



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

**“TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE REDES ELÉCTRICAS
TECNOLOGÍA POWERLINE COMMUNICATIONS (PLC)
EN MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

PRESENTAN:

**URIBE DONJUAN MARIA DEL CARMEN
VILLALOBOS LORY ULISES**

ASESORES:

**Ing. Santillán Guevara Guillermo
Ing. Gómez García Jorge Alberto**

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO 2016



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. MARIA DEL CARMEN URIBE DONJUAN
C. ULISES VILLALOBOS LORY**

“TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE REDES ELÉCTRICAS TECNOLOGÍA POWERLINE COMMUNICATIONS (PLC) EN MÉXICO”

**PROPONER UNA SOLUCIÓN DE CONECTIVIDAD IN-HOME MEDIANTE LA TECNOLOGÍA POWER
LINE COMMUNICATION (PLC)**

- ❖ **ONDA PORTADORA POR LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN (OPLAT)**
- ❖ **ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA PLC (POWERLINE COMMUNICATION)**
- ❖ **VENTAJAS, DESVENTAJAS Y APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA PLC**
- ❖ **IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC IN-HOME**
- ❖ **CONCLUSIONES**

CIUDAD DE MÉXICO, A 15 DE JUNIO DE 2016.

ASESORES



ING. JORGE ALBERTO GÓMEZ GARCÍA



ING. GUILLERMO SANTILLÁN GUEVARA



ING. PATRICIA LORENA RAMÍREZ RANGEL
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN
COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

ÍNDICE

OBJETIVO GENERAL	IV
OBJETIVOS PARTICULARES	IV
INTRODUCCIÓN	V
ANTECEDENTES	VII
Capítulo I Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión (OPLAT)	
1.1 Descripción, elementos y características de la tecnología OPLAT	2
Capítulo II Estudio de la Tecnología PLC (Powerline Communication)	
2.1 Generalidades de la tecnología PLC.....	7
2.1.1 Definición.....	7
2.1.2 Funcionamiento.....	7
2.1.2.1 Integración del Sistema Eléctrico y PLC	7
2.1.2.2 Trasmisión Paralela de la Energía e Información	9
2.1.2.3 Frecuencia Utilizada.....	10
2.1.2.4 Velocidades de Trasmisión	10
2.1.2.5 Tipos de Modulación Empleada en PLC	12
2.1.2.6 Modulación OFDM	14
2.1.2.7 Funcionamiento OFDM	15
2.1.2.8 Beneficios de OFDM.....	17
2.2 PLC Y el Modelo OSI.....	19
2.2.1 Capa Física.....	19
2.2.2 Capa de Enlace de Datos	20
2.3 Capacidad de canal PLC	23
2.4 Arquitectura de la Red PLC.....	25
2.4.1 Topología	26
2.4.1.1 Topología Física de la Red PLC	26
2.4.1.2 Topología Lógica de la Red PLC	27
2.4.2 Sistemas PLC	28
2.4.2.1 Sistema de Distribución	28
2.4.2.2 Sistema PLC de Acceso	30
2.4.2.3 Sistema de Gestión.....	31
2.4.2.4 Sistema PLC In-Home	32

2.4.3 Configuración de una Red PLC.....	33
2.4.3.1 Unidad de Acondicionamiento.....	33
2.4.3.2 Unidad Repetidora	35
2.4.3.3 Unidad de Usuario (Módem)	36
2.5 Elementos Adicionales Para la Estructura De Red PLC	37
2.5.1 Acoplamiento de las Líneas Eléctricas.....	37
2.5.2 Tipos de Acoplamiento.....	38
2.5.2.1 Unidades de Acoplamiento Capacitivo.....	38
2.5.2.2 Unidades de Acoplamiento Inductivo	39
Capítulo III Ventajas, Desventajas y Aplicaciones de la Tecnología PLC	
3.1 Ventajas	44
3.2 Desventajas	45
3.3 Aplicaciones del PLC	48
3.3.1 Aplicaciones Internas	48
3.3.2 Última Milla	49
Capítulo IV Implementación de la Tecnología PLC IN-HOME	
4.1 Propuesta esquemática	53
4.2 Proveedores México	55
4.3 Proveedor Huawei	59
4.4 Soluciones	65
Capítulo V Conclusiones	67
Índice de Figuras	69
Índice de Tablas.....	71
Glosario de Términos y Acrónimos	72
Bibliografía / Referencias	77

OBJETIVO GENERAL

Proponer una solución de conectividad In-Home mediante la tecnología Power Line Communication (PLC)

OBJETIVOS PARTICULARES

-El presente trabajo da a conocer el uso la tecnología emergente denominada PLC (Power Line Communications), como solución para diseñar una red de datos utilizando las líneas de transmisión eléctrica.

-Se analiza los requerimientos que debe cumplir la red eléctrica para brindar este servicio.

-Estudiar los diferentes aspectos que influyen positiva y negativamente para posibilitar una solución para una eficiente transmisión de datos.

-Se realiza una propuesta esquemática de la red PLC apegado a las condiciones de una situación particular de un sistema eléctrico de una casa habitación, donde se involucran todos los equipos necesarios para acondicionar las líneas eléctricas.

INTRODUCCIÓN

PLC (Power Line Communication) es una tecnología que permite ofrecer servicios de comunicaciones de banda ancha a través de la red eléctrica. Aunque no es tan reciente como puede suponerse, PLC ha sido objeto de gran atención en los últimos años, y el hecho de que en la actualidad se estén desarrollando pruebas y despliegues más o menos extensos en cerca de ochenta países es un síntoma claro de su potencial y del interés que despierta.

En este trabajo se presentan antecedentes de la tecnología, una descripción de ésta, su desarrollo, regulación y las perspectivas del PLC en México; la idea esencial del PLC consiste en utilizar la línea eléctrica para la transmisión de datos, de forma que se puedan ofrecer servicios de telecomunicación basados en tecnología IP (Internet Protocol). La ventaja de este enfoque, al plantear la utilización de una infraestructura ya existente y de muy extensa cobertura, como es la red eléctrica, para la prestación de servicios de telecomunicaciones.

A continuación se da una breve historia de la tecnología PLC, y luego de percatarse del posible uso que se le puede dar a la línea eléctrica como canal de comunicación, surge una serie de inconvenientes que se deben sortear para emplearla eficientemente y transmitir información a través suyo con la certeza de que los datos transmitidos lleguen a su destino. Estos inconvenientes surgen ya que la red eléctrica no fue diseñada para la comunicación de datos, por lo cual se presentan problemas tales como desacoples de impedancia, las cuales producen reflexiones, la atenuación de la línea eléctrica se incrementa con la distancia y con la frecuencia, su impedancia varía con el tiempo en un rango muy grande, según estén o no conectados ciertos aparatos eléctricos, no es un sistema lineal e invariante en el tiempo, lo que añade más dificultad a su uso y complica su caracterización respecto a atenuación, ruido y distorsión, la gran variedad de dispositivos que pueden estar conectados hace que el ruido introducido por estos sea muy variado. Además, la red eléctrica del hogar no está diseñada para transmitir señales a alta frecuencia, por lo que al hacerlo se convierte en una fuente de ruido que hay que limitar.

El presente trabajo de investigación se plantea la necesidad de contar con un medio de acceso a un sistema de telecomunicaciones de alta calidad, alta velocidad y bajo costo que permita ofrecer servicios en zonas urbanas, rurales, además de la aplicación en una red In-Home ya que en general presenta problemas de cobertura de red inalámbrica y falta de planeación de nodos, esta tecnología muestra una solución siendo la base del pilar para desarrollo de la misma en México.

Se presentan las ventajas, desventajas y las aplicaciones que esta tecnología tiene para así poder llegar a nuestro enfoque que es la implementación de la tecnología PLC In-Home donde se muestra el diseño de esta red así como los proveedores existentes en nuestro país haciendo una comparación en cuanto a funcionalidad y estética se requiera con respecto a un dispositivo propuesto.

En el capítulo I se realiza una descripción general de la tecnología Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión (OPLAT). Se presentan sus características generales, los elementos que la constituyen y sus principales ventajas y desventajas.

El capítulo II tiene como finalidad de hacer una recopilación de las características principales de la tecnología PLC. Se muestra cuáles son las frecuencias de trabajo velocidades de transmisión, tipo de modulación empleada, tipos de redes PLC y equipo requerido para una infraestructura red con PLC.

En el capítulo III se dará a conocer las ventajas y desventajas que tienen la tecnología Power Line Communication, así mismo sus aplicaciones para determinar la viabilidad y alcances que se tienen con la tecnología PLC.

En el capítulo IV se describe cómo se da solución a un problema In-home con la tecnología PLC, observando la propuesta esquemática, los proveedores en México y la solución de Huawei y el por qué se recomienda esta solución.

ANTECEDENTES

La idea de utilizar la infraestructura de la red eléctrica como medio de transmisión de datos no es nueva, aunque en la última década ha tenido más auge y resonancia a nivel mundial por las múltiples aplicaciones que se han desarrollado.

A principios del siglo XX, el canal de transmisión de información más popular era la red telefónica pública conmutada. Sin embargo, para las compañías de energía eléctrica su aplicación como red de telecomunicaciones quedaba limitada por tres razones fundamentales: en primer lugar, ciertas aplicaciones tales como la transmisión de señales de tele protección, precisan alta fiabilidad y disponibilidad prácticamente instantáneas del canal, las cuales son dos características que la red telefónica no podía garantizar; en segundo lugar, las aplicaciones de telemedición y telecontrol implican un estado de transmisión casi permanente; y en tercer lugar, era la falta de servicio telefónico en subestaciones muy apartadas en donde no llegaba la red telefónica. Debido a lo anterior, el uso de una red de transmisión privada parecía la mejor opción.

Por consiguiente, el sistema de comunicaciones a ser empleado debía ser altamente confiable, eficaz y económico. Fue entonces cuando se pensó en el uso de las mismas líneas de transmisión de energía eléctrica como el medio para la transmisión de información. Dichas líneas, al conectar a todos los elementos que componen el proceso de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, y al ser mecánicamente más resistentes a las perturbaciones ambientales que el tradicional par telefónico, resultaron ser los elementos idóneos para la transmisión de señales de inteligencia de las compañías eléctricas.

No fue sino hasta el año 1919, que la compañía General Electric demostró la factibilidad de este tipo de transmisión de datos, instalando el primer sistema de este tipo en el año 1921. Inicialmente su uso se limitaba al telecontrol de equipos; al análisis de pérdidas y demandas; a la administración de cargas remotas, y a la



transmisión a baja tasa de datos de medidas. Posteriormente las compañías eléctricas comenzaron a utilizar sus propias redes eléctricas para la transmisión interna de datos, incluyendo el servicio de telefonía.

A este tipo de tecnología, en la que se transmiten simultáneamente señales de radio de baja frecuencia y la señal de energía eléctrica, sin ocasionar interferencia, se le designó en español como Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión, OPLAT.

Es así como el sistema OPLAT abre las puertas de las comunicaciones utilizando la infraestructura de la red eléctrica como medio efectivo de transmisión de datos.



CAPÍTULO I Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión (OPLAT)

1.1 Descripción, elementos y características de la tecnología OPLAT

Todas las compañías encargadas de la generación y distribución de energía eléctrica establecen parte de sus comunicaciones utilizando como medio de transmisión de datos, sus líneas de alta tensión, debido a que estas líneas constituyen el elemento de enlace entre sus instalaciones. Como ya se mencionó, estos tipos de sistemas reciben el nombre OPLAT, Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión. En inglés se les denomina Power Line Carrier, PLC, lo cual tiene el mismo acrónimo que Power Line Communications. Sin embargo, se debe tener presente que son dos tipos de tecnologías diferentes. Por ahora diremos que la tecnología OPLAT opera en líneas de transmisión de alta tensión, y PLC en líneas de media y baja tensión.

El sistema de comunicaciones de OPLAT, consiste en la transmisión de señales de radio de baja frecuencia en forma simultánea y sin interferencia con la señal de la energía eléctrica. En este proceso se agrega la señal de comunicación ya modulada a la línea de alta tensión y se envía a través de ésta a otra central o subestación eléctrica, en donde la señal pasa por un proceso de demodulación.

El ancho de banda en el cual operan los sistemas OPLAT se encuentra generalmente dentro del rango de 30 KHz a 500 KHz. Esta asignación del ancho de banda se debe fundamentalmente a que por arriba de 30 KHz se dispone de un margen lo suficientemente amplio como para que no existan problemas de ruido ocasionado por la frecuencia a la que opera la señal de potencia, la cual es de 60 Hz. Por el otro lado, la frecuencia no rebasa los 500 KHz, para que se reduzcan las posibilidades de atenuación, ya que a mayor frecuencia de operación en este medio de comunicación, mayor es la atenuación. Si se respeta este límite, la interferencia que se tiene con las ondas de radio comercial y con las de banda libre es menor.

El sistema OPLAT se encuentra integrado principalmente por los siguientes elementos:

- a) Equipo transceptor (transmisor / receptor)
- b) Capacitor de acoplamiento
- c) Equipo sintonizador
- d) Trampa de onda
- e) Línea de transmisión de alto voltaje

En la Figura 1.1 se presentan los elementos antes mencionados, así como la estructura general del sistema.

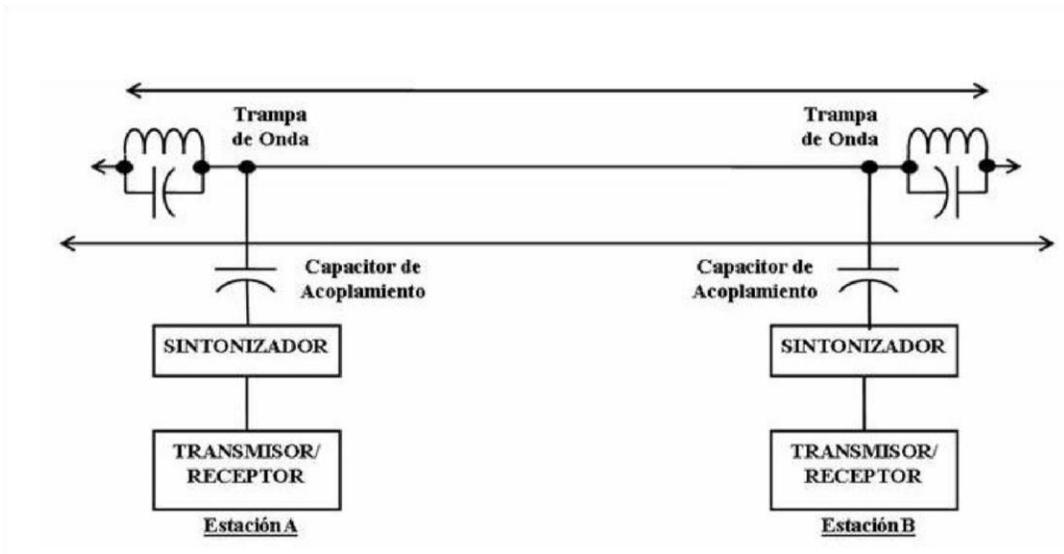


Figura 1.1 Diagrama de la estructura del sistema OPLAT

A continuación se describen de manera general los elementos:

a) Equipo Transceptor (transmisor/receptor). Los dispositivos de transmisión y recepción son equipos de radio que generalmente operan con modulación de Banda Lateral Única (BLU), a través de ellos se envían las señales de voz, protección y datos. Otros tipos de modulaciones que pueden utilizar estos equipos son: Modulación de Amplitud (AM), Modulación de Frecuencia (FM), Modulación por Corrimiento de Frecuencia (FSK Frequency Shift Keying), etc. Sin embargo, el tipo de modulación BLU, es el más utilizado, debido a que en una sola banda se envía toda la información, por lo cual se reduce la cantidad de energía requerida para la transmisión. El equipo transceptor se instala en las localidades donde se requiere establecer la comunicación, por lo regular subestaciones y centros de control.

b) Capacitor de acoplamiento. Este dispositivo permite el paso de la señal de la onda portadora debido a la baja impedancia que presenta para dicha señal, a la vez que impide el paso de la señal de potencia, ya que para la frecuencia de 60 Hz presenta una impedancia muy elevada.

c) Equipo Sintonizador. También llamado sintonizador de línea, se encarga de discriminar los diferentes canales de onda portadora y enviarlos a los transmisores/receptores. Reducen los efectos de la reactancia capacitiva del capacitor de acoplamiento, lo que ofrece un mejor equilibrio de impedancias para lograr la máxima transferencia de energía. Otra de sus funciones es atenuar las señales no deseadas del sistema, es decir, elimina el ruido excesivo. Además, el equipo sintonizador cuenta con elementos de protección contra eventuales sobrecargas, los cuales tienen la doble función de proteger al equipo y al personal que labora en las tareas de mantenimiento del mismo.

d) Trampa de onda. Este dispositivo presenta una impedancia relativamente alta para la gama de frecuencias de la onda portadora, que van desde los 30 KHz a los 500 KHz, por el contrario, para la señal de potencia, a una frecuencia de 60 Hz, la impedancia es casi nula. La trampa de onda consta de un circuito resonante en

paralelo y es colocado entre el punto de conexión del capacitor de acoplamiento y la subestación.

e) Línea de transmisión de alta tensión. Este elemento constitutivo del sistema OPLAT es el elemento conductor de la señal de potencia, y también es el canal de transmisión de las señales de información.

Las principales características del sistema OPLAT son las siguientes:

- a) Viabilidad económica y técnica para usarse como medio de transmisión.
- b) Capacidad de transmisión para varios canales de comunicación.
- c) No son requeridos o son mínimos los repetidores que se tienen que utilizar cuando las distancias son muy grandes.
- d) Bajo costo de mantenimiento.
- e) Se puede tener un sistema telefónico completo y fácil de instalar.
- f) Confiable y versátil.
- g) Es susceptible al ruido de la línea de energía eléctrica.
- h) Tiene un limitado ancho de banda.
- i) Espectro de frecuencia nominal: 30 KHz - 500 KHz.



CAPÍTULO II Estudio de la tecnología PLC (Powerline Communication)

2.1 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA PLC

En la actualidad, esta tecnología nos ofrece una alternativa de la banda ancha. Además, ofrece una alta velocidad, suministra servicios múltiples con la misma plataforma y permite disponer de conexión permanente. Es por eso que nos enfocamos en este tipo de tecnología para poder llevar a cabo nuestra propuesta.

2.1.1 DEFINICIÓN

La tecnología Power Line Communications (PLC), hace posible la transmisión de voz, datos y video a través de una infraestructura ya desplegada como son las líneas eléctricas. Permite convertir los enchufes convencionales en conexiones a los servicios de telecomunicaciones más avanzados como: Internet a alta velocidad y con él la integración de todos los servicios que oferta, como son: la telefonía IP (telefonía integrada con datos), mensajería, videoconferencia, televisión interactiva, radio y música, juegos en red, la creación de redes privadas etc. Permite maximizar el rendimiento de dispositivos conectados a la red, de ahí que a veces sea conocida como BPL (Broadband PLC). Esta tecnología constituye una alternativa real a las actuales tecnologías de acceso de banda ancha.

El PLC se empezó a considerar como tecnología de banda ancha al ofrecer una velocidad igual o superior a 2 Mbps. Considerando esta velocidad es posible ofrecer servicios multimedia a un mayor número de usuarios de Internet, especialmente en áreas distantes.

2.1.2 FUNCIONAMIENTO

2.1.2.1 Integración del Sistema Eléctrico y PLC

La red eléctrica no es homogénea, por lo que hay que diferenciar los tramos que la conforman. Desde la central eléctrica a la red de transporte de Alta Tensión se

manejan voltajes de 138 KV a 230 KV. Este tramo no es relevante para la tecnología PLC. La red de Media Tensión transporta voltajes de 6.3 KV a 23 KV da acceso a pueblos, barrios y edificios y para la Tecnología PLC se presenta como una red de distribución sobre la cual se puede implementar ya sea la tecnología PLC u otra tecnología que transporte datos por ejemplo Fibra Óptica. La red de Baja Tensión donde se manejan voltajes de 110 V a 220 V es equivalente a la "última milla" o bucle de abonado como en las redes telefónicas, conecta los hogares con los transformadores de MT/BT.

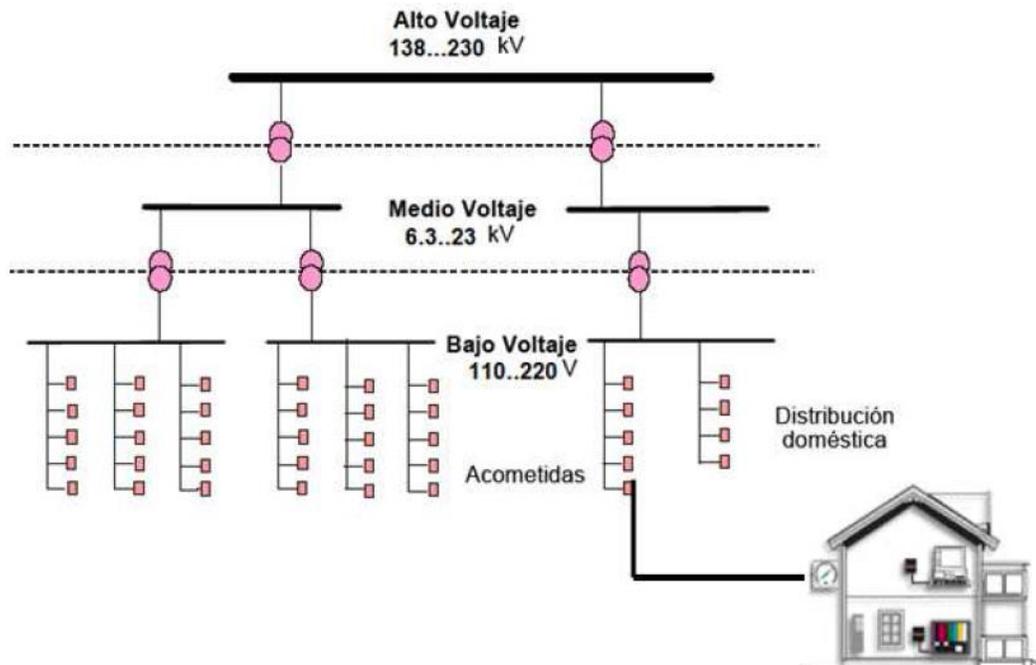


Figura 2.1 Estructura típica de la red de distribución de energía eléctrica

Con el acondicionamiento adecuado de la infraestructura eléctrica, se puede transmitir señales de baja frecuencia y otras por encima de la banda de 1 MHz, sin que se vea afectado el rendimiento eléctrico. Las señales de baja frecuencia (50 Hz ó 60 Hz, según la red) son las encargadas de la transmisión de la energía, mientras

que las señales de más alta frecuencia se utilizan para la transmisión de datos, circulando ambas simultáneamente a través del hilo de cobre.

El lugar de integración del sistema eléctrico y de comunicación se da en el transformador o en la subestación de distribución. Aquí se produce el acoplamiento de la red eléctrica con equipos complementarios que en un extremo se enlazan a una conexión de alta velocidad proporcionada por un proveedor de servicio de Internet, ya sea mediante fibra óptica o cualquier otro medio, y por el otro extremo al control de la red PLC.

2.1.2.2 Transmisión paralela de energía e información

La transmisión paralela de energía y datos usando el mismo medio y en forma simultánea, se hace posible debido a que las dos señales son diferentes, mientras la energía eléctrica utiliza corriente alterna a 60 Hz los datos se transmiten a altas frecuencias en el rango de 1 MHz a 30 MHz.

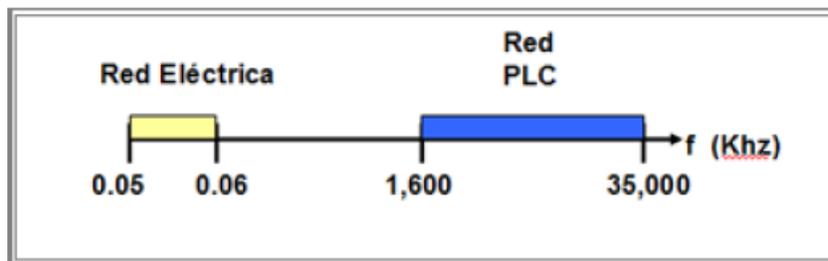


Figura 2.2 Rango de trabajo de la Red Eléctrica y la red PLC

La tecnología PLC emplea una red conocida como High Frequency Conditioned Power Network (HFPCN) “Red de energía condicionada por alta frecuencia” para transmitir simultáneamente energía e información. Con el uso de unidades acondicionadoras que se encargan del filtrado y separación de ambas señales.

Estas unidades separan la electricidad, que alimenta a los electrodomésticos, de las señales de alta frecuencia, que van a un módulo o unidad de servicio, donde se reconvierten en canales de datos ya sea vídeo, datos, voz, etc.

2.1.2.3 Frecuencia utilizada

Los sistemas PLC ocupan un espectro de HF (High Frequency) este rango esta entre 1.6 MHz a 30 MHz. Según la recomendación ETSI TS 101 867 (V1.1.1 2000-11), “Se refiere a sistemas PLC de primera generación y asigna los siguientes rangos:

- Sistemas PLC de Acceso ocupan la banda de frecuencia entre 1,6 MHz a 10 MHz.
- Sistemas PLC Domésticos ocupan la banda de frecuencia entre 10 MHz a 30 MHz”.

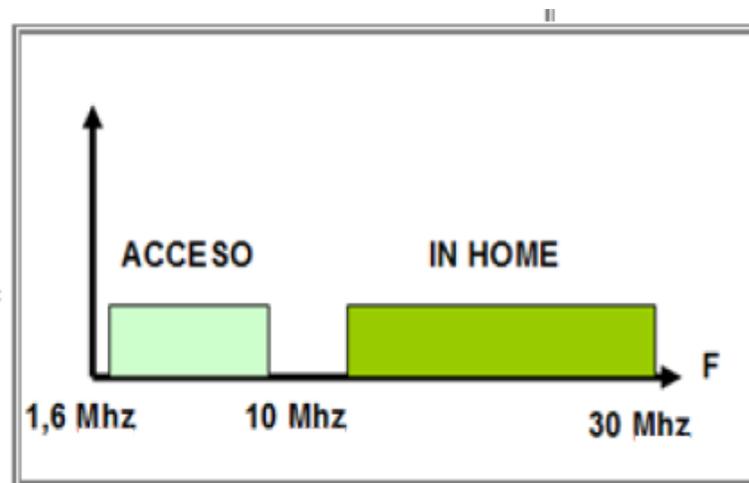


Figura 2.3 Distribución de las Frecuencias del Espectro PLC ETSI TS 101 867

2.1.2.4 Velocidades de transmisión

La capacidad de transmisión del PLC varía en función del fabricante, de la tecnología empleada y del estado de las líneas eléctricas, pero suele establecerse en los 45 Mbps (27 Mbps en el sentido red de datos – usuario “Downstream”, y 18 Mbps en el

sentido usuario-red de datos “Upstream”). La velocidad que actualmente puede alcanzar la tecnología PLC con los equipos de usuario oscila en un rango de 2 Mbps y 10 Mbps, cuyo ancho de banda es suficiente para dar Internet, telefonía IP, transmitir voz, o servicios multimedia.

El ancho de banda disponible se debe compartir entre todos los usuarios conectados a la misma línea de distribución eléctrica, de manera que si se tiene 10 Mbps en el Centro de transformación de distribución y se conectan unos 50 usuarios a la línea mediante las Unidades de Usuario, se reduciría a 200 Kbps el ancho de banda para cada usuario.

Sin embargo los equipos de segunda generación que se han desarrollado elevan el límite por encima de los 100 Mbps, lo que permite al PLC competir con otros sistemas de comunicaciones de banda ancha.

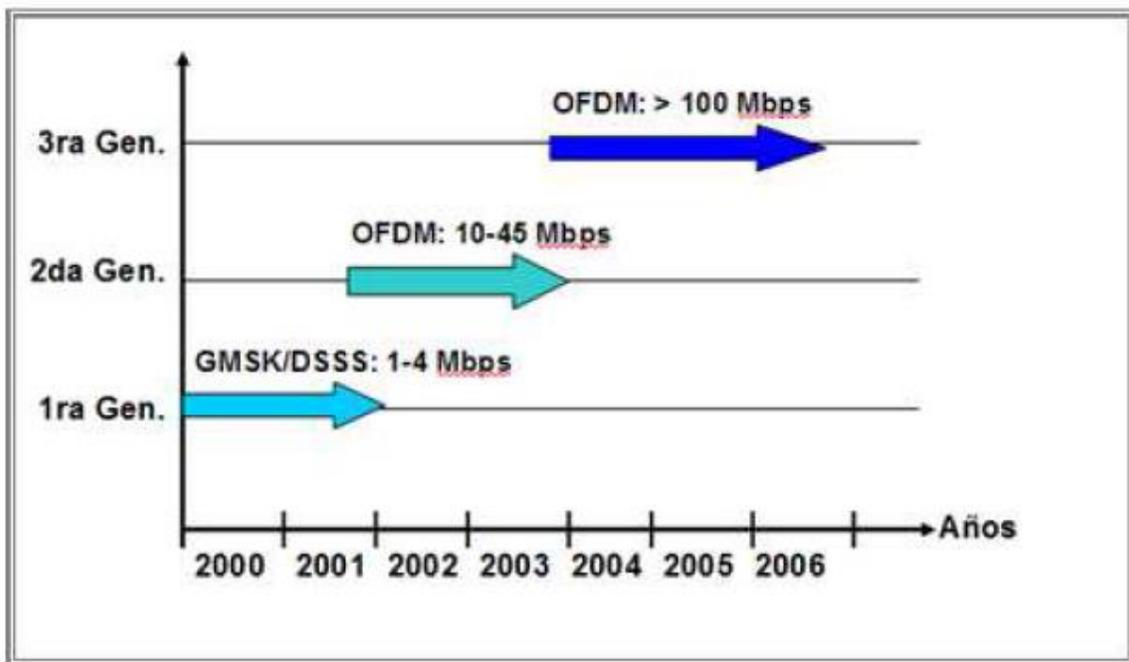


Figura 2.4 Anchos de Banda en PLC

2.1.2.5 Tipos de modulación empleadas en PLC

Para optimizar la transmisión de datos sobre la red eléctrica y conseguir capacidades con el mínimo consumo de ancho de banda, se han planteado varias técnicas de modulación para PLC, las cuales deben ser robustas y utilizar una correcta asignación de frecuencias para evitar la interferencia externa.

En PLC las transmisiones tienen que atravesar las líneas de fuerza lo que provoca múltiples e impredecibles formas de interferencia, esto lo convierte en un medio poco confiable para una excelente comunicación. Los tipos de modulación más favorables para PLC son:

- **DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation):** Modulación de espectro ensanchado, consiste en distribuir la potencia de la señal a lo largo de un amplio espectro de frecuencias. Opera con baja densidad de potencia espectral (PSD), lo que resulta beneficioso respecto a la compatibilidad electromagnética, teniendo un nivel de radiación débil sobre todo el espectro utilizado. Además posee una gran inmunidad a interferencias, distorsiones y desvanecimientos del canal. El inconveniente con esta modulación es que para distribuir la potencia hace uso de un gran ancho de banda reduciendo la velocidad de los datos. Otro problema consiste en que al ser adaptadas las señales al canal de transmisión PLC, se presentan reflexiones debido a los múltiples caminos que puede seguir la señal.
- **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying):** Es una técnica de modulación binaria simple en banda estrecha, que resulta de hacer una manipulación espectral a MSK sin perder la característica constante de la envolvente. Dicha manipulación consiste en aplicar un prefiltrado gaussiano, reduciendo de esta forma los lóbulos secundarios que aparecen en el espectro de la señal. Con este prefiltrado previo a la modulación se logra optimizar el uso del ancho de banda.

- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex):** Es un sistema adaptativo que consiste en modular un gran número de portadoras de banda estrecha distribuida. Soluciona problemas de reflexiones debido a las diferentes rutas que puede seguir la señal y cambios de impedancia. Maneja el ruido de manera especial permitiendo además obtener alta eficiencia espectral.

Tabla 2.1 Comparación de los diferentes esquemas de modulación para sistema PLC

MODULACIÓN	Eficiencia Espectral	Máx. Tasa de Datos	Robustez en contra de Distorsiones sobre el Canal	Robustez en contra del Ruido Impulsivo	Flexibilidad y Adaptaciones futuras	Compatibilidad Electromagnética
Técnica Spread Spectrum	< 0.1 bits/s/Hz	≈ 0.5	Malo	Razonable	Muy Malo	Muy Bueno
Modulación de una sola portadora en banda ancha	1-2 bits/s/Hz	≈ 2	Bueno	Bueno	Razonable	Malo
Modulación de multipotadoras en banda ancha	1-4 bits/s/Hz	≈ 3	Bueno	Razonable	Razonable	Razonable
OFDM	>> 1 bits/s/Hz	> 10	Muy Bueno	Razonable	Muy Bueno	Bueno

El sistema de modulación más extendido para PLC es OFDM, debido a que utiliza una codificación adaptativa que sea capaz de reconocer la calidad del canal en un momento dado, con el fin de monitorear y extraer información estadística que se utiliza para mejorar la relación de velocidad y confiabilidad en la red. Esta modulación actúa mejor a las interferencias que se presentan en la estructura de las redes eléctricas. Es necesario utilizar OFDM para el funcionamiento del PLC ya que al basar su comunicación en un medio de transmisión lleno de ruidos e interferencias la señal de datos se ve atenuada conforme realiza su recorrido por lo que es necesario implementar una tecnología fiable capaz de asegurar una buena transmisión independientemente de las variaciones del medio.

2.1.2.6 Modulación OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

OFDM tiene su analogía con la multiplexación FDM, donde las múltiples fuentes ocupan un mismo espectro, pero, 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.

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.

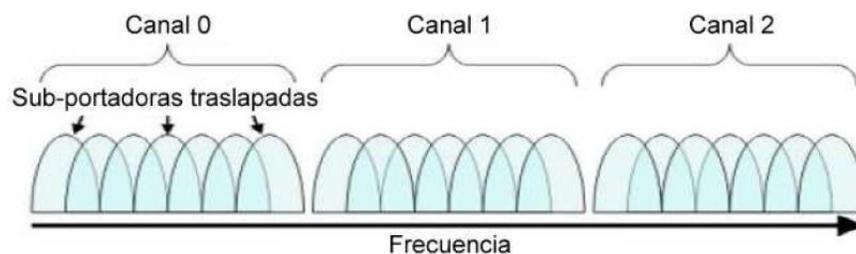


Figura 2.5 Subportadoras OFDM

Con comunicaciones de gran ancho de banda se tiene que 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. 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 de equipos PLC

OFDM es un sistema que resulta eficiente y flexible 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; es decir, OFDM puede usar o dejar de usar cualquier subcanal de frecuencia con el fin de mantener una óptima tasa de error.

2.1.2.7 Funcionamiento de OFDM

OFDM es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase. Emplea N portadoras, por lo que se requiere, por lo menos, N muestras complejas en tiempo discreto para representar un símbolo OFDM. La forma de onda para OFDM se genera a partir de la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) o Transformada Inversa Rápida de Fourier, a cuya entrada se introducen los símbolos que han de modular la portadora. En el receptor, la recuperación de la información se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier.

Cada señal viaja dentro de su único rango de frecuencia; es decir, el portador que se modula contiene datos que pueden ser de texto, voz y video, etc.

OFDM utiliza un sistema de modulación que se conoce como Modulación en Cuadratura de Fase o Multiplexado en Cuadratura de Fase y se designa QAM (Quadrature Amplitude Modulation) por lo que es posible transmitir dos señales,

como una señal única de doble banda lateral, sin portadora, multiplexada o modulada en cuadratura.

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo. Este flujo se segmenta en símbolos. Se obtiene un mapa de símbolo, representado ahora por números complejos, que representan a la señal en el dominio de la frecuencia. Si se van a modular N subportadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo. El siguiente paso es realizar la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) sobre esos N coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y luego debe volver a realizarse la transformación del flujo binario a serie. A la salida del conversor paralelo serie se inserta el intervalo de guarda, lo que hace que las señales retrasadas caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor.

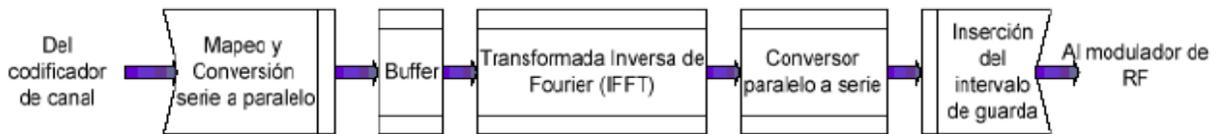


Figura2.6 Diagrama de bloques modulador OFDM

La demodulación de la señal que viene del transmisor es amplificada y luego filtrada. En un proceso posterior se procede a retirar el intervalo de guarda. Se recupera la señal en fase y cuadratura. Esto se consigue con el demodulador que emplea la transformada rápida de Fourier para recuperar la portadora. Con un conversor paralelo-serie, se convierte en una secuencia de símbolos en serie los cuales serán transformados a secuencia de bits de acuerdo a la modulación QAM.

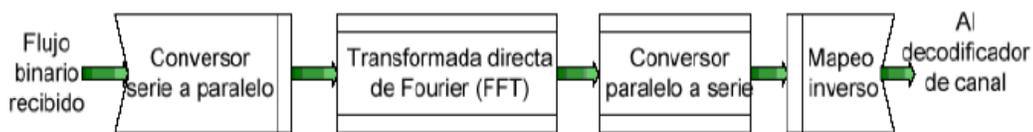


Figura 2.7 Diagrama de bloques demodulador OFDM

2.1.2.8 Beneficios de OFDM

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:

- Es resistente a la interferencia de Radiofrecuencia.
- Excelente mitigación de los efectos de dispersión en el tiempo
- Minimización de los efectos de interferencias dentro de banda estrecha
- Alta eficiencia espectral
- Escalable para altas tasa de datos
- 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)
- 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. Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor.

- Este tipo de modulación es la que mejor se adapta a las condiciones de las redes eléctricas: Interferencias con otras aplicaciones eléctricas o servicios de radio. Pérdida de energía debido a la desadaptación de impedancias. Medio cambiante con el tiempo, con aplicaciones eléctricas plugged/unplugged. El espaciamiento entre portadoras confiere "ortogonalidad" para evitar que las frecuencias se traslapen. Los subcanales están solapados, así se consigue un eficiente uso del espectro ahorrando ancho de banda.
- En condiciones donde el nivel de ruido es bajo, la señal transmite con mayor eficiencia y se envían paquetes con mayor cantidad de bits (máximo 8 bits por portadora por cada uno de los envíos). Conforme aumenta la distancia de transmisión se atenúan más las señales entonces la calidad del canal baja y se empieza a reducir la cantidad de bits que se transmiten en cada uno de los tonos portadores.
- Puede operar con anchos de banda 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, transmitiendo entre 2 MHz a 34 MHz.
- La sincronización es más robusta y simple.
- Tasa de datos de hasta 45 Mbps. Eficiencia de modulación de hasta 7,25 bps/Hz.

La modulación OFDM es un sistema que analiza el canal por el que se va a transmitir la señal, evaluando cuál es el número máximo de puntos que se pueden crear para cada uno de los rangos de frecuencia con el cual se divide la señal. De este modo, maximiza la velocidad de transmisión y minimiza los errores

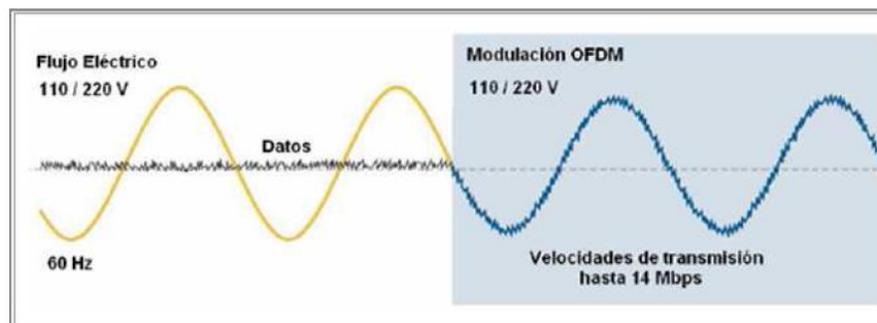


Figura 2.8 Modulación OFDM

2.2 PLC Y EL MODELO OSI

Para la descripción de la operación de los sistemas de telecomunicaciones modernos, generalmente se utiliza el modelo de referencia OSI (“Open Systems Interconnection”) promovido por la ISO para definir la forma en que se comunican los sistemas abiertos de telecomunicaciones, es decir, los sistemas que se comunican con otros sistemas. El modelo de referencia consiste en 7 capas. Estas capas se visualizan generalmente como bloques apilados, por lo que también se le conoce como el "OSI Protocol Stack".

Tabla 2.2 Modelo de Referencia OSI

CAPA	DETALLES
7. APLICACIÓN	Soporta aplicaciones que utiliza directamente el usuario.
6. PRESENTACIÓN	Toma los datos de red, y los presenta a las aplicaciones para darles el formato adecuado para ser usados.
5. SESIÓN	Establece y maneja las conexiones lógicas o sesiones.
4. TRANSPORTE	Manejo de los mensajes de sesión entre los puntos de la red.
3. RED	Manejo de las conexiones lógicas, direccionamiento enrutamiento y manejo del tráfico
2. ENLACE DE DATOS	Manejo y entrega de datos entre dos nodos de la red
1. FÍSICA	Conexiones y medio físico de la red

PLC trabaja principalmente en la capas 1 y 2, es decir en la capa física y en la capa de enlace de datos.

2.2.1 CAPA FÍSICA

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 específica la modulación, la codificación y el formato de los paquetes. La capa física es la encargada de definir las especificaciones eléctricas, mecánicas y funcionales para activar y mantener un enlace físico entre varios elementos. A este nivel, cualquier nodo debe ser capaz de enviar bits a otro nodo conectado a la red eléctrica. La capa física de PLC utiliza OFDM como técnica de modulación para contrarrestar esta desventaja del canal de comunicaciones, además entrega una velocidad de 14 Mbps donde 8 Mbps corresponden a la capa MAC (Control Acceso al Medio) y 6 Mbps se refieren a TCP (Protocolo para el control de la transmisión).

2.2.2 CAPA ENLACE DE DATOS

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 a 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.

En el diseño de la MAC es necesario tener dos consideraciones:

- No hay límite de distancia entre dos nodos.
- Dos nodos pueden transmitir simultáneamente.

Estos inconvenientes podrían ser subsanados implementando como acceso al medio CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) tomado de IEEE

802.11. Un eficiente protocolo de acceso a la capa de red que controla la división de los medios de transmisión entre muchos clientes

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

a) Protocolos con arbitraje: un controlador central coordina los equipos conectados o usuarios, determinando cual puede enviar información en cierto momento. Se requiere acceso a todos los equipos conectados. Se utiliza el protocolo TDMA.

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

En conclusión el equipo PLC puede acceder a dos medios diferentes (Ethernet y PLC) realizando sus enlaces lógicos y de enrutamiento IP. El control o acceso al medio del equipo se puede llevar a cabo utilizando SMTP o el protocolo de control 802.1.

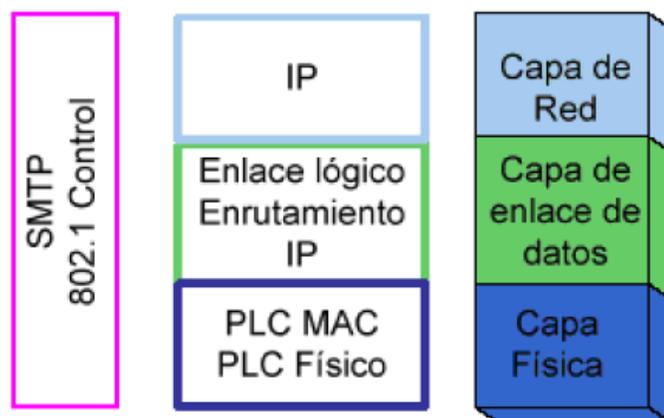


Figura 2.9 Pila de Protocolos de PLC

Para garantizar una comunicación fiable sobre las líneas eléctricas, es necesario tener en cuenta las técnicas de control, corrección de errores y fragmentación de los paquetes grandes en tramas. La MAC indica el modo de transmitir las tramas por el medio. La trama utilizada para la transmisión de datos a través de PLC, consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final de la trama.

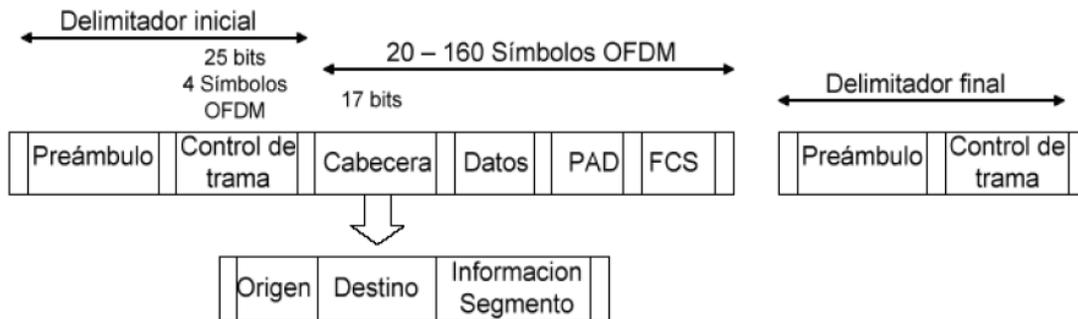


Figura 2.10 Trama utilizada en el PLC

El delimitador 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. Algunos mecanismos de control de errores son:

a) ARQ (Automatic Repeat Request): la fuente no reenvía información hasta que no reciba un reconocimiento positivo por parte del otro extremo (ACK, Acknowledgment); en caso contrario, retransmitirá el mismo paquete. La recepción de

un reconocimiento negativo (NACK, Negative Acknowledgment) de un paquete, indica que éste ha sido recibido por el destino pero existe algún error en el paquete.

b) Go back N: este mecanismo de control de errores es conocido como vuelta atrás, en donde existen N paquetes esperando el reconocimiento por parte del destino. Si no existen errores en la transmisión, el destino envía un reconocimiento positivo por otro lado si existieran errores en alguna trama, se enviaría el reconocimiento negativo y se rechazaría cualquier otra trama hasta que no reciba una versión válida de la trama errónea.

2.3 CAPACIDAD DEL CANAL PLC

De acuerdo con la Ley de Shannon la capacidad de un canal con ruido, es decir la cantidad máxima de información en bps que es posible transferir resulta.

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \dots \text{Ec-2.1}$$

C = Velocidad máxima de transmisión de datos en bps

B = Ancho de banda del canal

S/N = Relación señal a ruido del mismo.

Esta fórmula no es aplicable directamente a un canal de PLC, ya que SNR no es constante con el ancho de banda B , ya que puede variar sustancialmente.

Sin embargo, en la práctica la densidad de potencia de señal transmitida $S_{rr}(f)$ y la densidad de potencia de ruido $S_{nn}(f)$ son dependientes de la frecuencia.

Se los puede tomar dentro de un rango modificando la fórmula:

$$C = \int_{f_u}^{f_o} B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad \text{con } B = f_o - f_u \quad \dots \text{ Ec-2.2}$$

Para obtener la expresión anterior se debe conocer el espectro de densidad de potencia de la señal transmitida $S_{rr}(f)$ la cual es modificada por el comportamiento del canal.

El ancho de banda disponible de un medio de transmisión representa la fuente más importante para una tasa de transmisión de datos alta. El ancho de banda en la práctica se encuentra más o menos fragmentado, por lo que se necesita esquemas de modulación para aprovechar el espectro tanto como sea posible.

Además de la reducción del ancho de banda por regulación, este también es restringido por la atenuación. La capacidad del canal generalmente decrece con la distancia debido a la característica paso bajo de las líneas de potencia.

Para un canal excelente con capacidades teóricas en el rango de los 250Mbps, se puede alcanzar tasas de datos reales de 100 Mbps. Aún para canales clasificados como muy malos, con distancias de hasta 300 m, se pueden alcanzar tasas de 5 Mbps. La Tabla 2.3 muestra las capacidades teóricas estimadas en el tramo de última milla para un canal PLC. Aquí se muestra la diferencia entre la capacidad teórica y la realizable en pruebas piloto y se determina que aún en el peor caso se logra conseguir una capacidad de canal aceptable de 5 Mbps.

Tabla 2.3 Estimación de la capacidad de canal PLC en la "Red de Acceso"

	TASA DE DATOS	
	Mejor caso	Peor caso
Teórica	250 Mbps	14 Mbps
Realizable	100 Mbps	5 Mbps

2.4 ARQUITECTURA DE LA RED PLC

La tecnología PLC utiliza la red de distribución de Media y Baja tensión como medio de transmisión, accediendo así al bucle local del abonado (hogares o empresas). Mediante equipos PLC se enlaza las redes de MT/BT a una red troncal de datos o Backbone esto permite la interacción de redes de datos externas con las redes eléctricas hasta llegar a los usuarios como una red de acceso de gran alcance. Del lado de los usuarios en la red de baja tensión domiciliaria estos se conectan con equipos especiales de usuarios los cuales les permitirán poder acceder a la información que viaja a través de la red eléctrica.

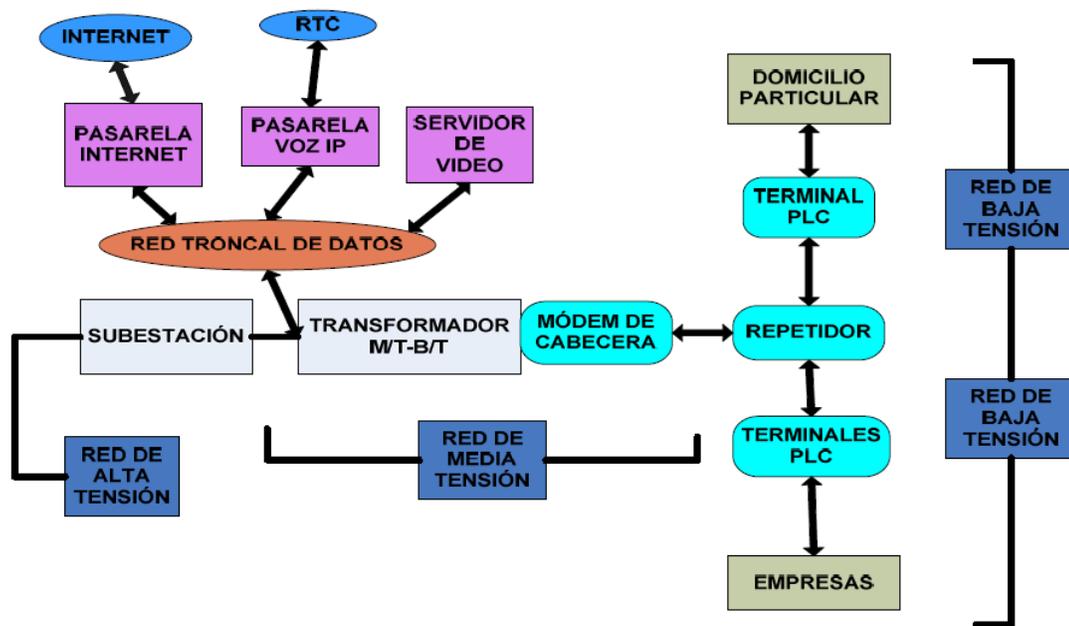


Figura 2.11 Arquitectura de la Red PLC

2.4.1 TOPOLOGÍA

La topología del sistema PLC es realmente la topología de la red de provisión de energía eléctrica, usada como medio de transmisión, y dependerá de algunos factores como son:

a) Ubicación.- El campo que podría abarcar un sistema PLC depende del tipo de sector ya sea comercial, residencial o industrial. Esto tendrá relación con el tipo de usuarios y sus requerimientos.

b) Densidad de uso.- Se refiere al número de usuarios de la red. La cantidad de usuarios serán de baja densidad, en casas unifamiliares y de muy alta densidad en apartamentos, torres comerciales u oficinas de varios edificios.

c) Longitud.- Distancia entre usuario y transformador, que depende de la clase de red o si es zona urbana o rural.

2.4.1.1 Topología física de la Red PLC

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 PLC centrales y los equipos de usuario, para evitar la instalación de elementos extras que incrementan los costos de la red.

Un nodo de enlace troncal, denominado Unidad de Acondicionamiento, 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.

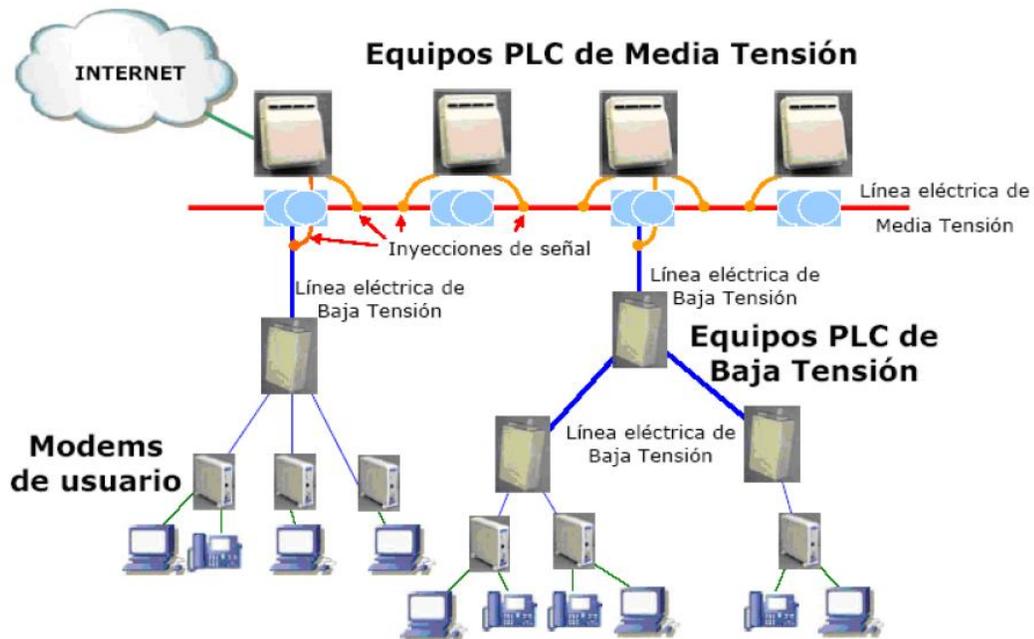


Figura 2.12 Topología tipo árbol de la red PLC

2.4.1.2 Topología lógica de la Red PLC

La topología lógica se refiere a como la información viaja por los medios del cableado eléctrico. En el sistema PLC se considera 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.

Estos dos tipos de transmisiones son consideradas como tipo bus lógico; es decir, conectando las estaciones de red con una estación maestra, la cual provee la comunicación a toda la red de distribución eléctrica. Cada nodo supervisa la actividad

de la línea. 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. Como una red en bus se basa en una "autopista" de datos común, un nodo averiado sencillamente deja de comunicarse; esto no interrumpe la operación.

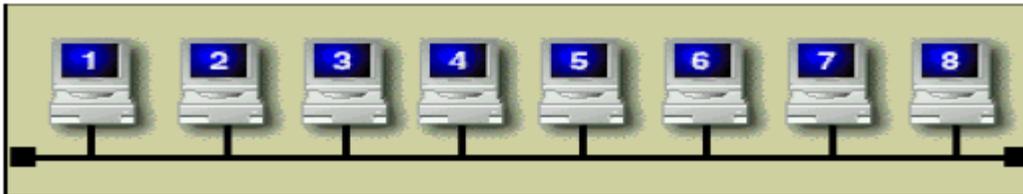


Figura 2.13 Topología lógica tipo bus empleada por PLC

2.4.2 SISTEMAS PLC

Dependiendo del segmento de la red eléctrica en que se aplique la tecnología PLC se pueden crear diferentes sistemas o redes PLC.

2.4.2.1 Sistema de Distribución

Esta sección conecta los equipos PLC instalados en diferentes subestaciones transformadores de la red eléctrica de distribución. Esta interconexión se puede realizar mediante conexiones PLC de media tensión, enlaces de fibra óptica u otras tecnologías como xDSL o LMDS (enlaces de micro-ondas). En algún nodo de la red de distribución, hay un enlace a la red del proveedor de servicios, permitiendo el acceso a los contenidos y servicios de banda ancha.

Los servicios y aplicaciones que se pueden obtener son: acceso a Internet, telefonía convencional, servicios de Voz sobre IP entre otros. El equipo utilizado en esta

sección depende del tipo de servicio a ofrecer pero ha de ser necesario algún tipo de switch para realizar las conexiones. Una red de distribución PLC utiliza las líneas de MT que trabajan en el rango de 45 kV y 66 KV con salida a 13,2 kV, se lleva la señal hasta los centros de transformación de distribución con entrada en 13,2 kV y salida entre 110/220 V BT, desde donde se distribuye la señal para uso doméstico, comercial e industrial. En este sistema las Unidades de Acondicionamiento se interconecta entre sí. El sistema PLC de Media Tensión tiene una velocidad aproximada de 135 Mbps. La tecnología utilizada en los equipos de media tensión es la misma que los equipos de baja tensión, pero adaptados para mejorar su rendimiento, fiabilidad y latencia (retardo). Esto es adecuado en lugares en los que a causa de una baja densidad de clientes, no es rentable desplegar toda una red de distribución. Un backbone con tecnología PLC representa un importante ahorro ya que implica no hacer una inversión en la instalación de nueva infraestructuras ofreciendo un rápido despliegue. La desventaja es que no es una tecnología masiva.

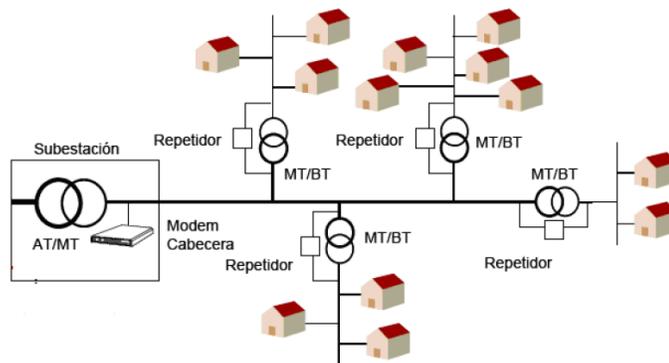


Figura 2.14 Sistema PLC de Distribución que utiliza la red Media Tensión Eléctrica

La red de distribución PLC no tiene problemas técnicos pero sólo se utiliza para transportar datos, no llega a la última milla. La implementación de este tipo de red no es viable ya que el problema radica en las distancias a cubrir, lo que incurriría en la colocación de un gran número de unidades repetidoras que encarecerían esta red.

2.4.2.2 Sistema PLC de Acceso

La Red de Acceso Outdoor utiliza el tendido eléctrico de baja tensión y comprende desde el transformador de distribución hasta el contador de energía eléctrica. En telecomunicaciones se conoce a este tramo como "última milla".

Un equipo de cabecera estándar sirve aproximadamente a unos 50 usuarios, ofreciéndoles un espectro cercano a los 20 MHz en el caso de clientes próximos, o entre 1 MHz y 10 MHz para clientes lejanos. El bucle local es el mismo cable de la acometida eléctrica del hogar. Complejas técnicas de transmisión digital permiten aprovechar estos cables para llevar las señales de los servicios de telecomunicación. Se utiliza el rango entre 3 MHz y 12 MHz el cual tiene mejor respuesta a la distancia. Transmite velocidades de 45 Mbps.

La tecnología PLC tiene mejores alcances en este tramo de la red eléctrica.

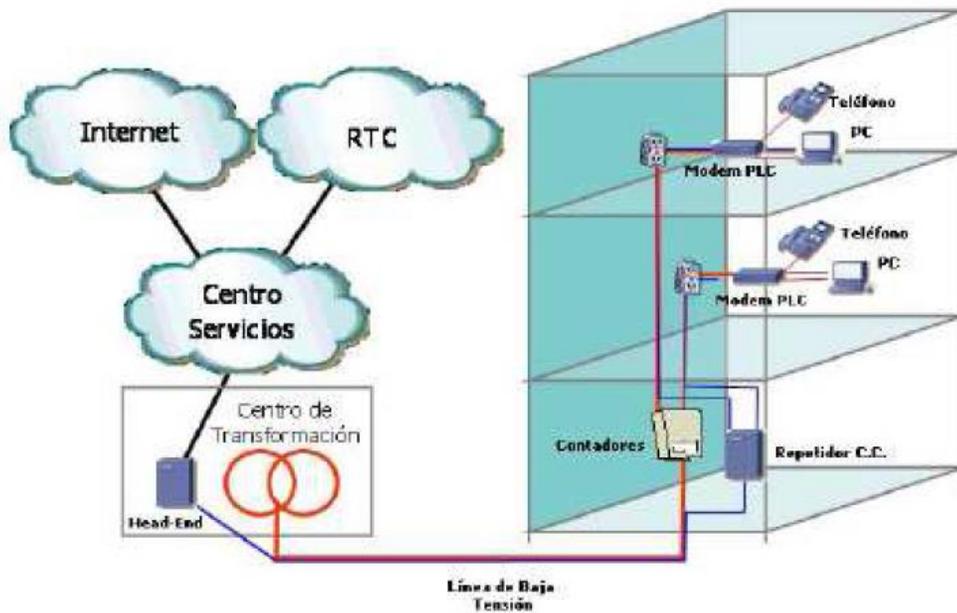


Figura 2.15 Sistema PLC de Acceso

2.4.2.3 Sistemas de Gestión

La administración de la red juega un rol vital ya que se debe garantizar la mejor utilización del medio de transmisión compartido y a la vez proveer una calidad de servicio satisfactoria. Los sistemas PLC presentan normalmente interfaces de gestión como el Protocolo de administración simple de la red SNMP, navegador de red (http) o Telnet que permiten el monitoreo del estado de la red para recoger las estadísticas que proporcionan los datos, diagnósticos, configuración y actualizaciones. Estos componentes soportan otras capacidades como la prioridad de tráfico, la asignación de ancho de banda, la calidad de servicio (QoS) y LANs virtuales (VLANs) (802.1Q).

El propósito del Monitoreo de la red PLC es para medir la variación de la respuesta del canal a través del tiempo. Las características de un canal de PLC varían con el tiempo, por tanto, el canal no es constante, lo que afecta el rendimiento de la transmisión. Este efecto significa que el equipo PLC requiere tener un mecanismo para adaptar sus parámetros a las características reales de ese vínculo, a fin de optimizar la transmisión de información entre los dos puntos del enlace.

Herramientas de administración: A través de una herramienta de software de interoperabilidad se puede configurar el equipamiento, administrar la red y realizar el mantenimiento remoto de toda la Red PLC. Este sistema de gestión centralizada de redes permite:

- Interoperabilidad (tanto a nivel de dispositivos como del sistema o servicio)
- Mayor flexibilidad y la funcionalidad del sistema
- Una plataforma robusta que permita la instalación, configuración, vigilancia y el control de las redes eléctricas que llevan las señales de datos.
- Perfecta integración con las redes IP
- Verdadera conectividad de extremo a extremo entre personas y dispositivos usando las redes eléctricas.
- Infraestructura y herramientas de apoyo

2.4.2.4 Sistema PLC In-Home

También conocido como Red In-Home o Red Doméstica, comprende el tramo que va desde el contador de energía hasta los toma corrientes al interior de los hogares. Utiliza la red eléctrica interior del hogar, permitiendo comunicaciones internas y la creación de redes de áreas locales. El segmento de distribución doméstica presenta características similares a los del Sistema PLC de Acceso, pero diferenciadas por las dimensiones: la distancia a cubrir es menor (del orden de 50 m) y el número de ramas también es menor y más corto. En este tramo se utiliza el rango de frecuencia de 13 MHz a 30 MHz debido a que es más susceptible a la distancia. Permite velocidades de transmisión de 2 Mbps compartido entre los usuarios que acceden a la red.

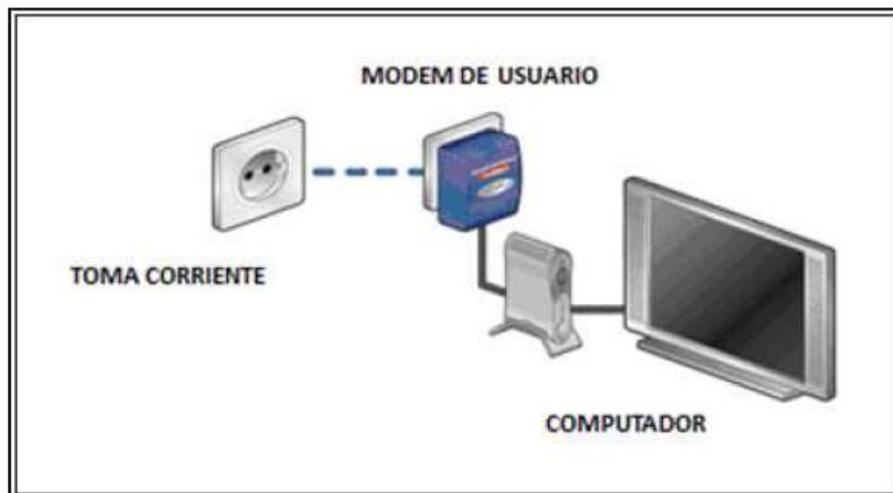


Figura 2.16 Sistema PLC In-Home

2.4.3 CONFIGURACIÓN DE UNA RED PLC

Una red PLC se encuentra configurada por los siguientes elementos:

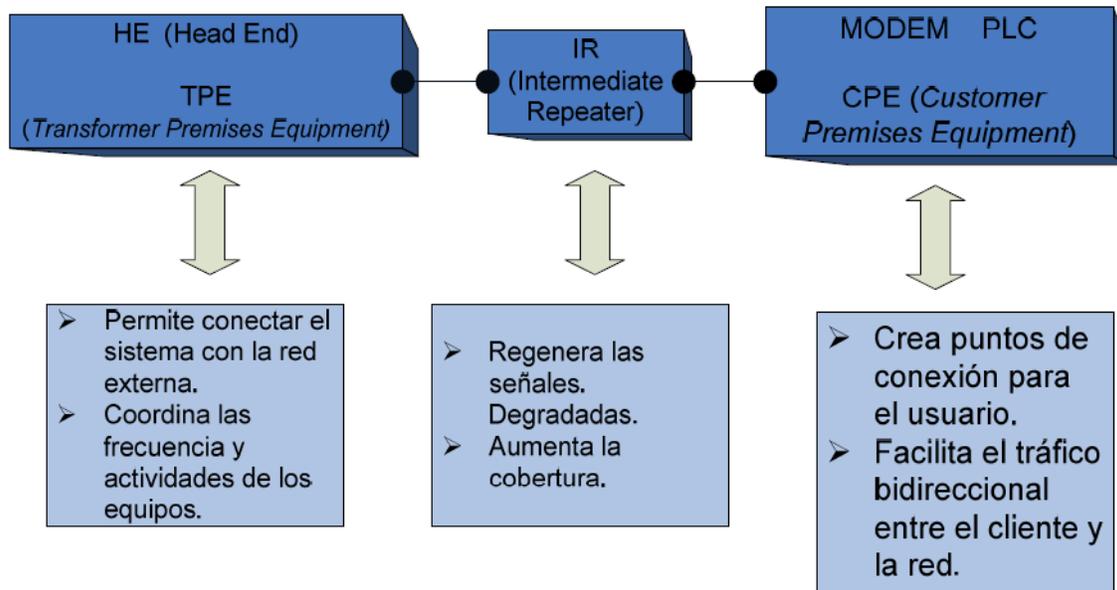


Figura 2.17 Elementos de la Red PLC

2.4.3.1 Unidad de Acondicionamiento

Es el componente principal en la topología de una red PLC, emite señales de baja potencia (50mW) y coordina las frecuencias y actividades del resto de equipos que conforman la red de manera que se mantenga constante el flujo de datos durante la transmisión. Además permite conectar el sistema de la red a un backbone de telecomunicaciones (WAN, Internet, etc.) o al proveedor de servicios de Internet (ISP), por lo que es el interfaz entre la red de datos y la red eléctrica.

Las Unidad Acondionadora (UA) PLC se ubican en cada subestación de distribución eléctrica, cerca al transformador de media a baja tensión. Esto depende realmente del modelo del sistema PLC que se implemente. Una Unidad

Acondicionadora (UA) puede llegar a contener unas doce unidades transmisoras con una estructura típica de armario o rack, integradas en un mismo módulo. Cada una puede comunicar un canal y ofrecer servicio a unos 50 usuarios normalmente. Los datos ingresan a estas estaciones y son incorporados a la señal eléctrica. La elección de su ubicación es un aspecto clave de la arquitectura de una red PLC, ya que es esencial que la introducción del flujo de datos tenga la máxima cobertura o alcance posible.



Figura 2.18 Unidad de Acondicionamiento instalada en una Cámara de Transformación

Existen Unidades de Acondicionamiento de MT que transmiten las señales a una distancia de 1500 m y las Unidad Acondicionadora (UA) de Baja Tensión (BT) tienen un alcance de 150 m.

Estos equipos poseen varias tarjetas, lo que permite flexibilidad en el desarrollo del diseño.

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 Media Tensión (MT).

Tarjetas “Fast Ethernet” o “Gigabit Ethernet”: Permiten la interconexión de subestaciones a través de interfaces RJ-45 o GbE convencionales. Esta tarjeta permitirá la conexión del enlace de FO a la UA.

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

La UA poseen los equipos más robustos y costosos de la red, por lo que deben ubicarse en un lugar que cumpla requisitos de seguridad y fácil alcance.

2.4.3.2 Unidad Repetidora

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 Unidad Repetidora (UR) aumenta la cobertura del servicio y se conecta a las líneas eléctricas mediante acopladores eléctricos.

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.

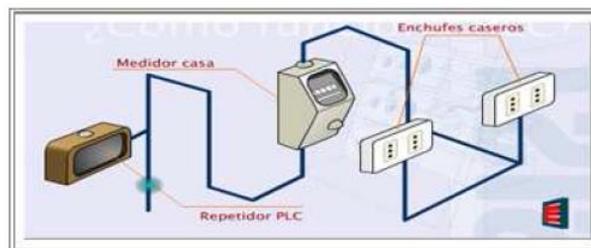


Figura 2.19 Posición de la Unidad Repetidora en la Red Eléctrica

2.4.3.3 Unidad de Usuario (Módem)

Dispositivos terminales que se enchufan en la Red de suministro eléctrico, para utilizar esta como medio del enlace de datos. Permite conectar un equipo a la red de datos establecida por la Unidades Acondicionadoras (UA). Se ubica en los hogares de los usuarios. Su función es convertir cada toma de corriente en un punto de conexión de terminal de usuario.

Este adaptador eléctrico es un dispositivo pasivo. Que se encarga de inyectar la señal de alta frecuencia de datos en la red eléctrica. Consta básicamente de unidades acondicionadoras (UA) que filtran las señales para hacer fluir la energía eléctrica a través de las tomas de corriente y a su vez dejar pasar los datos, liberándolos mediante un interfaz PCI, USB, Ethernet, Wireless LAN u otros, facilitando el tráfico bidireccional entre el cliente y la red. Este equipo sería el equivalente al “splitter” de ADSL. Las UU reportan sus actividades a las unidades de acondicionamiento.



Figura 2.20 Unidad de Usuario Módem

Su arquitectura interior está conformada de tres partes:

1. Filtros y acoplamiento de la señal.
2. Procesamiento interno de la señal (DSP).
3. Interfaz de conexión hacia el usuario.

2.5. ELEMENTOS ADICIONALES PARA ESTRUCTURA DE RED PLC

2.5.1 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. Los transformadores de distribución atenúan significativamente la mayoría del espectro de RF utilizado por PLC ya que actúa como circuito abierto. Una solución es crear un camino para el paso de la señal de alta frecuencia en la que viajen los datos este camino se denomina bypass.

Es fundamental que este camino se limite sólo a la señal PLC y no a los 60 Hz de electricidad. Las ventajas del bypass es su bajo costo, facilidad de instalación, mantenimiento y que no disminuye la fiabilidad eléctrica. El bypass, como se muestra en la Figura 2.21, está compuesto de un acoplador inductivo de MT, una UA y un acoplador BT. Es preferible la instalación de soluciones inductivas por comodidad.

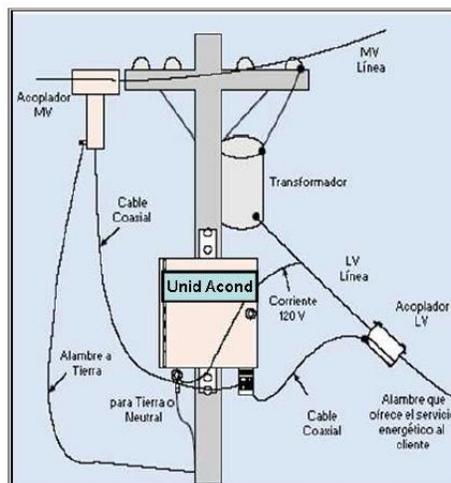


Figura 2.21 Bypass en el Transformador eléctrico

2.5.2 Tipos de acoplamiento

Uno de los retos de los sistemas PLC es el método a utilizar para acoplar la señal de comunicaciones en la red eléctrica. 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. Existen dos métodos de acoplamiento: acoplamiento capacitivo paralelo a la red eléctrica o acoplamiento inductivo mediante el uso de un núcleo magnético.

2.5.2.1 Unidades de Acoplamiento Capacitivo

Este tipo de acoplamiento inyecta la señal en las líneas eléctricas por contacto directo permitiendo el acoplamiento mediante tensión a través del núcleo. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda, optimizando la adaptación de impedancias entre la línea de media ó baja tensión y el equipo de comunicaciones PLC. Este tipo de acoplamiento es muy utilizado para líneas aéreas y en instalaciones de interiores. Presenta una mínima atenuación de la señal, es de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, etc. y se conecta entre fase y neutro. Tienen menor pérdida que los inductivos, pero su manipulación exige eliminar la corriente por los cables durante su instalación.



Figura 2.22 Unidad de acoplamiento capacitivo

2.5.2.2 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.



Figura 2.23 Unidad de acoplamiento inductivo

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.

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.

A continuación se presenta más detalladamente y desde el punto de vista técnico el funcionamiento de esta tecnología.

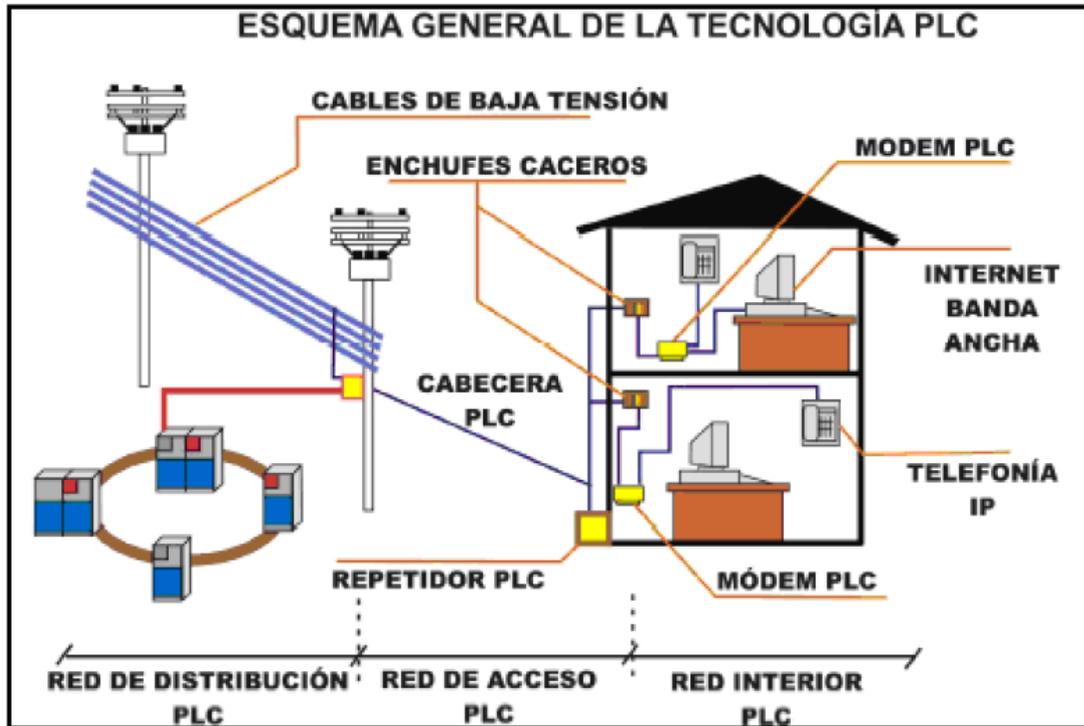


Figura 2.24 Esquema general de la tecnología PLC

La comunicación PLC por los cables eléctricos requiere de un modem cabecera en el centro de transformación eléctrica para enviar la señal.

En el domicilio del usuario se instala un modem PLC (similar a los de ADSL) donde se podrán conectar sus equipos de transmisión de voz y datos como computadoras, teléfonos, impresoras y otros dispositivos (como alarmas, aire acondicionado, etc.).

La tecnología Power Line Communications basa su estructura de funcionamiento, en la utilización de los cables eléctricos de baja tensión como medio de transporte, permitiendo entregar servicios de transferencia de datos.

Básicamente, esto transforma al cableado de baja tensión, en una red de telecomunicaciones donde los enchufes de cada hogar u oficina, se vuelven puntos de conexión.

La arquitectura de esta red consta de dos sistemas formados por tres elementos.

El primer sistema denominado de Outdoor o de Acceso, cubre el tramo de lo que en telecomunicaciones se conoce última milla, y que para el caso de la red PLC comprende la red eléctrica que va desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el medidor de la energía eléctrica. Este primer sistema es administrado por un equipo cabecera (primer elemento de la red PLC) que conecta a esta red con la red de transporte de telecomunicaciones o backbone. De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

El segundo sistema se denomina de Indoor, y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes o enchufes ubicados al interior de los hogares. Para ello, este sistema utiliza como medio de transmisión el cableado eléctrico interno. Para comunicar estos dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor, segundo elemento de la red PLC. Este equipo, que normalmente se instala en el entorno del medidor de energía eléctrica, está compuesto de un modem terminal y equipo cabecera. El primer componente de este repetidor recoge la señal proveniente del equipo cabecera del sistema outdoor y el segundo componente se comunica con la parte terminal del repetidor e inyecta la señal en el tramo indoor.

El tercer y último elemento de la red PLC lo constituye el modem terminal o modem cliente, que recoge la señal directamente de la red eléctrica a través del enchufe.

De esta manera tanto la energía eléctrica como las señales de datos que permiten la transmisión de información, comparten el mismo medio de transmisión, es decir el conductor eléctrico.

A este modem se pueden conectar una computadora, un teléfono IP u otro equipo de comunicaciones que posea una interfaz Ethernet o USB. Por su parte en la



tecnología PLC el equipo cabecera (equipo emisor) emite señales de baja potencia (50mW) en un rango de frecuencias que van desde 1.6 Mhz hasta los 35 Mhz, es decir en una frecuencia varios miles de veces superior a los 60 Hz en donde opera la energía eléctrica. Al otro extremo del medio de transmisión (el cable eléctrico) existe un receptor (equipo terminal) que es capaz de identificar y separar la información que ha sido transmitida en el rango de frecuencia indicado.



CAPÍTULO III **Ventajas,** **Desventajas y Aplicaciones de la** **Tecnología PLC**

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de la tecnología PLC. Es importante considerar los siguientes puntos puesto que PLC aún no se encuentra en su etapa total de madurez y es necesario tenerlas presentes, determinando si es conveniente utilizar esta tecnología sobre otras.

3.1 Ventajas

Los beneficios que traería esta tecnología serían múltiples. Las empresas proveedoras de electricidad podrían ingresar fuertemente al ámbito de las telecomunicaciones y, lo que es mejor, sin incrementar sus costos pues la conexión es posible hacerla desde cualquier enchufe disponible.

Una ventaja importante para el desarrollo de las comunicaciones en países del tercer mundo, si tomamos en cuenta que la inversión es reducida debido a que las redes eléctricas ya existen en todos los países de nuestro continente. En cualquier caso, las posibilidades de interconectar a las personas y a los países mediante el tendido eléctrico harían accesibles muchos servicios como Internet, y lo transformaría en un medio masivo, ampliando el número de potenciales.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que en todos los hogares hay enchufes, con lo que no es necesario realizar incómodas obras ni molestas cableadas para obtener el servicio ya que PLC utiliza los cables que ya están instalados, lo que hace posible conectarse a Internet o hablar por teléfono desde cualquier enchufe. En lo que respecta a la conexión a Internet se obtienen excelentes velocidades. Carece de las limitaciones del ADSL o del Cable y, al ser la red eléctrica la más extendida del planeta, puede llegar a pueblos o localidades que otras tecnologías no pueden abastecer, ya que no les sale económicamente rentable.

Resumiendo, las ventajas que ofrece PLC son las siguientes:

- Acceso a las redes de datos en sitios remotos donde la única red disponible es la eléctrica.

- El PLC no necesita obra civil adicional.
- Menores costos de implementación y operación frente a tecnologías inalámbricas y satelitales.
- Proceso de instalación sencillo y rápido para el cliente final, debido a que no se requiere mano de obra muy especializada.
- Servicio triple play (voz, datos, TV) y suministro de energía eléctrica al mismo tiempo.
- Ofrece servicios de banda ancha, inclusive puede llegar a alcanzar tasas de transmisión de hasta 200 Mbps.
- Conexión permanente a Internet.
- Cada enchufe eléctrico puede ser utilizado para la conexión a Internet, telefonía, televisión interactiva y seguridad, entre otras.
- Opción alternativa para la última milla.
- Flexibilidad para el uso de frecuencias programables.
- Alta eficiencia.
- Mayor competencia en el mercado, por consiguiente una posible reducción de precios y mejor calidad de los servicios.

3.2 Desventajas

La tecnología PLC aún ha de enfrentarse a una serie de problemas que es necesario resolver. El primer problema que debe superar es el propio estado de las líneas eléctricas. Si las redes están deterioradas, los cables se encuentran en mal estado o tienen empalmes mal hechos no es posible utilizar esta tecnología.

La distancia también puede ser una limitación, la medida óptima de transmisión es de 100 metros por lo que, a mayores distancias, se hace necesario instalar repetidores. Además, 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 hacia otras señales en la misma banda de frecuencias como de radiación de datos.

Los fabricantes de electrodomésticos tienen un especial cuidado en todo lo referente a su correcto funcionamiento, pero muy pocos se preocupan en que no generen interferencias en otros equipos. Así, taladros, motores, etc., provocan 'ruido' en las líneas que impide mantener la calidad de la comunicación. Para evitarlo, es necesario localizar los equipos que los causan y aislarlos mediante un filtro. Todo lo anterior se ha traducido en problemas regulatorios en distintos países, lo que lleva a pensar en una solución que permita la implementación sin problemas de esta tecnología.

Otro 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 estandarización de distintos sistemas PLC.

Resumiendo, las desventajas PLC son las siguientes:

- Carencia de normas, estándares y regulación.
- Interferencia con otros sistemas de comunicaciones.
- Canal de comunicación hostil y con atenuación variable.
- Producción no masiva de equipos PLC.
- Incompatibilidad de equipos que no pertenecen a una estandarización y homologación.

Existen diferentes tecnologías de acceso, cada una con características particulares, las cuales se muestra en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de tecnologías de acceso.

Tecnologías	Simplicidad de Implementación	Rango de Espectro	Simétrico/Asimétrico	Capacidad	Rango Máximo de Distancia	Ventajas	Desventajas
HFC	Fácil si el cable de red de TV ya existe, caro si es necesario implementar la red.	5-1000 MHz 6-8 MHz	Asimétrico	1 Mbps a 100 Mbps.	Mayor a 100 Km usando amplificadores.	Se utiliza la red de cable de TV existente.	Ancho de banda limitado y asimétrico.
ADSL	Fácil donde se puede utilizarse un nodo de servicio telefónico existente.	Arriba de 1.1 MHz.	Asimétrico	1.5 Mbps a 12 Mbps.	Mayor a 5.4 Km.	Utiliza nodos de servicio telefónico existente.	Atenuación por distancia y asimétrico.
PLC	Fácil. No necesita un nuevo cableado.	1-30 MHz.	Simétrico	200 Mbps en medio compartido y de 2 a 4 Mbps por usuario.	Mayor a 3 Km en media tensión y arriba de 200 m en baja tensión.	Utiliza la red de energía existente.	No existen normas disponibles.
Satelital	Fácil pero caro.	Ku-, Ka-, C-, L y banda S, 1.5 a 3.5, 3.7 a 6.4, 11.7 a 12.7, 17.3 a 17.8 y de 20 a 30 GHz.	Asimétrico	Mayor a 155 Mbps.	1000 a 36000 Km.	Cobertura capaz de soportar Multicast.	Caro para implementar y construir infraestructura por usuario.
Wimax	Fácil. No necesita de línea de vista	2 a 11 GHz.	Simétrico	Mayor a 70 Mbps.	Mayor a 50 Km.	No requiere de línea de vista directa.	Limitación de potencia de 1 a 2 Km.
Fibra Óptica	Difícil.	Infrarrojo THz región del espectro RF.	Simétrico	Mayor a 2.5 Gbps.	4 Km.	Baja atenuación y alta capacidad de transmisión.	Requieren trato delicado por curvaturas.

3.3 Aplicaciones del PLC.

Las aplicaciones de estos sistemas se pueden englobar en dos grandes conceptos los cuales son:

- Aplicaciones internas.
- Última milla.

3.3.1 Aplicaciones Internas

También conocida como In-Home, donde los sistemas PLC de banda ancha son atractivos como servicios de datos en edificios, porque no requieren ninguna instalación adicional, simplemente mantener conectados los equipos. Dentro de un mismo edificio estas aplicaciones permiten conectar periféricos como heladeras, microondas, impresoras, fotocopadoras, dispositivos de comunicaciones, etc. y configurar redes de computadoras.

El edificio podría ser una casa Figura 3.1, un bloque de departamentos u oficinas. Consideramos que en esos casos los trayectos de tendido de Red eléctrica de potencia no superan los 100m entre los dispositivos. Se ha desarrollado esta tecnología con éxito para estas aplicaciones de corta distancia e internas, además, cumpliendo con los requisitos de Compatibilidad Electromagnética. Esto es posible gracias a la potencia relativamente baja, necesaria para establecer las comunicaciones en la Red eléctrica y a las cortas distancias que existen en una casa, edificio u oficina.



Figura 3.1 Aplicación de PLC interna.

El desarrollo de esta tecnología para conformar redes de computadoras tipo LAN, está muy desarrollada ya que permite interoperabilidad de sistemas entre dispositivos de distintos fabricantes; a un costo relativamente bajo, y dada su forma de conexión es muy fácil de conectar y de utilizar. Otras aplicaciones incluyen el uso de estos sistemas para distribución de sonido, video, y equipos con capacidad de controlar, dentro de la casa, cualquier dispositivo hogareño.

3.3.2 Última Milla

Estas aplicaciones incluyen la distribución en oficinas y casas o edificios de Internet y otros servicios por parte de proveedores de servicio de Banda Ancha a través de la Red de distribución eléctrica como se puede ver en la Figura 3.2. Además de la conexión de banda ancha de Internet, también permite proporcionar voz (telefonía IP), video bajo demanda (VOD), sistemas de vigilancia, entretenimientos y aplicaciones en medición de servicios como electricidad, agua, gas, etc..

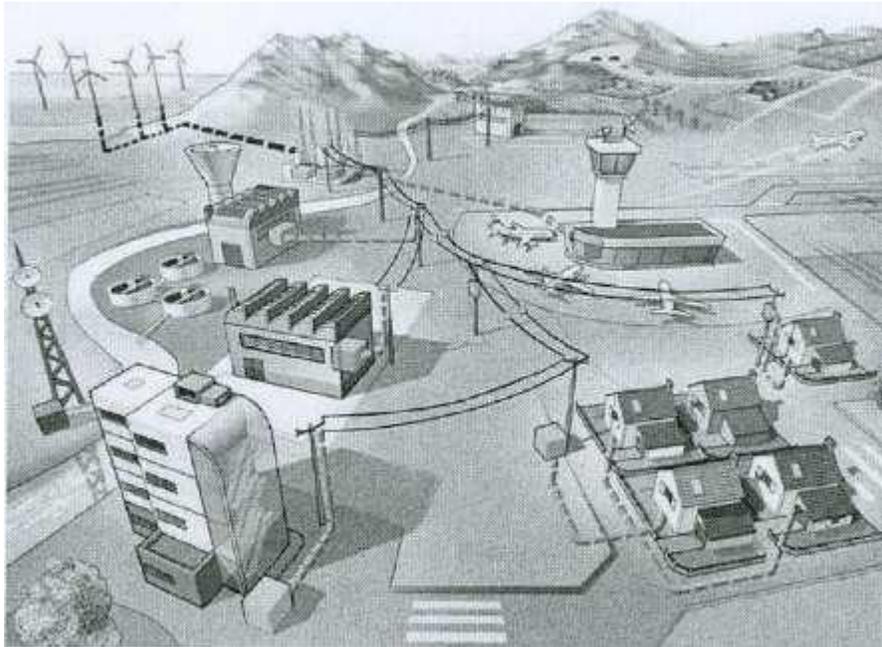


Figura 3.2 Conexión de última milla PLC.

En los costos para brindar servicios de Banda Ancha, una parte importante está conformada por el costo de la denominada “última milla” para llegar al usuario final. La existencia de una Red de distribución eléctrica domiciliaria y en edificios, representa una interesante posibilidad ya que no requiere ningún cableado especial. Esta tecnología está ya desarrollada y en proceso de optimización, especialmente en lo que hace a lograr menores niveles de señal sobre la Red eléctrica y cumplir con los requerimientos de compatibilidad electromagnética.

Dentro de la tecnología PLC, es considerada como la red de acceso a aquella comprendida desde el transformador del centro de distribución hasta el enchufe de corriente del destinatario final. La red de acceso está comprendida en el tramo de baja tensión, tal como fue explicado anteriormente. Esta es la parte de la red eléctrica indispensable para la transmisión de datos.

En la figura 3.3 se puede observar un ejemplo de una red de acceso PLC, el cual muestra claramente el trayecto que sigue dicha red a través del tramo de baja tensión de la red eléctrica; asimismo, se pueden observar los diferentes equipos utilizados, mismos que serán detallados más adelante.

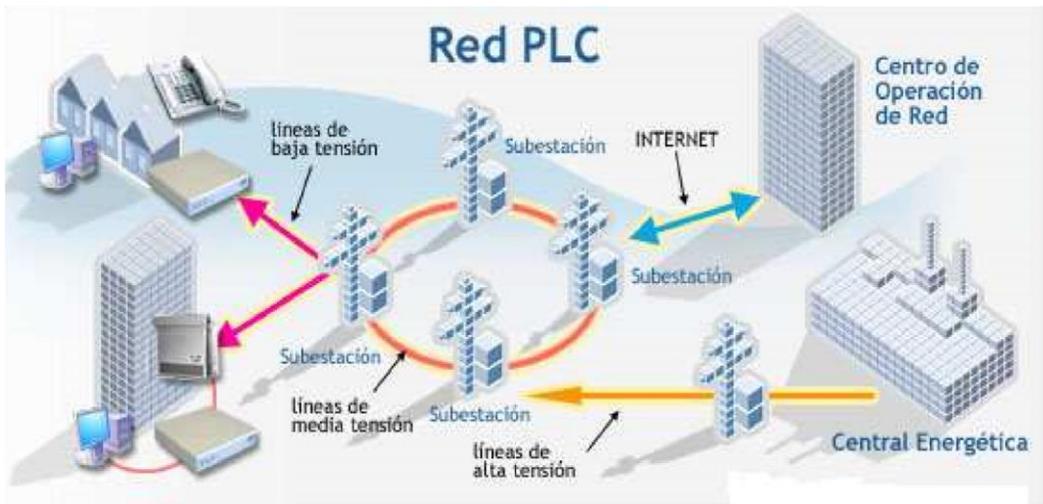


Figura 3.3 Estructura de una red de acceso PLC.



CAPÍTULO IV **Implementación** **de la Tecnología PLC IN-HOME**

4.1 Propuesta esquemática

Se plantea un problema muy común que es la cobertura de WIFI y falta de nodos para conectar a la red dispositivos que no cuentan con WIFI o en todo caso el mal planteamiento en la construcción de la casa y en su defecto alguna modificación, la cual no contemple líneas de Red (Figura 4.1); para estos tiempos es indispensable ya que con la tecnología y el internet de las cosas (Internet of Things IoT), desde un celular hasta la lavadora de una casa es necesaria una conexión a la red para todos estos dispositivos.

Así también se pueden contemplar recintos históricos, en los cuales está estrictamente prohibido la perforación o en su defecto alguna instalación extra a la que ya existe, siendo esto un problema ya que la conexión a la red es ya, una necesidad en la actualidad.

De acuerdo con lo anterior no es viable realizar una instalación de cableado de red, y que se tiene la necesidad de una cobertura en toda la casa, en donde los espacios son muy grandes y un modem que concentre un solo punto a radiar para toda la casa no es suficiente.

Para tener en funcionamiento la tecnología PLC es necesario un cableado eléctrico IN-HOME bifásico, por lo que en general para la iluminación y tomacorrientes de cargas bajas usa cable No. 12, el cual tiene una tolerancia de 30 amperios, y este solo es utilizado como medio de Transmisión no afecta en la velocidad ni en el desempeño de la tecnología siempre y cuando este en buen estado.

En la Figura 4.1 se muestra un esquema de una red PLC de color rojo la línea de red eléctrica que se debe contar en la casa la cual solo tiene como limitante que entre dispositivos radian a 30 metros como máximo con dos paredes de atenuación, de aquí entonces se plantea cada caso en específico con las circunstancias y adecuaciones a cada casa, por lo que de esto se derivan el número de dispositivos

que se van a ocupar y las posiciones en donde se van a ubicar, cada caso es un estudio específico por lo cual la propuesta aquí es esquemática.

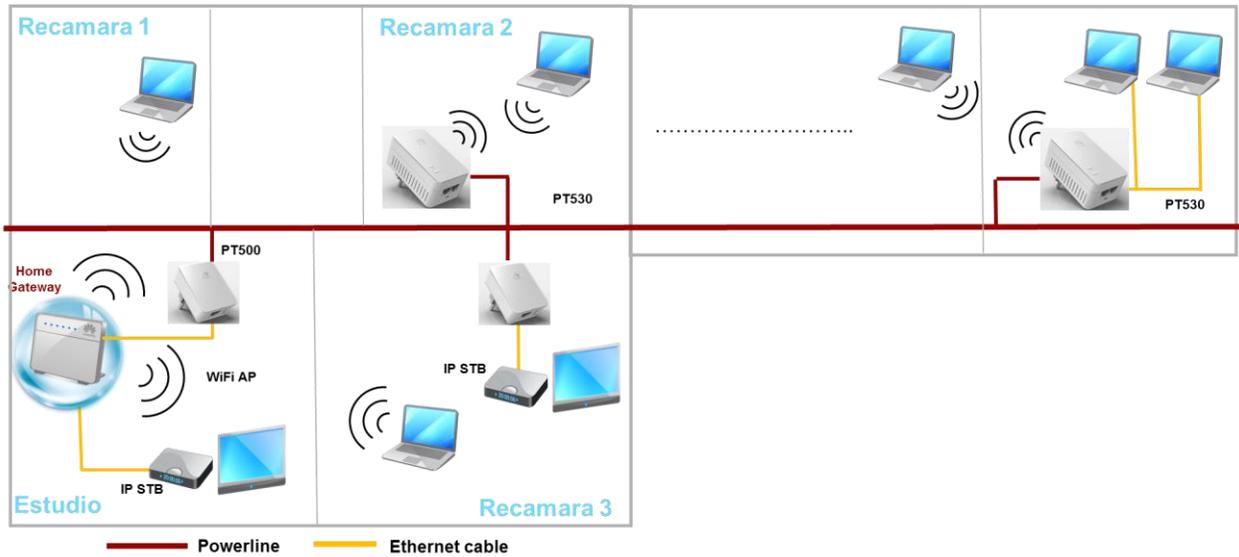


Figura 4.1 Esquema de una Red en Casa

La propuesta podría ser una casa (ver Figura 4.1), un bloque de departamentos u oficinas. Consideramos que en esos casos los trayectos de tendido de Red eléctrica de potencia no superan los 100m entre los dispositivos. Se ha desarrollado esta tecnología con éxito para estas aplicaciones de corta distancia e internas, además, cumpliendo con los requisitos de compatibilidad electromagnética. Esto es posible gracias a la potencia relativamente baja, necesaria para establecer las comunicaciones en la red eléctrica y a las cortas distancias que existen en una casa, edificio u oficina. La cual se puede resolver considerando las especificaciones de los distintos proveedores haciendo un análisis de cada proveedor que distribuye esta tecnología en México, así también dar opciones en cuanto a costos pues algunos de estos están al alcance de todo público, en otros es necesario ser comprador de un mínimo de mil unidades, contemplar el cambio de moneda y así elegir lo más conveniente, practico y eficiente logrando las condiciones deseadas.

4.2 Proveedores México

En México, al realizar una búsqueda de los proveedores que nos pueden facilitar esta tecnología tenemos a:

AXTEL

Ofrece solo la marca TREDNET de dispositivos con tecnología PLC el cual se observa en la Figura 4.2 el cual tiene las siguientes características:

Potencia

NA/AP 17.5dBm

Cobertura

90mts/AP 60mts

Velocidad máxima

Hasta 50 Mbps

Estándar Ethernet

10/100 Mbps

Estándar WiFi

b,g,n 300Mbps

Frecuencia de Operación

Single Band @2.4

Usuarios recomendados

1 – 5

En el cual menciona, fácil instalación y se venden ambos productos, no se da la facilidad de solo obtener uno o dos de un mismo tipo con la adaptabilidad de la necesidad de cada usuario.



Figura 4.2 PLC TREDNET

Con un precio de \$ 3,199.00°°

TELMEX

Ofrece dos marcas una TP-Link Figura 4.3 y Zyxel Figura 4.4 en los cuales los menciona como Kit de Extensor de WIFI, dejando así esta tecnología como solo una extensión de WIFI, sin la posibilidad de configuración personal en base a las necesidades del usuario final, también mencionando que es compatible con cualquier Modem TELMEX lo cual limita más la configuración; ya que estos dispositivos que poseen la tecnología PLC están licitados por TELMEX la cual solo adquieren las mismas características del Modem con una interfaz limitada por TELMEX.

A continuación se mencionan características de cada uno de ellos.

TP-Link

Modelo: TL-WPA 4220

SKU: 1042782

Características:

- Extiende la cobertura de la red a través del cableado eléctrico
- Funciona con cualquier MODEM Telmex
- Ideal para conexión de celulares y TV's inteligentes, laptops, etc.
- Diseño compacto y fácil instalación
- Modo de ahorro de energía
- Transferencia de datos de hasta 300 Mbps
- Banda de frecuencia de 2.4
- Botones; Reinicio, Interruptor y Wi Fi Clon (WPS)

Especificaciones técnicas:

Marca: TP-LINK

Modelo: TL-WPA 4220

Altura: 40 mm

Ancho: 54 mm

Peso: 600 gramos

Ranura de Interfaz: Wireless 802.11n

2 Puertos Ethernet

1 Botón WPS

Velocidad: 300 Mbps

Cantidad de puertos LAN: 2

Encriptación: WPA2 - AES

Amplificador/ Extensor/ Router: Extensor



4.3 PLC TP-Link

Zyxel

Modelo: PLA4231 Wi Fi

SKU: 1042282

Características:

Mejora el alcance de la red inalámbrica

Funciona con cualquier MODEM Telmex

Ideal para conexión de celulares y TV's inteligentes, laptops, etc.

Extiende la cobertura de la red a través del cableado eléctrico

Diseño compacto y fácil instalación

Modo de ahorro de energía

Especificaciones técnicas:

Transferencia de datos de hasta 500 Mbps

Banda de frecuencia de 2 MHz a 67.5 MHz

Botones; Reinicio, Interruptor y WPS

Dimensiones PLA4231: 99x60x37 mm / Peso 126 g

Marca: ZYXEL

Modelo: PLA4231 KIT

Altura: 37 mm

Ancho: 60 mm

Peso: 126 gramos

Ranura de Interfaz: Wireless 802.11n

2 Puertos Ethernet

1 Botón WPS

Velocidad: 300 Mbps

Cantidad de puertos LAN: 2

Encriptación: WPA

Amplificador/ Extensor/ Router: Extensor Descripción Corta: EXTENSOR

ZYXEL PLA4231 WIFI 500MBPS



Figura 4.4 PLC Zyxel

Ambos con un precio de \$ 629.00°°

4.3 Proveedor Huawei

Sabiendo las limitaciones que los únicos proveedores de México ofrecen, se sugiere un dispositivo que se pueda configurar de manera personalizada; para este diseño la marca Huawei será la que se ocupará por sus características técnicas, sabiendo de antemano que Huawei requiere mínimo una compra de 10,000 dispositivos para poder ser un cliente de ellos, siendo esto una oportunidad de emprender con esta tecnología la alternativa de diseño de redes.

Los modelos que se sugieren son:

PT500– Adaptador PLC (Power Line Communication) Figura 4.5



Figura 4.5 Adaptador PLC PT500

El cual tiene la función principal, de poner en la línea eléctrica los datos para empezar a utilizarla como línea de comunicación.



Figura 4.6 Representación de la introducción de datos a la línea eléctrica

Sus características técnicas son:

Especificaciones

Chipset	<ul style="list-style-type: none"> • Qualcomm AR7420
Desempeño	<ul style="list-style-type: none"> • 500Mbps PHY • Hasta to 95Mbps UDP • Hasta to 95Mbps TCP
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • Uplink: Power Plug, Home Plug AV • Downlink: 1FE • Botón asociación y de Reset • 3 x LED indicadores: PWR (estado de encendido), LAN (estatus de conexión de red), y PLC (estado de conexión con otro PLC) • Power Connection, Ethernet

- | | |
|-----------------|--|
| Banda | • 2MHz a 68MHz |
| Características | <ul style="list-style-type: none"> • Modo en Potencia de bajo consumo • Hasta 3 Streamings HD IPTV • Temperatura de funcionamiento: 0 ° C a 40 ° C • Humedad de funcionamiento: 5% a 95% de humedad relativa (sin condensación) • 70 mm x 30 mm x 56 mm Peso: 81g |

El PT500 es estable en Streaming HD multimedia, juegos en línea y la navegación por Internet. Utiliza el cableado eléctrico existente para conectar HD decodificadores (STB), PC y otros dispositivos a su red doméstica e Internet Figura 4.7.

Tiene la posibilidad de conectar varios dispositivos de estos para lograr tener conexión en los lugares donde no se cuenta con tomas de red, adhiriendo seguridad a la red y una alta velocidad.

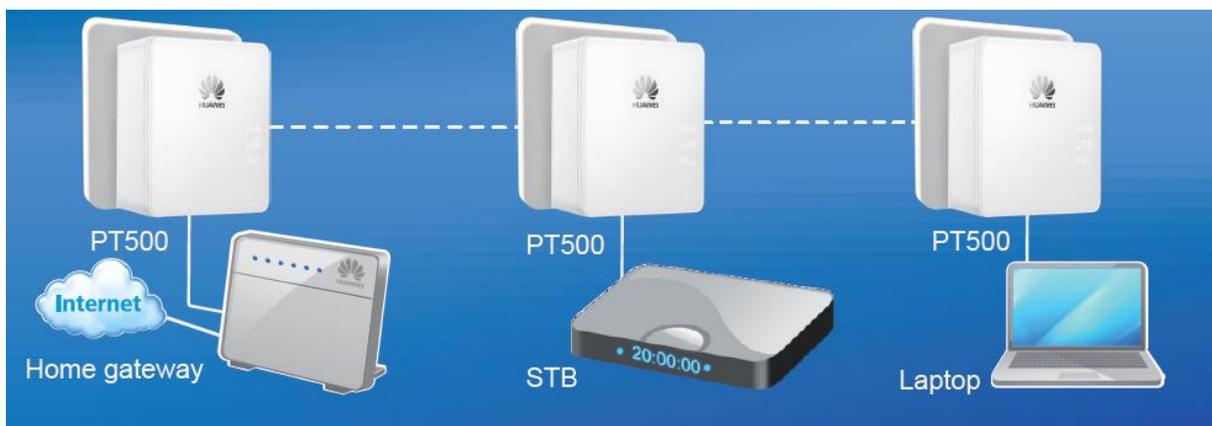


Figura 4.7 PT500 en Red domestica

PT530– Adaptador PLC (Power Line Communication) + Wi-Fi (Figura 4.8)



Figura 4.8 Adaptador PLC PT530

Este modelo tiene al igual que el anterior la tecnología PLC, pero este adiciona una radiación WI-FI configurable a la necesidad del usuario; por lo general acompañado del PT500 ya que en el diseño la conexión del MODEM se propone al PT500 y este modelo aparte de sus dos salidas Ethernet por tener la radiación WI-Fi no tiene razón de ser en el mismo lugar que el MODEM que ya radia.



Figura 4.9 Representación del WI-Fi radiado por PT530

Sus características técnicas son:

	Especificaciones
Chipset	<ul style="list-style-type: none"> • Qualcomm AR7420
Desempeño	<ul style="list-style-type: none"> • 500Mbps PHY • Hasta 95Mbps UDP • Hasta 95Mbps TCP
Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • Uplink: Power Plug, Home Plug AV • Downlink: 2FE, 11n 300M WIFI • 5 x LED indicadores: PWR (estado de encendido), LAN1 (estatus de conexión de red), LAN2 (estatus de conexión de red), PLC (estado de conexión con otro PLC), y WLAN (estatus de conexión wireless)
Banda	<ul style="list-style-type: none"> • 2MHz a 68MHz
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Modo Soporte • Bridge/Router

Administración de Red :

- Gestión local a través de configuración basada en WEB

Características de Seguridad

- Soporta Seguridad en WI-FI, filtrado de direcciones IP/MAC, filtrado por puerto/URL, ACL.

- Modos Wi-Fi: 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11b/g, y 802.11b/g/n
- Soporta múltiples SSID, autenticación WPA1.0 & WPA2.0, encriptación WEP 64/128 bits.
- Temperatura de funcionamiento: 0 ° C a 40 ° C
- Humedad de funcionamiento: 5% a 95% de humedad relativa (sin condensación)
- 107 mm x 48 mm x 62 mm Peso: 196g

El PT500 es estable en Streaming HD multimedia, juegos en línea y la navegación por Internet. Utiliza el cableado eléctrico existente para conectar HD decodificadores (STB), PC y otros dispositivos a su red doméstica e Internet Figura 4.10.

Tiene la posibilidad de conectar varios dispositivos de estos para lograr tener conexión en los lugares donde no se cuenta con tomas de red, adhiriendo seguridad a la red y una alta velocidad, con apoyo de la 802.11n proporciona acceso mediante WI-FI con velocidades de hasta 300Mbps; configurable SSID y encriptación de este mismo, haciendo más óptima la red.



Figura 4.10 PT530 en Red domestica

4.4 Soluciones

Una vez ya investigado lo anterior, la solución a los problemas que se tienen con respecto a la falta de planeación de nodos de red en las casas es tan común que si se ofrece esta solución se estaría resolviendo los problemas que se han comentado, así como también introducir esta tecnología se podría comercializar e implementar en escuelas, hospitales, oficinas, recintos históricos, monumentos y en cualquier lugar donde exista una conexión de línea eléctrica.

Esto nos lleva a mencionar las zonas marginales en donde la brecha digital existe y aun no se puede dar una solución, pero ellos tienen electricidad y esto hace que esta tecnología nos facilite eliminar esa brecha digital que existe o disminuirla, ya que se sabe que en los lugares más lejanos, aun en ellos existe la electricidad.

En las casas, oficinas o residencias donde la cobertura de WI-FI y el control de esta son necesario y con la llegada del internet de las cosas (IoT), tener una red personal en casa se volverá una necesidad, es así como esta tecnología se explotaría al máximo.



CAPÍTULO V Conclusiones

CAPÍTULO V Conclusiones

A través de la revisión de esta tecnología y la investigación de la misma, sabemos que es carente en aspectos normativos y de información, aunque la tecnología no sea nueva ahora al surgir más la necesidad de siempre estar conectado porque ya no es simplemente tu Computadora si no aparte tu Smart TV, el STB en la sala, y todos los dispositivos inteligentes, ya no es suficiente un punto de radiación o una toma de red y claro cuando se construye un casa habitación por lo general no se toman en cuenta el diseño de la red de datos y en recintos históricos no se puede realizar modificaciones; dando a conocer esta tecnología PLC se da una solución a estos problemas ofreciendo esta alternativa dentro del área de acceso de las telecomunicaciones.

El despliegue de la tecnología PLC sobre las redes eléctricas es sencillo y rápido comparado con otras tecnologías de acceso, al aprovechar los cables existentes de energía eléctrica.

Esta tecnología no es muy reconocida en México por falta de información y por conceptos burocráticos de comercialización, no se permite el desarrollo de esta tecnología ya que ahora aparte de ser líder la Comisión Federal de Electricidad de toda la red eléctrica sería el servidor de comunicaciones, donde a las empresas que ofrecen estos servicios, no les conviene y así se detiene el desarrollo; lo que te ofrecen son dispositivos que se adaptan solo a la red ya establecida por un modem y en ningún momento existe una configuración ni la adaptabilidad personal de usuario terminal. Para adquirir este tipo de tecnología se mencionaron algunos proveedores existentes en nuestro país a un precio accesible, sin embargo existen otros proveedores como el propuesto en este trabajo (PT500, PT530) donde la única posibilidad de poder adquirir estos dispositivos es comprando un mínimo de mil unidades. Motivo por el cual no se pudo llevar a una propuesta física.

Así queda demostrada la viabilidad de esta tecnología, sabiendo que el PLC se tiene un futuro que brindara grandes anchos de banda y los costos reducirán dependiendo de la oferta y demanda aprovechando la línea eléctrica como medio de trasmisión de datos.

Se dio a conocer los dispositivos existentes en el mercado y el dispositivo propuesto da solución a los problemas de la red In-Home y por esto se determina que es una mejor alternativa la implementación de estos dispositivos.

Se deja esta base para trabajos a futuro de planeación de redes con esta tecnología que se demuestra que es viable, también si se interesa en la inversión para poder comercializar la tecnología para que exista una competencia con más variedad y disminuyan los costos.

Índice de Figuras

Capítulo I

Figura 1.1 Diagrama de la estructura del sistema OPLAT	3
--	---

Capítulo II

Figura 2.1 Estructura típica de la red de distribución de energía eléctrica	8
---	---

Figura 2.2 Rango de trabajo de la red Eléctrica y la red PLC	9
--	---

Figura 2.3 Distribución de las frecuencias de espectro PLC ETSI TS 101 867.....	10
---	----

Figura 2.4 Anchos de banda en PLC	11
---	----

Figura 2.5 Subportadoras OFDM	14
-------------------------------------	----

Figura 2.6 Diagrama de Bloques modulador OFDM	16
---	----

Figura 2.7 Diagrama de Bloques demodulador OFDM	16
---	----

Figura 2.8 Modulación OFDM	18
----------------------------------	----

Figura 2.9 Pila de protocolos PLC.....	21
--	----

Figura 2.10 Trama utilizada en el PLC	22
---	----

Figura 2.11 Arquitectura de la Red PLC.....	25
---	----

Figura 2.12 Topología tipo árbol de la red PLC	27
--	----

Figura 2.13 Topología lógica tipo bus empleada por PLC.....	28
---	----

Figura 2.14 Sistema PLC de distribución que utiliza la red media tensión eléctrica	29
--	----

Figura 2.15 Sistema PLC de acceso	30
---	----

Figura 2.16 Sistema PLC In-Home.....	32
--------------------------------------	----

Figura 2.17 Elementos de la red PLC	33
---	----

Figura 2.18 Unidad de acondicionamiento instalada en una cámara de transformación.....	34
--	----

Figura 2.19 Posición de la unidad repetidora en la red eléctrica35

Figura 2.20 Unidad de usuario (Módem)36

Figura 2.21 Bypass en el Transformador eléctrico37

Figura 2.22 Unidad de Acoplamiento Capacitivo.....38

Figura 2.23 Unidad de Acoplamiento Inductivo39

Figura 2.24 Esquema general de la Tecnología PLC.....40

Capítulo III

Figura 3.1 Aplicación de PLC interna49

Figura 3.2 Conexión última milla PLC50

Figura 3.3 Estructura de una red de acceso PLC.....51

Capítulo IV

Figura 4.1 Esquema de una red en casa54

Figura 4.2 PLC TREDNET56

Figura 4.3 PLC TP-Link.....57

Figura 4.4 PLC Zyxel.....58

Figura 4.5 Adaptador PLC PT50059

Figura 4.6 Representación de la introducción de datos a la línea eléctrica.....60

Figura 4.7 PT500 en la red doméstica61

Figura 4.8 Adaptador PLC PT53062

Figura 4.9 Representación de WI-FI radiado por PT530.....62

Figura 4.10 PT530 en red doméstica64



Índice de Tablas

Capítulo II

Tabla 2.1 Comparación de los diferentes esquemas de modulación para sistema PLC 13

Tabla 2.2 Modelo de referencia OSI..... 19

Tabla 2.3 Estimación de la capacidad de canal “Red de Acceso”24

Capítulo III

Tabla 3.1 Cuadro comparativo De tecnologías de acceso47

GLOSARIO DE TÉMINOS Y ACRÓNIMOS

Baja Tensión (BT): se considera instalación de baja tensión eléctrica a aquella que distribuya o genere energía eléctrica para consumo propio.

Banda Lateral Única (BLU): La banda lateral única es muy importante para la rama de la electrónica básica ya que permite transmitir señales de radio frecuencia que otras modulaciones no pueden transmitir.

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA): en español, Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Evasión de Colisiones, es un protocolo de control de acceso a redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión. Cada equipo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos (comúnmente en redes inalámbricas, ya que estas no cuentan con un modo práctico para transmitir y recibir simultáneamente). De esta forma, el resto de equipos de la red sabrán cuando hay colisiones y en lugar de transmitir la trama en cuanto el medio está libre, se espera un tiempo aleatorio adicional corto y solamente si, tras ese corto intervalo el medio sigue libre, se procede a la transmisión reduciendo la probabilidad de colisiones en el canal.

Control de acceso al medio(MAC): es el conjunto de mecanismos y protocolos a través de los cuales varios "interlocutores" (dispositivos en una red, como ordenadores, teléfonos móviles, etc.) se ponen de acuerdo para compartir un medio de transmisión común (por lo general, un cable eléctrico u óptico o, en comunicaciones inalámbricas, el rango de frecuencias asignado a su sistema).

Densidad espectral de potencia: es como está distribuida la potencia de una señal sobre las distintas frecuencias de las que está formada, es decir su espectro.

Eficiencia espectral: Es una medida de lo bien aprovechada que esta la banda de frecuencia para transmitir datos.

Ethernet: es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones (CSMA/CD). Su nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.



HF (High Frequency): También conocida como Onda Corta, banda del espectro electromagnético se encuentra en el rango espectral de 3 – 30 MHz. Dividido entre 14 y 30 MHz las bandas altas o bandas diurnas, y entre 3 y 14 MHz las bandas bajas o nocturnas. Se produce la propagación por onda ionosférica con variaciones según la estación del año y la hora del día.

High Frequency Conditioned Power Network (HFPCN): unidad de acondicionamiento para transmitir datos y señales eléctricas

HTTP de HyperText Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de hipertexto): es el método más común de intercambio de información en la world wide web, el método mediante el cual se transfieren las páginas web a un ordenador.

Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE), en inglés (Institute of Electrical and Electronics Engineers): es una asociación mundial de técnicos e ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas. Con cerca de 425 000 miembros y voluntarios en 160 países, es la mayor asociación internacional sin ánimo de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en computación, matemáticos aplicados, ingenieros, ingenieros en telecomunicación, ingenieros en mecatrónica, etc.

Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés): es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos con internet. Alternativamente, Internet de las cosas es el punto en el tiempo en el que se conectarían a internet más “cosas u objetos” que personas. También suele referirse como el internet de todas las cosas o internet en las cosas. Si los objetos de la vida cotidiana tuvieran incorporadas etiquetas de radio, podrían ser identificados y gestionados por otros equipos, de la misma manera que si lo fuesen por seres humanos.

Media Tensión (MT): es el término que se usa para referirse a instalaciones con tensiones entre 1 y 36 kilovoltios (kV). Dichas instalaciones son frecuentes en líneas de distribución eléctrica que finalizan en centros de transformación, en dónde normalmente se reduce la tensión hasta los 420 voltios.

Modelo OSI (Open System Interconnection): es el modelo de red descriptivo, que fue creado en el año 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO, *International Organization for Standardization*). Es un marco de referencia para la definición de arquitecturas en la interconexión de los sistemas de comunicaciones.

Modulación: conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

Modulación de Amplitud (AM): es una técnica utilizada en la comunicación electrónica, más comúnmente para la transmisión de información a través de una onda transversal de televisión. Funciona mediante la variación de la amplitud de la señal transmitida en relación con la información que se envía.

Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM): (*Quadrature Amplitude Modulation*, por sus siglas en inglés) es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase.

Modulación de Frecuencia (FM): es una técnica de modulación que permite transmitir información a través de una onda portadora variando su frecuencia. La modulación de frecuencia es usada comúnmente en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y el habla.

Modulación por Corrimiento De Frecuencia (FSK): es una técnica de modulación para la transmisión digital de información utilizando dos o más frecuencias diferentes para cada símbolo. La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde uno representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio".

Modulación MSK ("Minimum Shift Keying"): Es un caso particular de la modulación FSK, siendo FSK (*Frequency shift keying*) un tipo de modulación en frecuencia.

Protocolo Simple de Administración de Red o SNMP (del inglés Simple Network Management Protocol): es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

Proveedor de servicios de Internet (ISP): Empresa dedicada a conectar a Internet a los usuarios, o las distintas redes que tengan, y dar el mantenimiento necesario para que el acceso funcione correctamente.



QoS o Calidad de Servicio (Quality of Service, en inglés): es el rendimiento promedio de una red de telefonía o de computadoras, particularmente el rendimiento visto por los usuarios de la red. Cuantitativamente mide la calidad de los servicios que son considerados varios aspectos del servicio de red, tales como tasas de errores, ancho de banda, rendimiento, retraso en la transmisión, disponibilidad, etc.

Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) en español Protocolo para la Transferencia Simple de Correo: es un protocolo de red que se emplea para enviar y recibir correos electrónicos (emails). Cabe destacar que un protocolo de red es un conjunto de normativas y reglas que posibilitan la circulación de información en una red informática. En este caso, el SMTP forma parte de los llamados protocolos de Internet.

Sistema de Distribución Local Multipunto o LMDS (del inglés Local Multipoint Distribution Service): es una tecnología de conexión vía radio inalámbrica que permite, gracias a su ancho de banda, el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a Internet, comunicaciones de datos en redes privadas, y video bajo demanda

Spread Spectrum: Se caracteriza por usar un ancho de banda mayor al que se requiere para la transmisión de información. El ancho de banda puede obtenerse por: Secuencia directa o por Salto de frecuencia.

Telefonía IP: Permite comunicaciones de voz sobre redes basadas en Protocolo Internet (IP). Promete ahorro de costos al combinar la voz y los datos en una misma red que puede ser mantenida centralizadamente.

Telnet (Telecommunication Network): es el nombre de un protocolo de red que nos permite viajar a otra máquina para manejarla remotamente como si estuviéramos sentados delante de ella.

Time Division Multiple Access (TDMA), que en español se traduce Acceso Múltiple por División de Tiempo. Como tal, es una tecnología inalámbrica de segunda generación empleada en las telecomunicaciones. Los sistemas celulares digitales TDMA, en este sentido, son capaces de utilizar un canal común para las comunicaciones entre múltiples usuarios, pues las unidades de información se distribuyen en varias ranuras de tiempo. Los canales, como tal, pueden dividirse hasta en ocho intervalos de tiempo distintos. De allí que, con la tecnología TDMA, a cada usuario que realiza una llamada se le asigna una ranura de tiempo específica para la transmisión. De este modo, varios usuarios pueden usar el mismo canal al mismo tiempo sin interferirse entre sí.



Transformada Rápida de Fourier (FFT): es de gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones, desde el tratamiento digital de señales y filtrado digital en general a la resolución de ecuaciones en derivadas parciales o los algoritmos de multiplicación rápida de grandes enteros.

Transmission Control Protocol (TCP) o Protocolo de Control de Transmisión: es uno de los protocolos fundamentales en Internet. Fue creado entre los años 1973 y 1974 por Vint Cerf y Robert Kahn. El protocolo garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron. También proporciona un mecanismo para distinguir distintas aplicaciones dentro de una misma máquina.

USB (Universal Serial Bus): es un tipo de dispositivo de almacenamiento de datos que utiliza memoria flash para guardar datos e información

VLAN, acrónimo de virtual LAN (red de área local virtual): es un método para crear redes lógicas independientes dentro de una misma red física.

x Digital Subscriber Line (xDSL): tecnología que soporta un gran ancho de banda con unos costos de inversión relativamente bajos y que trabaja sobre la red telefónica ya existente.

Bibliografía/Referencias

J. Álvarez, "Transmisión de Datos por la Red Eléctrica.

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

P. A. Brown, "Power Line Communications - Past Present and Future", 3rd International Symposium on Power Line Communications and It's Applications, Lancaster UK 30.5-1.4.1999, pp. 1-7

R. Gómez, M. Leiva Benegas, "Sistema de Telecomunicaciones por Redes de Energía Eléctrica", Publicación ejemplar COPITEC: Revista "Coordenadas" N° 63 – Agosto 2004.

Owen Rubin, "Plug In to Home Networks", IEEE Spectrum, June 2002, pp 60-62.

PLC Utilities Alliance , " White Paper on Power Line Communications (PLC) 2004"

http://www.cise.ufl.edu/~nemo/plc/refs/OP2_WP7_D52r2_WP_Comparison_Access_Tech.pdf

Mollenkopf, Jim. "Presentation to Cincinnati IEEE Meeting",

http://ieee.cincinnati.fuse.net/BPL_slideshow.pdf

National Instruments, "OFDM and Multi-Channel Communication Systems"

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740>

Méndez, Daniel "Tecnología Powerline"

<http://isa.uniovi.es/~sirgo/doctorado/powerline.pdf>

Tienda Telmex

<https://tienda.telmex.com/shell/af/core/nav/categoryBrowse.do?sessionId=09B5A08F082A018760FE849A2A2238A7.node277?categoryId=-9316&contentType=0&selectedChannels=-8957>

Axtel

<http://axtel.mx/residencial/internet/wifi-en-tu-casa>

PLCFORUM: www.plcforum.org

Libro Comunicaciones I Señales, Modulación y Transmisión, Autor Herrera, Editorial Limusa, páginas 149, 169, 180, 203, 206, 218, 249.

Libro Digital Signal Processing Principles, Algorithms and Applications, Autores John G. Proakis y Dimitris G. Manolakis , Editorial Prentice-Hall International, INC, páginas 21-38.

Libro Sistemas de Comunicación Digital y Analógica Séptima Edición, Autor Leon W. Couch editorial Pearson. Capítulos Propiedades de señales y Ruido, Sistemas de modulación de AM, FM y digitales y Sistemas de comunicación alámbrico e inalámbricos.