investigado y la factibilidad de implementación en las instalaciones de la facultad.

#### **5.4 Técnicas e instrumentos aplicados**

La recopilación de antecedentes se realizará a través de documentos gráficos formales e informales, cualquiera que éstos sean, donde se fundamentará la presente investigación. Los materiales de consulta serán las fuentes bibliográficas y otros medios.

La investigación se realizará directamente en el medio donde se presenta el fenómeno de estudio, para lo cual las herramientas de apoyo para esta investigación serán:

- La encuesta: para realizar la recopilación de opiniones se la hará por medio del instrumento cuestionarios.
- La entrevista: para la recopilación verbal, se utilizará la guía de entrevista.

#### **5.5 Fuentes de información**

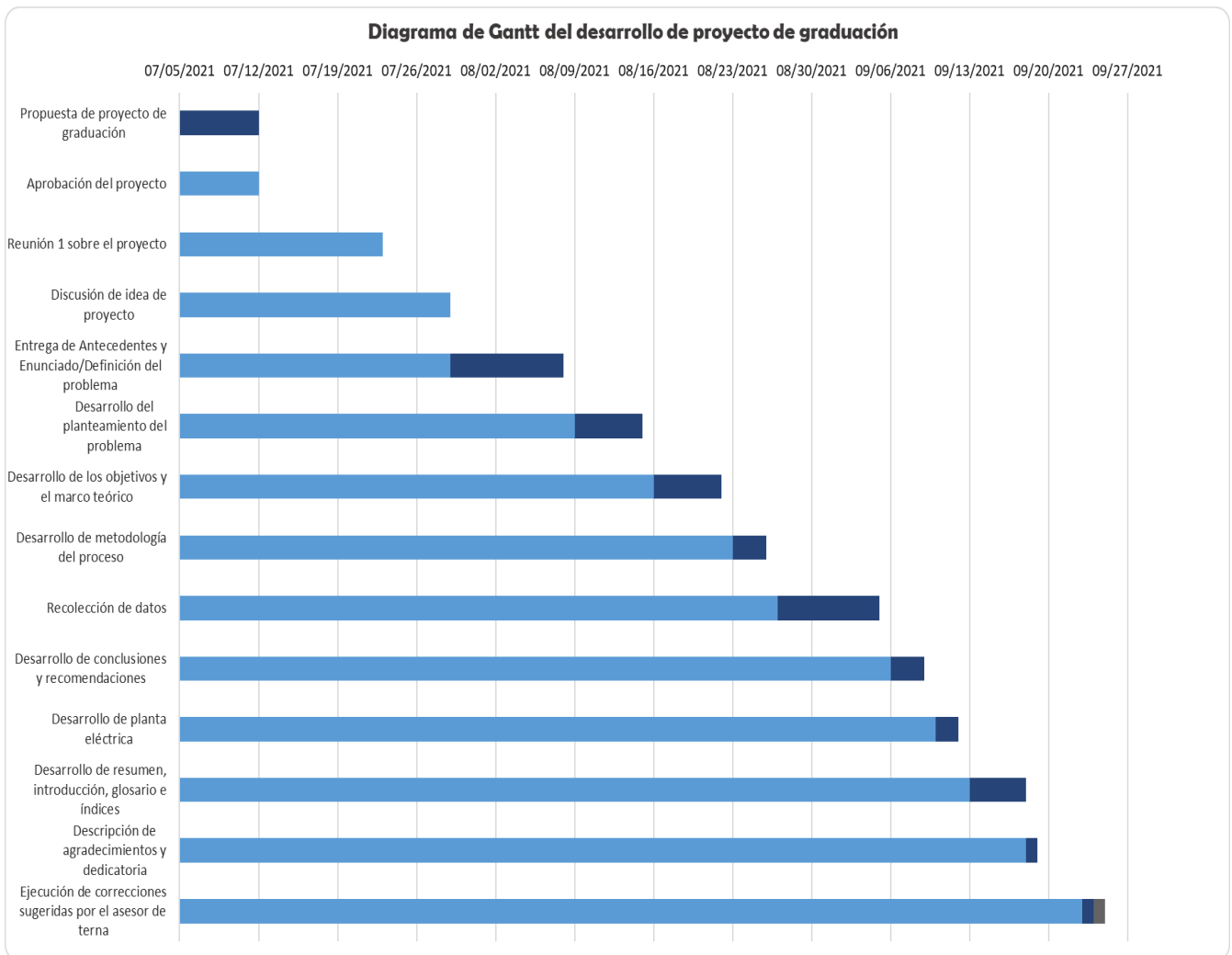
Fuente Primaria: Investigaciones, tesis y revistas de otros investigadores o autores.

Fuente Secundaria: Encuestas, diseños de red eléctrica-PLC.

## 5.6 Cronología del trabajo

#	Nombre de la tarea	Fecha de inicio	Fecha de término	Duración	Días completos	Días restantes	Progreso
1	Propuesta de proyecto de graduación	5/7/2021	12/7/2021	6	6	0	100%
2	Aprobación del proyecto	12/7/2021	12/7/2021	1	1	0	100%
3	Reunión 1 sobre el proyecto	23/7/2021	23/7/2021	1	1	0	100%
4	Discusión de idea de proyecto	29/7/2021	29/7/2021	1	1	0	100%
5	Entrega de Antecedentes y Enunciado/Definición del problema	29/7/2021	8/8/2021	7	7	0	100%
6	Desarrollo del planteamiento del problema	9/8/2021	15/8/2021	5	5	0	100%
7	Desarrollo de los objetivos y el marco teórico	16/8/2021	22/8/2021	5	5	0	100%
8	Desarrollo de metodología del proceso	23/8/2021	26/8/2021	4	4	0	100%
9	Recolección de datos	27/8/2021	5/9/2021	6	6	0	100%
10	Desarrollo de conclusiones y recomendaciones	6/9/2021	9/9/2021	4	4	0	100%
11	Desarrollo de planta eléctrica	10/9/2021	12/9/2021	1	1	0	100%
12	Desarrollo de resumen, introducción, glosario e índices	13/9/2021	18/9/2021	5	5	0	100%
13	Descripción de agradecimientos y dedicatoria	18/9/2021	19/9/2021	0	0	0	100%
14	Ejecución de correcciones sugeridas por el asesor de terna	23/9/2021	25/9/2021	2	1	1	100%

*Tabla 5.6.1 Cronología del proyecto de graduación. (Propia, 2021)*



*Figura 5.6.1 Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto de graduación. (Propia, 2021)*

## CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y ANÁLISIS

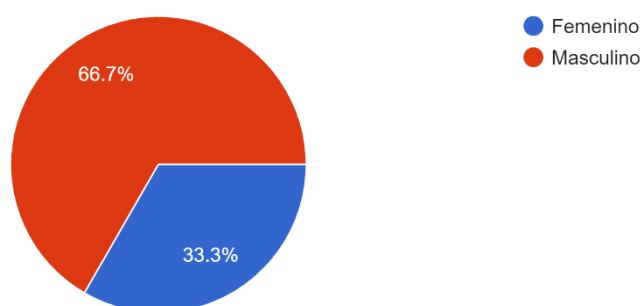
### Análisis de resultados de encuesta aplicada

- Análisis de encuesta PLC

#### *Datos Demográficos*

##### Género

33 respuestas

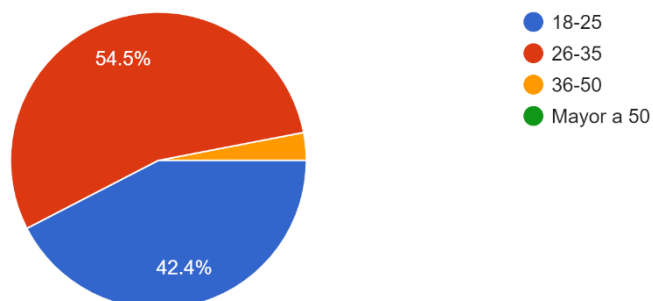


*Figura 6.1 Gráfico de Género*

La mayoría de esta encuesta fue efectuada por el género masculino.

##### Edad

33 respuestas



*Figura 6.2 Gráfico de Edad*

## Datos a Analizar

¿Conoce usted del servicio de Internet banda ancha?

33 respuestas

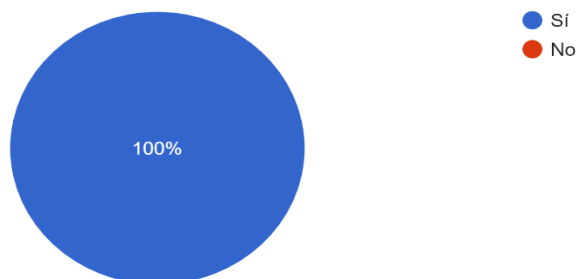


Figura 6.3 Gráfico Pregunta 3 de la encuesta PLC

El 100% de la población a la que se le realizó la encuesta afirma conocer el concepto de internet de banda ancha el cuál se refiere a la transmisión de datos de un amplio ancho de banda a través de una conexión a Internet de alta velocidad.

Al contratar un proveedor de internet, ¿Qué es lo que usted espera?

33 respuestas

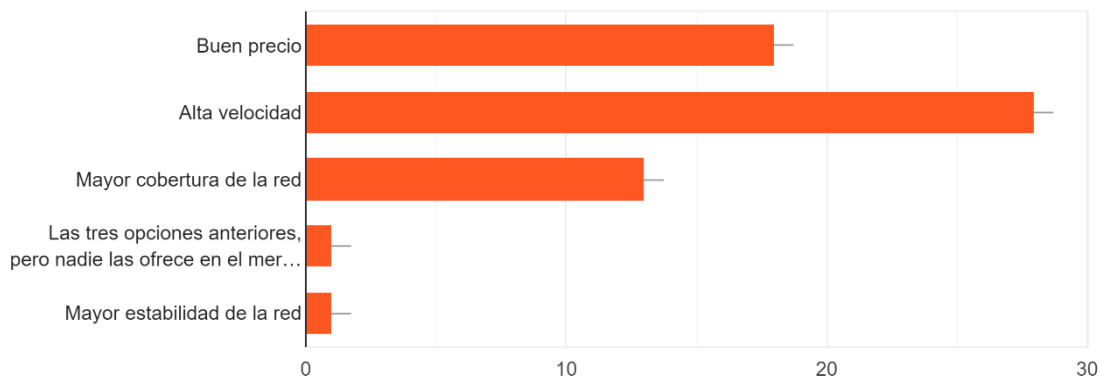


Figura 6.4 Gráfico Pregunta 4 de la encuesta PLC

La población espera altas velocidades, buenos precios y mayor cobertura de red al contratar un proveedor de internet. De acuerdo a lo investigado de las ventajas del PLC podemos mencionar que esta tecnología ofrece rapidez, economía y creación de redes PLC con mayor

cobertura que la red de telefonía, también ofrece ampliación de cobertura e integración de hogares sin diferenciación de sector geográfico ni social por lo tanto al relacionar la hipótesis a comprobar podemos afirmar que “La aplicación de la tecnología Power line Communications, permitirá ampliar la cobertura de las redes de telecomunicaciones, específicamente a sectores rurales, permitiendo un aumento de servicios de telefonía fija e Internet”. Esta hipótesis se acepta en base a las ventajas investigadas sobre esta tecnología.

¿Ha escuchado del servicio de internet por medio de la red eléctrica?  
33 respuestas

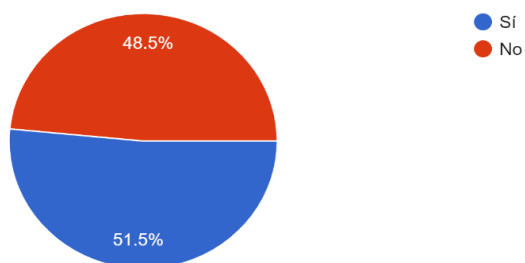


Figura 6.6 Gráfico Pregunta 6 de la encuesta PLC

¿Estaría interesado en adquirir servicios de internet por medio de la red eléctrica?

33 respuestas

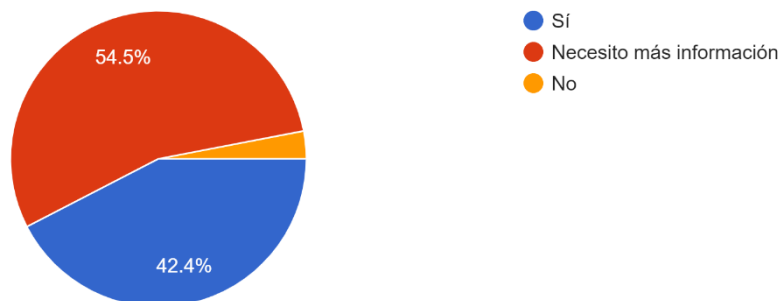


Figura 6.6 Gráfico Pregunta 6 de la encuesta PLC

¿Qué piensa de que se le pudiera brindar el servicio de Internet y energía eléctrica por la misma compañía de distribución eléctrica?

33 respuestas

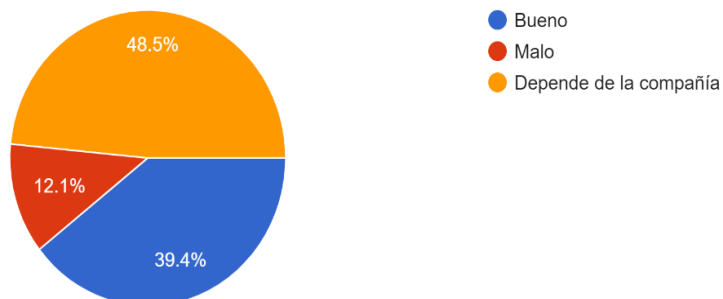


Figura 6.7 Gráfico Pregunta 7 de la encuesta PLC

Si la aplicación de la tecnología Power line Communications, permitiera ampliar la cobertura de las redes de telecomunicaciones, específicamente a sectores rurales, ¿Usted estaría de acuerdo con que la compañía de energía eléctrica implementara este servicio?

33 respuestas

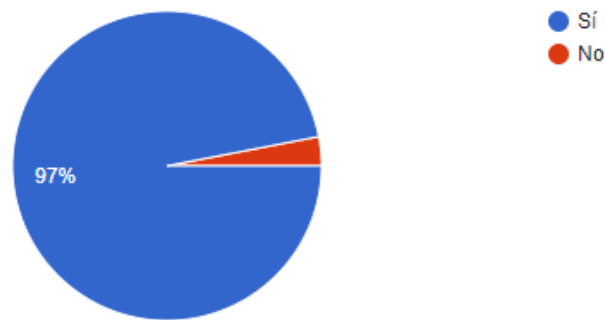


Figura 6.8 Gráfico Pregunta 8 de la encuesta PLC

La población claramente está interesada en que este tipo de tecnología de transmisión de datos sea implementado en el país. Esto no sólo permitiría lograr los objetivos de ampliación de cobertura en cada parte del país si no también crearía nuevas oportunidades de empleo para un gran sector del país.

¿Cómo considera la calidad del internet en las instalaciones de Ceutec?

33 respuestas

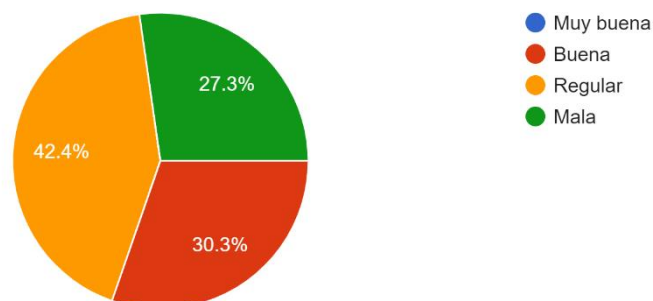
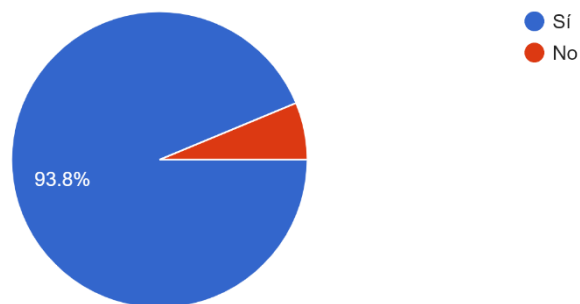


Figura 6.9 Gráfico Pregunta 9 de la encuesta PLC

Estaría de acuerdo con que se implementara la tecnología de transmisión de datos por medio de los toma corrientes como una segunda opción en aulas y laboratorios de la facultad de electrónica?  
32 respuestas



*Figura 6.10 Gráfico Pregunta 10 de la encuesta PLC*

El porcentaje de aceptación para este proyecto es muy positivo y nos indica la factibilidad de implementación desde el punto de vista del sector de estudiantes de la facultad de electrónica de Ceutec. Sería un método alternativo o de prueba para poder navegar con alta velocidad en los ordenadores de nuestros laboratorios.

## 6.2 Análisis del diseño de una red PLC en el laboratorio de la facultad de electrónica de Ceutec

El diseño y construcción de un sistema de comunicación de datos a través de la red eléctrica domiciliaria involucra la electrónica, la electricidad y la informática; la velocidad de los datos está limitada por el ancho de banda del cable bifilar y por las técnicas de codificación y modulación empleadas; las frecuencias de transmisión se seleccionan según la norma CENELEC EN50065-1, la cobertura es local domiciliaria, la inmunidad frente a ruido e interferencias depende de la frecuencia de transmisión y de la utilización de un tipo de transmisión a dos hilos: línea-tierra o línea neutro; en cuanto a costos, el sistema es una alternativa económica y de rápida instalación para la transmisión de datos.

Aspectos técnicos relacionados con la transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliaria

Bandas de frecuencia. Existen comisiones internacionales que reglamentan y regulan la transmisión de señales de información a través de la red eléctrica. CENELEC EN50065- 1 es la norma más precisa sobre el uso de bandas de frecuencia. En la Figura 6.2.1 se muestra la designación de las bandas y sus rangos de frecuencias.

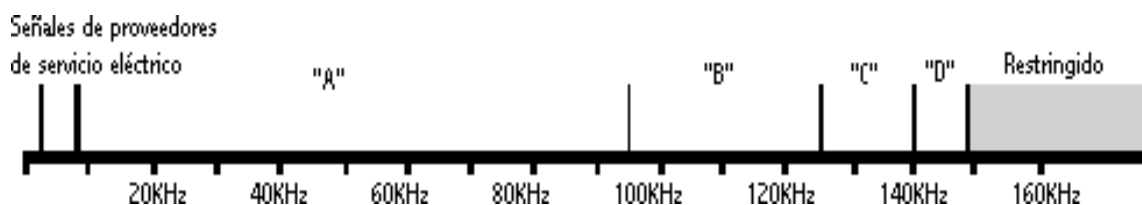


Figura 6.2.1 Designación y rangos de frecuencia para bandas de transmisión, según la norma CENELEC EN50065-1

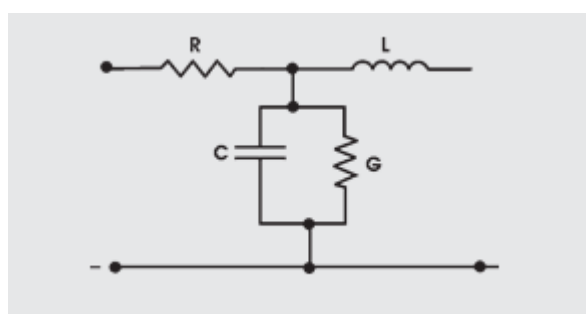
## Modelamiento matemático de un sistema de transmisión de datos a través de la red eléctrica domiciliar

### *Caracterización de la línea de transmisión.*

Las características de una línea de transmisión están determinadas por sus propiedades eléctricas y físicas. En la red eléctrica domiciliar se encuentra una línea de transmisión con las siguientes especificaciones: línea bifilar, conductor de cobre, tamaño nominal del conductor: 12 (calibre 12), diámetro del cobre desnudo: 2,03 mm, conductores recubiertos con caucho<sup>10</sup> y separación entre centros de 1 cm.

Las propiedades eléctricas y físicas de una línea de transmisión determinan las constantes eléctricas primarias y las constantes secundarias.

Constantes eléctricas primarias: se distribuyen uniformemente en toda la línea y son: R (resistencia de corriente directa en serie), L (inductancia en serie), C (capacitancia en paralelo) y G (conductancia en paralelo)



Para el cálculo de las constantes eléctricas primarias, los parámetros  $R$ ,  $L$ ,  $C$  y  $G$  por unidad de longitud, se encuentran a partir de la permitividad-conductividad del dieléctrico y del conductor. Los fabricantes de material aislante establecen que el coeficiente de permitividad

De acuerdo con la afirmación de la hipótesis número 2 que afirma que el “PLC utiliza las redes de energía eléctrica como medio para dar acceso a Internet, por lo tanto, la cobertura entregada por la red de energía eléctrica será directamente proporcional a la cobertura que entregue la tecnología Power line Communications.” De acuerdo a lo investigado podemos decir que esta tecnología al menos a nivel de LAN nos entregará la mejor cobertura en base a los siguientes aspectos:

Las conexiones entre toma corrientes deben pertenecer al mismo circuito.

Es por esto que, se hizo un modelo en AutoCAD de cómo sería la transmisión ideal del PLC si este estuviera bajo un mismo circuito.

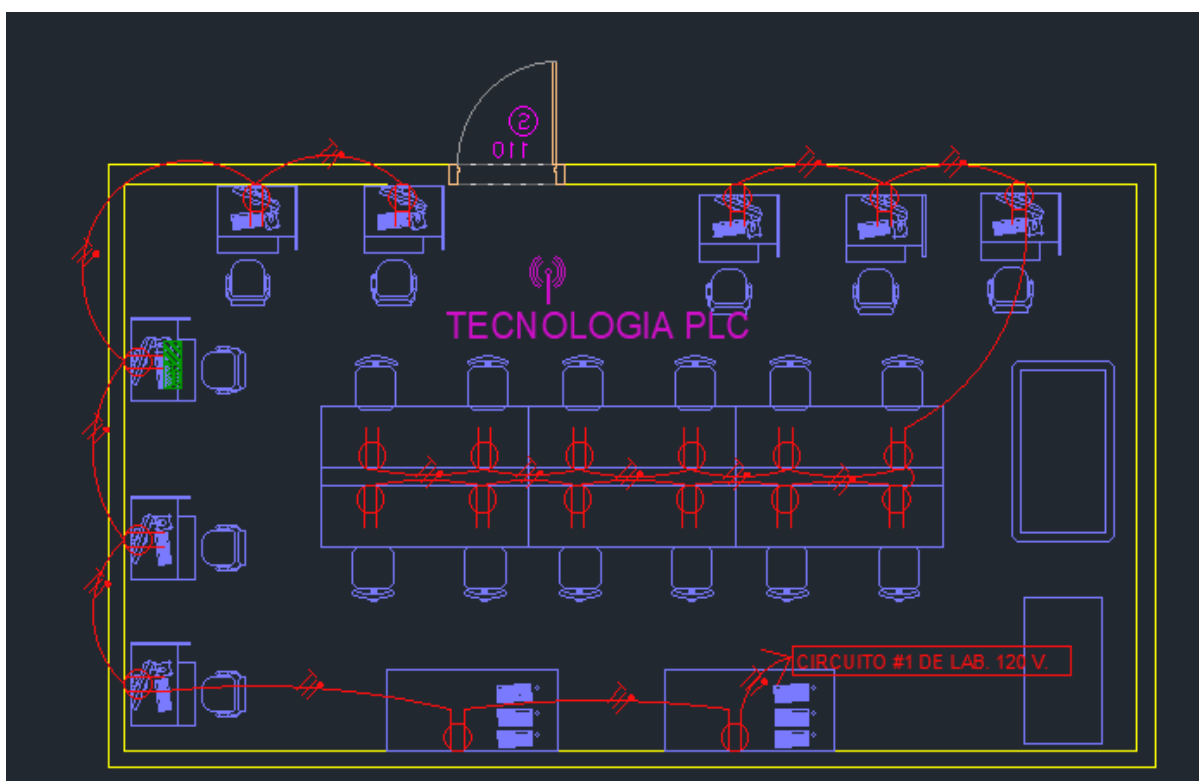


Fig 6.2.2 modelo en AutoCAD

### 6.3 Matriz FODA para la tecnología PLC

A continuación, se construye una tabla que muestra en resumen Debilidades, Oportunidades, fortalezas y Amenazas de la tecnología Powerline Communications.

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio físico ya desplegado</li> <li>• Ubicuidad de la red eléctrica</li> <li>• Posibilidad de crecimiento modular</li> <li>• Sin instalación en casa del usuario</li> <li>• Utilización óptima del ancho de banda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran demanda de acceso en bandaancha</li> <li>• Escasa competencia en las infraestructuras de acceso</li> <li>• Aplicaciones domesticas</li> <li>• Combinación con las otras tecnologías</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasa competencia tecnológica</li> <li>• Producción de equipos todavía limitada.</li> <li>• Limitación en número de usuarios porttransformador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitaciones en el espectro electromagnético según se desarrolle la regulación.</li> <li>• Ausencia de estándares tecnológicos para la Inter operatividad de los equipos</li> </ul>
DEBILIDADES	AMENAZAS

*Tabla 6.1: Matriz DOFA para la Tecnología PLC*

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

PLC se presenta como una atractiva tecnología, al permitir la transmisión de datos por el cableado eléctrico, a tasas que en la actualidad superan los 14 Mbps. Sin embargo, aún persisten problemas de despliegue de esta tecnología, debido principalmente a la falta de estándares y compatibilidad electromagnética con otras tecnologías ya desplegadas. No obstante, el desarrollo alcanzado por los dispositivos PLC Indoor, a través del estándar HomePlug principalmente, le ha dado un nuevo empuje a la tecnología. Convirtiéndose este estándar en la línea a seguir para la formulación de un estándar único para PLC.

A nivel de LAN, PLC funciona en parejas o más. Un transmisor actúa como emisor y otro o el resto como receptor/es. El PLC «emisor» se enchufa en la corriente eléctrica junto al router, conectando el cable ethernet del router al PLC para transmitirle la conexión a Internet. Al enchufar este emisor en la corriente eléctrica, Internet se desplaza por dentro del circuito cerrado de electricidad de la vivienda u oficina. Mientras que el PLC «receptor» lo colocamos en el enchufe de la zona donde queramos ampliar la cobertura red. Este receptor recibe a través de la corriente eléctrica la conexión a Internet con una altísima calidad.

Son muy fáciles de instalar. Plug & Play, es decir, lo enchufa y listo, la estabilidad y calidad de la señal es óptima. Ayuda a descargar la red WiFi que existe en una vivienda u oficina que suelen estar saturadas con varios dispositivos conectados, también funcionan mejor que los repetidores WiFi en viviendas de varias plantas y las redes que se realizan con power line funcionan mejor que las redes WiFi con respecto a la distancia. Tienen una mayor seguridad. Ya que evitan el robo de Internet al ir dentro de tu propio circuito eléctrico, que es completamente independiente al de otra vivienda

La tecnología PLC, utiliza las redes de baja tensión la forma en cómo se desarrollará el proyecto PLC, dependerá exclusivamente si existe disponibilidad técnica en el sector que se desee implementar para realizar un enlace entre el transformador como punto de conexión con los hogares que desean consumir el servicio. Por ello, la cobertura dependerá exclusivamente de la existencia de un canal dedicado de un ancho de banda de 10 Mbps para brindar cobertura con un servicio de 128 Kbps. Es por ello que la cobertura de Internet a través de la tecnología PLC, estará directamente proporcional a la red eléctrica.

Actualmente la tecnología PLC es mayormente utilizada en aplicaciones de audio y video por las velocidades a las que permite llegar, 200 Mbps. Las aplicaciones en comunicación de datos todavía no se encuentran explotadas de la misma manera. 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.

## **CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES**

La utilización de la tecnología PLC para el diseño LAN se recomienda en construcciones con redes eléctricas en buen estado, debido a que, si existen demasiados empalmes o si esta se encuentra en mal estado, se puede tener pérdidas y los cables podrían actuar como antenas causando errores e interferencia.

Solicitar y usar la banda de frecuencias licenciada de 3,5GHz en la capa de distribución, con el fin de separar los canales de comunicación y evitar ruido en los enlaces, provocado por otras antenas o equipos que trabajen en la misma frecuencia.

Revisar a futuro el estado de las líneas eléctricas tanto en la red de acceso como domiciliaria, ya que la corrosión, malos empalmes o extremado número de derivaciones provocando reflexiones, y atenuaciones disminuyendo significativamente la señal de datos transmitida.

Se recomienda verificar que la conexión a tierra del domicilio del usuario se debe medir esta cantidad antes de instalar una red PLC, ya que de no cumplirse traería consecuencias como sacar de operación al usuario conectado.

Existe menos ruido al medir la señal entre la Fases, debido a la falta de neutro como referencia, por lo tanto, se debe conectar o inyectar la señal de datos entre las dos fases para transmitir la señal con mayor calidad en distancias de acceso, para distancias domiciliarias se recomienda inyectar la señal de datos PLC entre fase y neutro.

## CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA

### Referencias

- Academia Mundial de Ciencias, I. y. (2021). Obtenido de <https://waset.org/power-line-communications-conference-in-november-2021-in-istanbul>
- Ahola, J. (29 de agosto de 2003). *LUT University*. Obtenido de <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/31175>
- Alarcon, J. C. (2012). Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0030373.pdf>
- ALMEIDA, W. E. (2006). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0034256.pdf>
- Apaza, V. (2017). *Repositorio UCSP*. Obtenido de [https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15513/2/APAZA\\_MAMANI\\_VIC\\_EST.pdf](https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15513/2/APAZA_MAMANI_VIC_EST.pdf)
- Bayraktar, G. (2020). Obtenido de <https://www.researchgate.net/post/How-to-design-Power-Line-communication-with-line-transceivers>
- Elisa García, M. A. (2005). *aedie*. Obtenido de <http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/358-GARCIA.pdf>
- Enciclopedia Económica. (2018). *Enciclopedia Económica*. Obtenido de <https://enciclopediaeconomica.com/demanda-de-mercado/#:~:text=La%20demanda%20de%20mercado%20se,las%20necesidades%20y%20las%20tendencias.>
- Escobar, C. (2009). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/580>
- Evenchick, E. (abril de 2014). Obtenido de [https://hackaday.com/wp-content/uploads/2014/04/circuit\\_active\\_filter\\_pa1.png](https://hackaday.com/wp-content/uploads/2014/04/circuit_active_filter_pa1.png)
- Insitituto Nacional de Estadísticas. (2020). *Parque Vehicular 2016-2020*. Tegucigalpa: SECRETARÍA DEL DESPACHO PRESIDENCIAL.
- Javier Álvarez Valle, V. G. (2008). *Victorgarcía.org*. Obtenido de <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>
- Majumder, A. (2004). Power line communications. *IEEE potentials*, , 23(4):4–8.
- Montoya Tomala, M. I. (16 de junio de 2017). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/8352>
- Propia, A. (Agosto de 2021).
- Revista Electro Industria. (2018). *Revista Electro Industria*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=392&ni=nuevos-usos-para-la-red-electrica-transmision-de-datos-y-voz#>:

Rodriguez, P. (3 de abril de 2013). *Smart Home*. Obtenido de <https://www.xatakahome.com/la-red-local/redes-plc-i-que-son-y-para-que-sirven>

Serna, V. H. (2011). *redeweb*. Obtenido de [https://www.redeweb.com/\\_txt/676/62.pdf](https://www.redeweb.com/_txt/676/62.pdf)

Serna, V. H. (Marzo de 2011). *Redeweb*. Obtenido de [https://www.redeweb.com/\\_txt/676/62.pdf](https://www.redeweb.com/_txt/676/62.pdf)

Society, I. C. (2021). Obtenido de <https://plc.committees.comsoc.org/>

Spectrum4All. (2015). *Spectrum4All*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2015/06/GSMA-Data-Demand-Explained-June-2015-SPANISH1.pdf>

Vieira, J. R. (septiembre de 2004). *Rediris*. Obtenido de <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/68-69/enfoque4.pdf>

Vite, R. (19 de Diciembre de 2013). *UCSG*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1702/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-11.pdf#page=17&zoom=100,156,261>

## CAPITULO X: ANEXOS

### 10.1 Apéndice A: Instrumentos de medición

#### CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO

Facultad de  
Ingeniería Proyecto  
de Graduación  
“Encuesta”



Estimado estudiante de la carrera de ingeniería en electrónica de Ceutec, se le solicita cordialmente llenar esta encuesta que tiene como objetivo contar analizar previos conocimientos y aceptación a la implementación de esta red en el laboratorio de nuestra facultad. La encuesta le tomará menos de 5 minutos llenarla y sus respuestas son anónimas. Instrucciones:

A continuación, se le presentara una serie de preguntas, por favor seleccione la respuesta que crea más conveniente.

- **Encuesta: Power Line Communications**

1. Género \*
  - Femenino
  - Masculino
2. Edad
  - 18-25
  - 26-35
  - 36-50
  - Mayor a 50
3. ¿Conoce usted del servicio de Internet banda ancha?
  - Sí
  - No
4. Al contratar un proveedor de internet, ¿Qué es lo que usted espera?
  - Buen precio
  - Alta velocidad

- Mayor cobertura de la red
  - Otros:
  -
5. ¿Ha escuchado del servicio de internet por medio de la red eléctrica?
- Sí
  - No
6. ¿Estaría interesado en adquirir servicios de internet por medio de la red eléctrica?
- Sí
  - Necesito más información
  - No
7. ¿Qué piensa de que se le pudiera brindar el servicio de Internet y energía eléctrica por la misma compañía de distribución eléctrica?
- Bueno
  - Malo
  - Depende de la compañía
8. Si la aplicación de la tecnología Power line Communications, permitiera ampliar la cobertura de las redes de telecomunicaciones, específicamente a sectores rurales, ¿Usted estaría de acuerdo con que la compañía de energía eléctrica implementara este servicio?
- Sí
  - No
9. ¿Cómo considera la calidad del internet en las instalaciones de Ceutec?
- Muy buena
  - Buena
  - Regular
  - Mala
10. Estaría de acuerdo con que se implementara la tecnología de transmisión de datos por medio de los toma corrientes como una segunda opción en aulas y laboratorios de la facultad de electrónica?
- Sí
  - No

## 10.2 Apéndice B: Resultados de Simulación

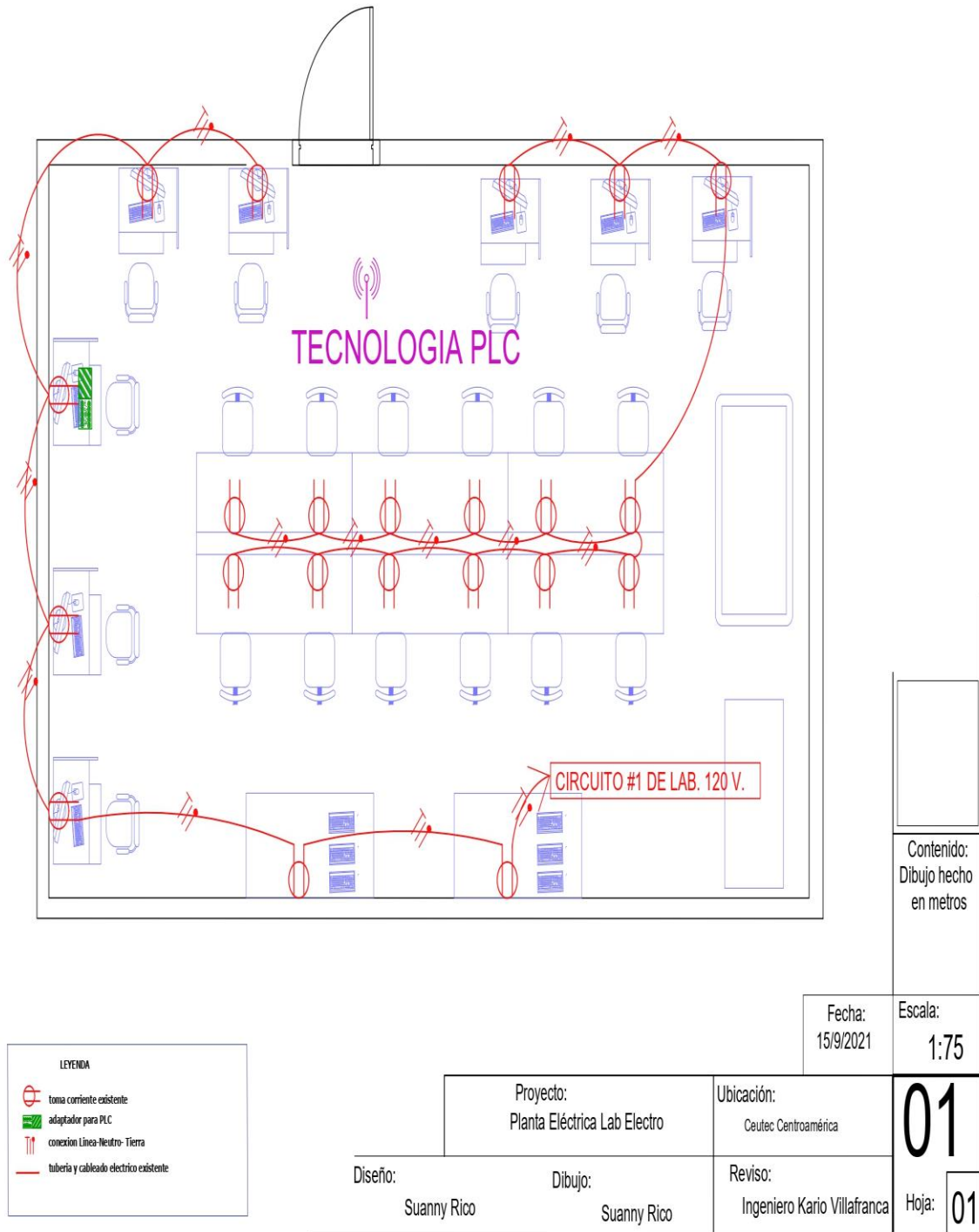


Fig. 10.1 Planta Eléctrica-PLC del laboratorio de electrónica de Ceutec. Plot. (Propia, 2021)

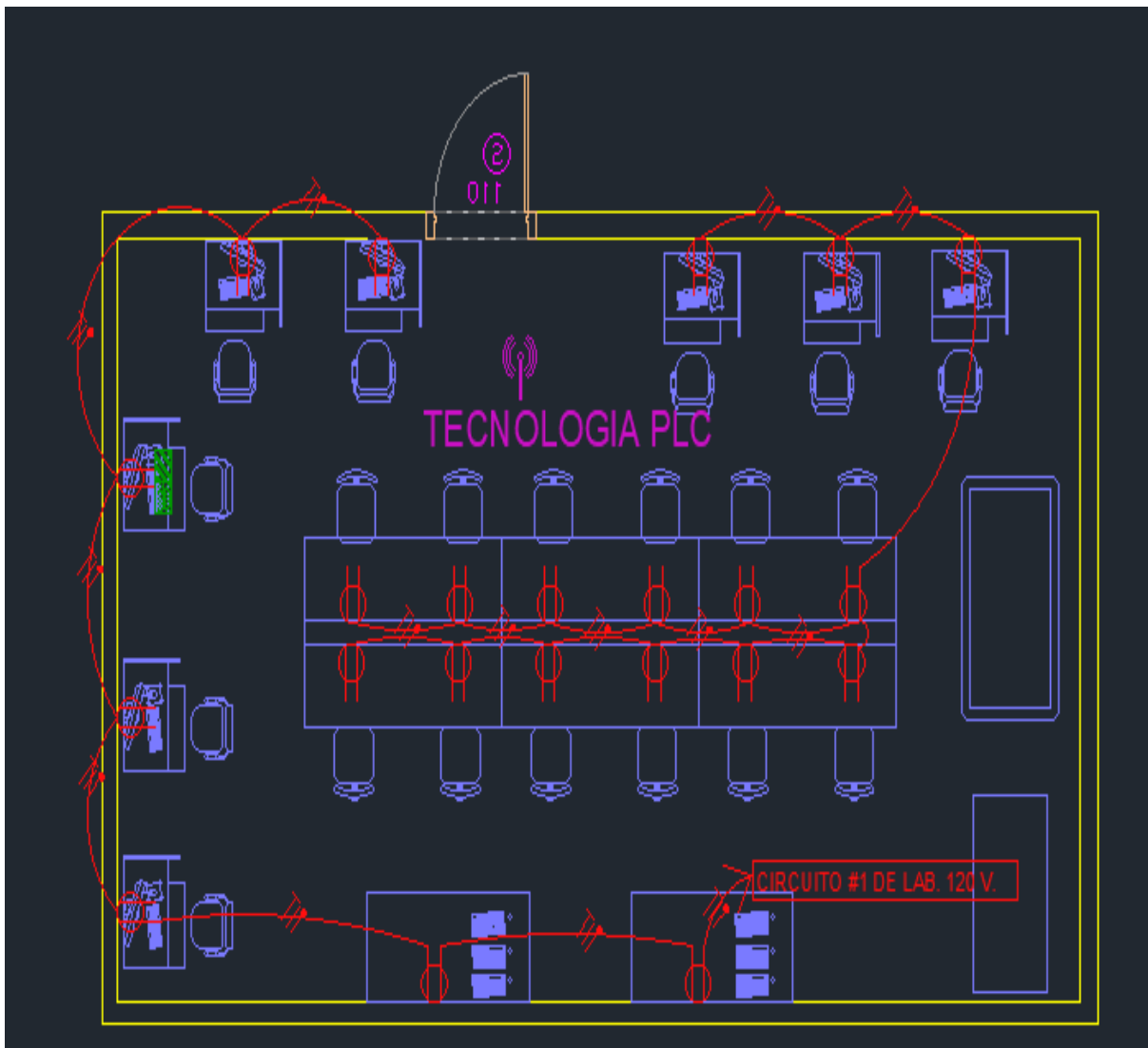


Fig. 10.2 Planta Eléctrica-PLC del laboratorio de electrónica de Ceutec. AutoCAD dwg. (Propia, 2021)

### 10.2.1 Apéndice B: Análisis de mano de obra y costos para la implementación del proyecto

Unidad	Descripción	Costo
1	PLC MIKROTIK	L 1,300.00
1	PLC MIKROTIK	L 1,300.00
1	PLC MIKROTIK	L 1,300.00
	<b>Total</b>	<b>L 3,900.00</b>

Tabla 10.2.1 de Costos de 3 módem PLC

### 10.3 Apéndice C: Ejemplos de diseños de un circuito PLC

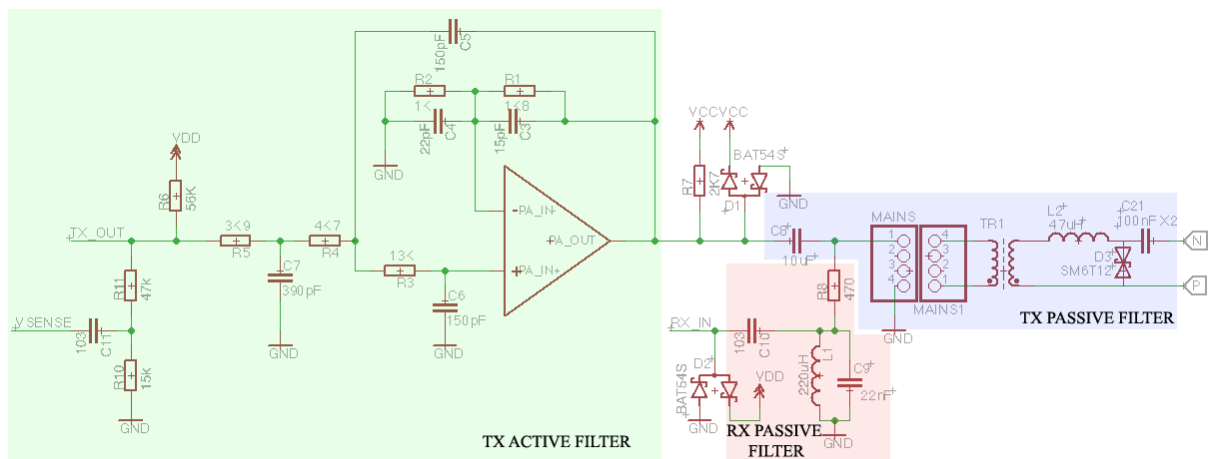


Fig. 10.3.1 Diseño de un PLC. (Evenchick, 2014)

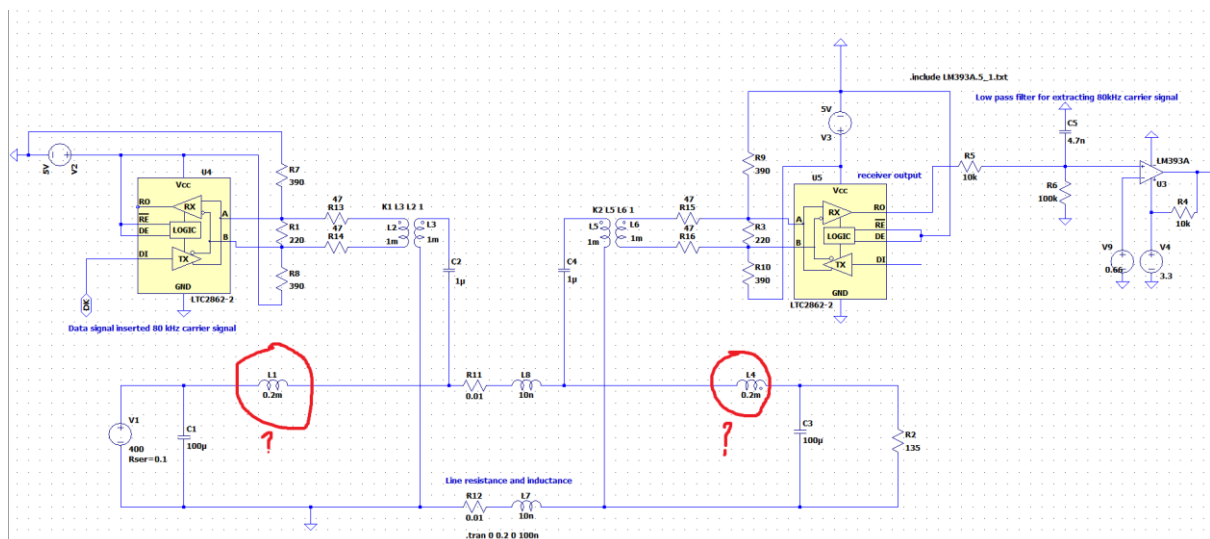
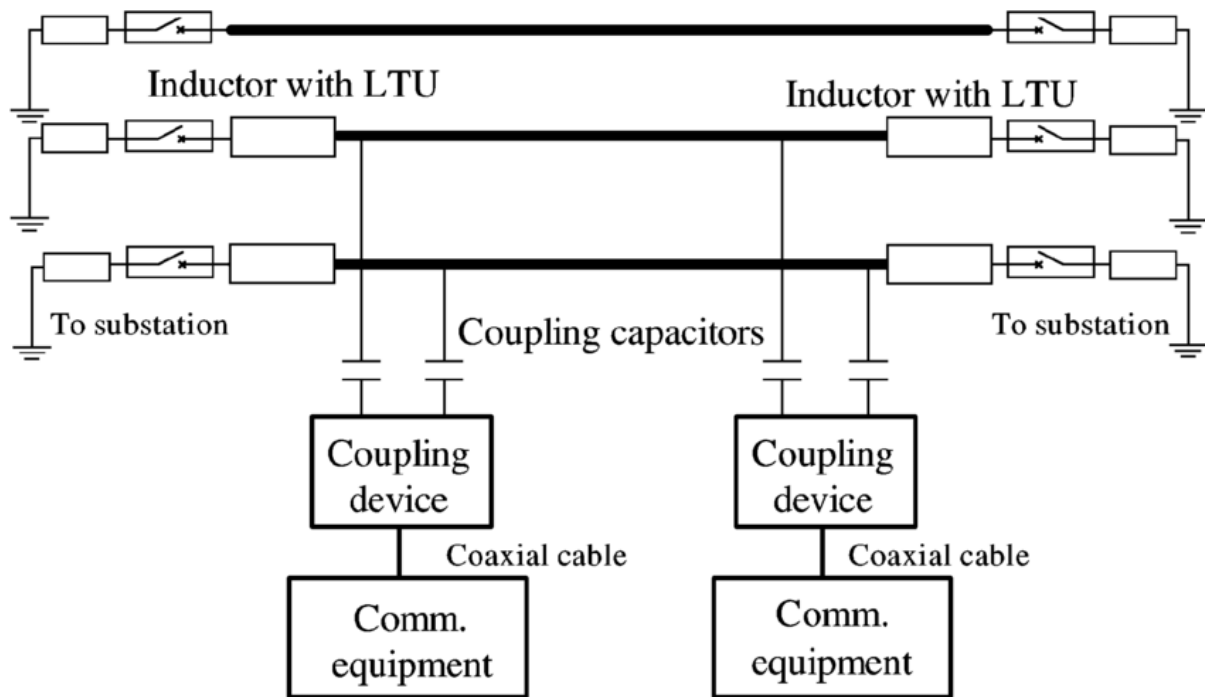


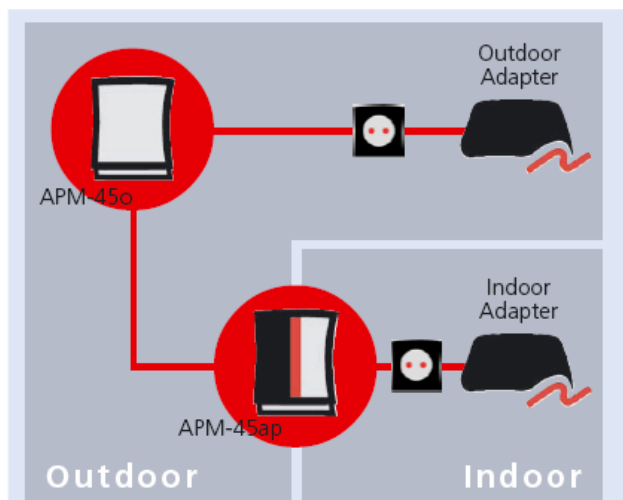
Fig. 10.3.2 Diseño de comunicación Power Line con transceptores de línea. (Bayraktar, 2020)



*Fig. 10.3.3 Elementos principales de un canal PLC*

## 10.4 Apéndice D: Fichas técnica equipo PLC

Fig. 10.4.1 Ficha técnica equipos Master PLC Indoor/Outdoor y adaptadores



### Technical data Powerline masters

#### PLC signalling

Outdoor band	1.6 - 12 MHz
Indoor band	15 - 30 MHz
Carriers	3 in one band
Data rate	0.75 - 1.5 Mbps/carrier
Modulation	GMSK
Bandwidth	2 MHz/carrier
Coverage Outdoor	up to 300 m
Coverage Indoor	up to 100 m
Delay	< 25 ms

#### Physical

Dimensions (HxWxD)	295 x 150 x 85 mm
Weight	1.6 kg (APM-45o, APM-45i) 1.9 kg (APM-45ap)

#### Electrical

Voltage	90 - 264 VAC, 50/60 Hz
Power consumption	< 10 W (APM-45o, APM-45i) < 18 W (APM-45ap)

#### Environmental

Temperature	0 - 45 °C
Humidity	0 - 95 %, non condensing
Protection class	IP 20 (IP 42 option)

#### Interfaces

LAN	10/100 Mbps Ethernet
RS232	on RJ45 connector

#### Protocols

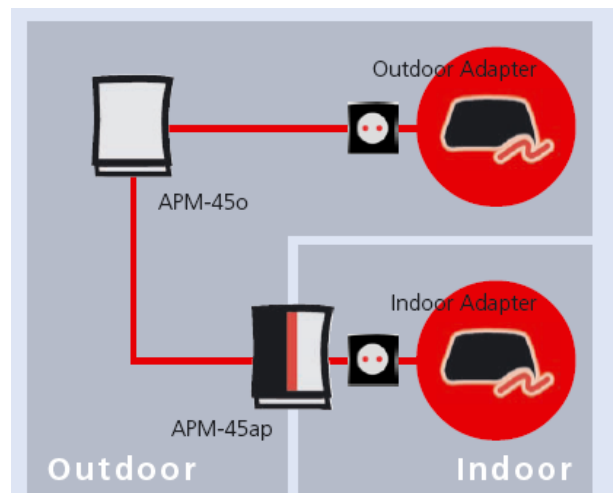
Network management	SNMP V2/V3 DHCP, FTP, VLAN
Network security & encryption	RC4, Diffie-Hellman key exchange (128 bit keys)

#### Standards

Safety	EN60950
Immunity	EN55024
Overvoltage protection	IEC664 CE 0682

Specifications are subject to change without notice

2002©Ascom PUB\_02\_0017\_04



### Technical data high-speed adapters

#### PLC signalling

Outdoor band	1.6 - 12 MHz
Indoor band	15 - 30 MHz
Carriers	3 in one band
Data rate	0.75 - 1.5 Mbps/carrier
Modulation	GMSK
Bandwidth	2 MHz/carrier
Coverage Outdoor	up to 300 m
Coverage Indoor	up to 100 m
Delay	< 25 ms

#### Physical

Dim. APA-45 (HxWxD)	40 x 155 x 155 mm
Dim. APA-45-voice	40 x 195 x 155 mm
Weight APA-45 (-voice)	310 g (390 g)

#### Electrical

Voltage (external power supply)	230V ± 10 % / 50 Hz, or 110V ± 10 % / 60 Hz
Power consumption	< 7 W

#### Environmental

Temperature	0 - 45 °C
Humidity	0 - 95 %, non condensing
Protection class	IP 20

#### Interfaces

LAN	10 Mbps Ethernet
USB	Version 1.1
a/b	analogue phone line

#### Protocols

Network management	SNMP V2/V3 DHCP, FTP, VLAN
Network security & encryption	RC4, Diffie-Hellman key exchange (128 bit keys)

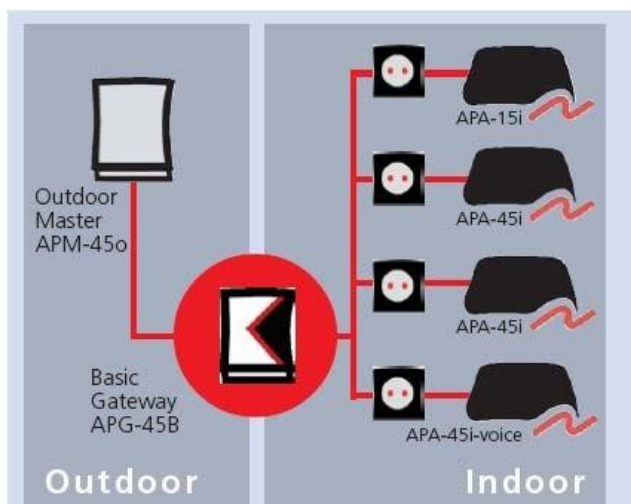
#### Standards

Safety	EN60950
Immunity	EN55024 CE 0682

Specifications are subject to change without notice

2002©Ascom PUB\_02\_0018\_04

Fig. 10.4.2 Ficha técnica equipos Gateway PLC

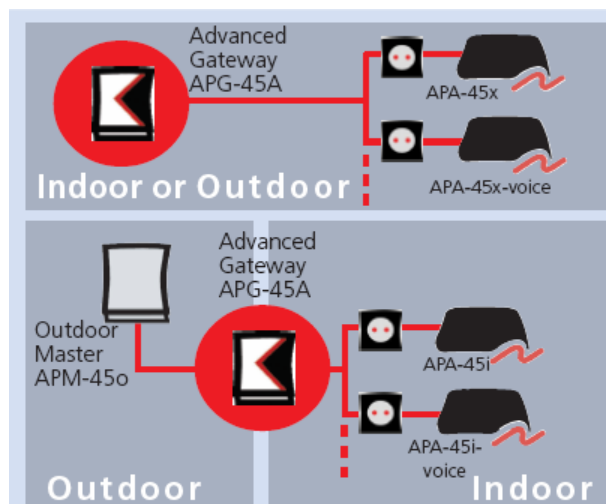


### Technical data basic gateway

<b>PLC signalling</b>	
Outdoor band	1.6 - 12 MHz
Indoor band	15 - 30 MHz
Carriers	3 in one band
Data rate	up to 0.75 Mbps/carrier
Modulation	GMSK
Bandwidth	2 MHz/carrier
Coverage Outdoor	up to 300 m
Coverage Indoor	up to 100 m
Adapters supported	up to 4 indoor adapters
<b>Physical</b>	
Dimensions (HxWxD)	165 x 150 x 86 mm
Weight	600 g
<b>Electrical</b>	
Voltage	85 - 250 VAC, 50/60 Hz
Power consumption	< 10 W
Power socket	YC-13, Type 112
<b>Environmental</b>	
Temperature	5 - 40 °C
Humidity	0 - 95 %, non condensing
Protection class	IP 20
<b>Interfaces</b>	
Coupling outdoor signal	RJ45 connector
Coupling indoor signal	RJ45 connector
Service interface	RJ45 connector
<b>Protocols</b>	
Network management	SNMP V2/V3 DHCP, FTP, VLAN
Network security & encryption	RC4, Diffie-Hellman key exchange (128 bit keys)
<b>Standards</b>	
Safety	EN60950
Immunity	EN55024
Emission	EN55022
Overvoltage protection	IEC664 CE 0682

Specifications are subject to change without notice

200-200-0000 APLC/PG-45B Datasheet PUB\_02.0022.01



### Technical data advanced gateway

<b>PLC signaling</b>	
Outdoor band	1.6 - 12 MHz
Indoor band	15 - 30 MHz
Carriers	3 in one band
Data rate	0.75 - 1.5 Mbps/carrier
Modulation	GMSK
Bandwidth	2 MHz/carrier
Coverage Outdoor	up to 300 m
Coverage Indoor	up to 100 m
Adapters supported	up to 10 indoor adapters (Gateway Model) up to 63 indoor adapters (Master Model)
<b>Physical</b>	
Dimensions (HxWxD)	165 x 150 x 86 mm
Weight	600 g
<b>Electrical</b>	
Voltage	85 - 250 VAC, 50/60 Hz
Power consumption	< 10 W
Power socket	YC-13, Type 112
<b>Environmental</b>	
Temperature	5 - 40 °C
Humidity	0 - 95 %, non condensing
Protection class	IP 20
<b>Interfaces</b>	
Coupling outdoor signal	RJ45 connector
Coupling indoor signal	RJ45 connector
Service interface	RJ45 connector
10Mbps Ethernet interface	RJ45 connector
<b>Protocols</b>	
Network management	SNMP V2/V3 DHCP, FTP, VLAN
Network security & encryption	RC4, Diffie-Hellman key exchange (128 bit keys)
<b>Standards</b>	
Safety	EN60950
Immunity	EN55024
Emission	EN55022
Overvoltage protection	IEC664 / Category 3 CE 0682

Specifications are subject to change without notice

200-200-0000 APLC/PG-45A Datasheet PUB\_02.0022.01

## 10.5 Apéndice D: Industrias









	<p><b>CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardization</b> - <a href="http://www.cenelec.org/">http://www.cenelec.org/</a> CENELEC is the European Committee for Electrotechnical Standardization. It has been officially recognised as the European Standards Organization in its field by the European Commission. Its members have been working together in the interests of European harmonization since the late fifties, developing alongside the European Economic Community.</p>
	<p><b>ETSI - European Telecommunications Standards Institute</b> - <a href="http://www.etsi.org/">http://www.etsi.org/</a> The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) is a non-profit making organization whose mission is to determine and produce the telecommunications standards that will be used for decades to come. It is an open forum that unites 696 members from 50 countries, representing Administrations, network operators, manufacturers, service providers, and users.</p>
	<p><b>HomePlug - The HomePlug Powerline Alliance</b> - <a href="http://www.homeplug.org/">http://www.homeplug.org/</a> The HomePlug Powerline Alliance is a not-for-profit corporation formed to provide a forum for the creation of open specifications for high-speed home powerline networking products and services. It also seeks to accelerate the demand for these products and services through the sponsorship of market and user education programs.</p>
	<p><b>ISO - International Organization for Standardization</b> - <a href="http://www.iso.ch/">http://www.iso.ch/</a> The International Organization for Standardization (ISO) is a worldwide federation of national standards bodies from some 130 countries, one from each country. ISO is a non-governmental organization established in 1947. The mission of ISO is to promote the development of standardization and related activities in the world with a view to facilitating the international exchange of goods and services, and to developing cooperation in the spheres of intellectual, scientific, technological and economic activity.</p>
	<p><b>ITU - International Telecommunication Union</b> - <a href="http://www.itu.int/">http://www.itu.int/</a> The ITU, headquartered in Geneva, Switzerland is an international organization within which governments and the private sector coordinate global telecom networks and services.</p>
	<p><b>OFTEL</b> - <a href="http://www.ofcom.gov.uk/">http://www.ofcom.gov.uk/</a> OFTEL is the regulator or watchdog for the UK telecoms industry. Broadcast transmission is also part of OFTEL's remit. Our aim is for customers to get the best possible deal in terms of quality, choice and value for money. OFTEL is a government department but independent of ministerial control. It is headed by the Director General of Telecommunications, who is appointed by the Secretary of State for Trade and Industry.</p>
	<p><b>PALAS - Powerline as an Alternative Local Access</b> - <a href="http://palas.regiocom.net">palas.regiocom.net</a> The PALAS project aims to develop and test a complete service and commercialization package to potential players in the PLC market. This package comprises technical simulation and consulting tools, initial business and turn-key service models as well as concrete roll-out strategies. In addition PALAS will provide a complex and coherent approach to reduce time to market and to increase certainty on market, technological, organizational and economic issues.</p>
	<p><b>PLCforum</b> - <a href="http://www.plcforum.org/">http://www.plcforum.org/</a> The PLCforum was formed with the aim of uniting and representing the interests of players engaged in Power Line Communications (PLC) from all over the world. The forum is targeted towards developing concepts for dedicated promotion of PLC and conducting preparation &amp; research in terms of regulation, standardization and marketing at an international level. The forum are working on preparing the basis for business models of PLC technology and the services that can be offered.</p>

Fig. 10.5.1. Industrias PLC