

2 Power Line Communications PLC

2.1 Introducción

A lo largo de este capítulo se presenta el panorama general de la tecnología Power Line Communications (PLC), tecnología en la cual se hace uso de las líneas de distribución eléctrica para la transmisión de datos. Esta tecnología parece tener un futuro prometedor, sin embargo son relativamente pocos los lugares que la tienen implementada debido a que es necesario implementar equipo nuevo en distintos ámbitos, como repetidores y puentes de transformadores por mencionar algunos. Asimismo, existen problemas que no están resueltos del todo. Esta es una de las principales motivaciones para realizar esta tesis, pues se espera saber de qué modo el ruido causado por distintos electrodomésticos pudiera llegar a afectar la comunicación en PLC.

2.2 Power Line Communications

PLC acrónimo de Power Line Communications, es una tecnología surgida hace unos 30 años, cuando las compañías eléctricas utilizaban las líneas de alta tensión para sus propios sistemas de control. Sin embargo, debido a limitantes tecnológicas no fue utilizada sino hasta la década de los 90 para comunicación de alta velocidad.

La idea básica de la tecnología PLC es la utilización de la infraestructura de la red eléctrica para la transmisión de datos y así ofrecer servicios de telefonía, Internet y video. PLC es una tecnología de gran cobertura y rápida instalación, puesto que sólo requiere de un equipo módem PLC que se conecte a la red eléctrica para poder acceder a los servicios ofrecidos.

2.2.1 Historia de PLC

Como se mencionó antes, PLC no es una idea nueva, sin embargo durante mucho tiempo estuvo limitada al control de líneas eléctricas y a la transmisión de las lecturas de los contadores a muy bajas velocidades. El siguiente paso también lo dieron las mismas compañías eléctricas al utilizar sus propias redes eléctricas para la transmisión de datos de manera interna.

Han existido varios intentos de implantación de ésta tecnología principalmente en Inglaterra, Alemania y Japón, pero han sufrido problemas debido principalmente a la interferencia generada en diversas bandas del espectro electromagnético, lo cual ocasionaba que se presentaran diversos efectos indeseables en una gran cantidad de dispositivos electrónicos y de comunicación, por lo que se continúa trabajando para mejorar y estandarizar todo el sistema PLC.

Fue hasta finales de los años 90 que los avances tecnológicos permitieron que estos efectos se redujeran y se lograran alcanzar velocidades de transmisión del orden de Megabits.

2.2.2 Tipos de PLC

Los servicios de comunicación mediante PLC se pueden clasificar en dos ramas principales que son:

- PLOC (Power Line Outdoors Communications). Este es el sistema que se utiliza para la comunicación entre la subestación eléctrica y la red de distribución doméstica [33]. El rango comúnmente utilizado en PLOC va de 1 a 10 MHz. [25]
- PLIC (Power Line Indoors Communications). Este es el sistema que utilizaría el usuario final. En este caso, se establecen comunicaciones en la red eléctrica de una casa entre las distintas aplicaciones que se tenga tal como las utilizadas en domótica [33]. Para PLIC se utiliza el rango de frecuencias que va de los 15 a los 30 MHz. Cada banda puede llegar a acomodar hasta tres portadoras con un ancho de banda de 2 MHz. [25]

2.2.3 Servicios y Características de PLC

Entre las principales y más atractivas características que se pueden destacar del PLC es que el proceso de instalación es rápido y muy sencillo, no requiere más que una sola toma de alimentación, voz y datos para lo cual sólo requiere de un módem PLC

como equipo de conexión. El servicio de suministro eléctrico se sigue suministrando sin ningún problema.

Con este equipo se puede tener acceso al servicio de Internet de alta velocidad, video bajo demanda, redes de área local, videoconferencia y cualquier otro servicio basado en IP. Actualmente mediante la tecnología PLC se permite la transmisión de datos a velocidades de hasta 135 Mbps, lo que posibilita la transformación de la red eléctrica en una verdadera red de banda ancha [8].

Estas son algunas de las características y servicios que hacen que la tecnología PLC sea muy atractiva, sin embargo hay que tener en cuenta que la tecnología PLC aún no se encuentra disponible en muchos lugares, debido a que continúa enfrentando dificultades tanto de estandarización como de implementación física.

2.2.4 Ventajas y desventajas del PLC

A continuación, se presentan algunas de las ventajas y desventajas de la tecnología PLC. Es importante considerar los siguientes puntos puesto que PLC aún no se encuentra en su etapa de total madurez y es necesario tener presentes sus principales desventajas o debilidades.

Ventajas de PLC:

- Movilidad
- Flexibilidad

- Fácil instalación para el usuario
- Estabilidad
- Buen complemento para las soluciones existentes alámbricas como inalámbricas [6].
- Mayor ancho de banda.

Desventajas de PLC:

- La instalación y alto desempeño dependen de la arquitectura de la red eléctrica.
- Carencia de estándares y normas
- Problemas de operación e interferencias con otros equipos
- Actualmente falta desarrollar el mercado para ofrecer un precio competitivo [6].

2.3 Descripción básica del PLC

En PLC se utiliza la red eléctrica desde la estación de transformación, que es donde se conecta con la red de telecomunicaciones convencional, hasta el usuario final. Esto quiere decir que, teóricamente, se podrá tener acceso a Internet desde cualquier punto donde llegue la red de distribución eléctrica. Esto representa una ventaja sobre la red telefónica que ofrece el servicio de línea de abonado digital asimétrica (ADSL por sus siglas en inglés) ya que esta última tiene una menor cobertura.

Para transmitir los datos mediante PLC, se utiliza una señal en el rango de 1.6 a 30 MHz. La señal difiere de la frecuencia fundamental de la red eléctrica que suele ser de 50 o 60 Hz, dependiendo del país [42]. Teóricamente, la enorme diferencia entre las frecuencias de ambas señales, supone que la posibilidad de interferencias sea prácticamente inexistente.

2.3.1 Ámbitos del PLC

En la arquitectura de la red de PLC la transmisión de datos pasa por diversos tramos de la red de distribución eléctrica, cada una de estas etapas se clasifica de la siguiente manera:

1. Tramo de alta tensión: son las líneas que provienen de las plantas de generación. Se trabaja en el rango de los 36 KV. Por arriba de los 300 KV son líneas de voltaje extremadamente alto (EHV) [19].
2. Tramo de media tensión: en este tramo se lleva la electricidad a las ciudades y pueblos. Se utiliza un voltaje medio que se encuentra en el rango de 1 KV a 36 KV [19].
3. Tramo de baja tensión: es la etapa en la cual la energía eléctrica se distribuye al consumidor final. Trabaja con niveles de voltaje por debajo de 1 KV. Esta red es un tendido más fino y esta adaptado para soportar la densidad de cargas del consumidor [19].

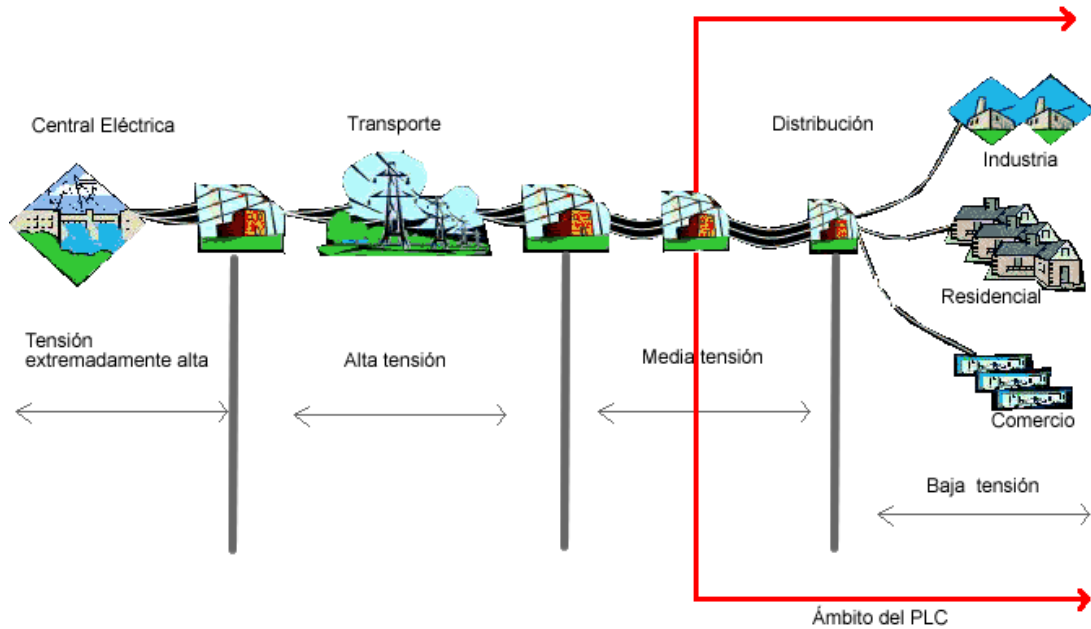


Figura 2.1 Ámbitos de PLC

Las etapas anteriores representan el recorrido que la energía eléctrica hace hasta su destino final, no obstante, existen diversas redes que deben estar involucradas con PLC para poder proporcionar acceso a Internet, telefonía y servicios basados en IP. Las principales redes involucradas son [8]:

- La red de transporte → Red IP
- La red de distribución → Red de media tensión (transporte de datos)
- La red de Acceso → Red de baja tensión (sustituto del lazo de abonado)

2.3.2 Equipos

Existe una serie de equipos que hacen posible la transmisión de datos mediante PLC. Estos equipos se pueden encontrar tanto en las redes involucradas, como en el destino final.

2.3.2.1 Módem PLC

Es el equipo que se le proporciona al cliente final. La principal función del módem es interpretar o traducir las señales de la línea que contienen la información para poder tener acceso a Internet y a los servicios telefónicos de voz [8]. El módem cuenta con conexiones para PC y teléfono. Se puede comparar al módem utilizado en ADSL. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de un módem PLC.



Figura 2.2 Módem PLC [37]

2.3.2.2 Repetidor

El repetidor, como su nombre lo dice, sirve para regenerar la señal PLC, ya que esta tiene pérdidas a lo largo del trayecto. Un ejemplo de cómo luce un repetidor se muestra en la figura 2.3. Un repetidor puede atender hasta 256 módems, por lo tanto se puede encontrar en el cuarto de controladores del edificio o en su defecto brindar servicio

a una manzana o un conjunto de casas independientes [27]. El módem de usuario es el que se conecta directamente con el repetidor.



Figura 2.3 Repetidor PLC [35]

2.3.2.3 Head End

A su vez, el repetidor es conectado al Head End, los cuales son equipos que se encuentran en los centros de transformación de la compañía energética (ver figura 2.4). Existen dos versiones para el Head End: el de media tensión y el de baja tensión. Esto se debe a las distancias máximas que la información puede recorrer sin tener pérdidas excesivas entre el Head End y el Repetidor. En los equipos de media tensión, la distancia máxima es de 600 m, mientras que para los de baja tensión ésta distancia es de 300 m [8]. Independientemente del tipo de equipo sea, los Head End están preparados para conectarse con la red IP mediante interfase Ethernet.



Figura 2.4 Head-End [21]

2.4 Arquitectura de la red de PLC

En la tecnología PLC, para llevar a cabo la comunicación, se utiliza la infraestructura de una red existente donde el usuario final simplemente debe enchufar su módem PLC a la red de distribución eléctrica, de esta forma el módem puede establecer comunicación con el repetidor del edificio o de la manzana.

La comunicación establecida entre el módem y el repetidor está protegida por algoritmos propios de la empresa DS2. Estos algoritmos se encuentran implementados en hardware [8]. Los chips, son fabricados por la empresa DS2, la cual es considerada como una de las empresas líderes en la fabricación de chips para comunicación de alta velocidad para PLC. La comunicación y algoritmos sólo ocurren en el tramo de baja tensión.

La comunicación en el siguiente tramo de la red, ocurre entre el Repetidor y el Head End correspondiente. En la red de media tensión, la comunicación se da entre un Head End y otro. En este tramo, las velocidades de comunicación que se logran son de 135 Mbps [27].

Finalmente, para dar salida a Internet, uno o varios de los Head End se conectan a una de las redes de transporte clásicas, como suelen ser SDH/Sonet, (Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Network), o Gigabit Ethernet.

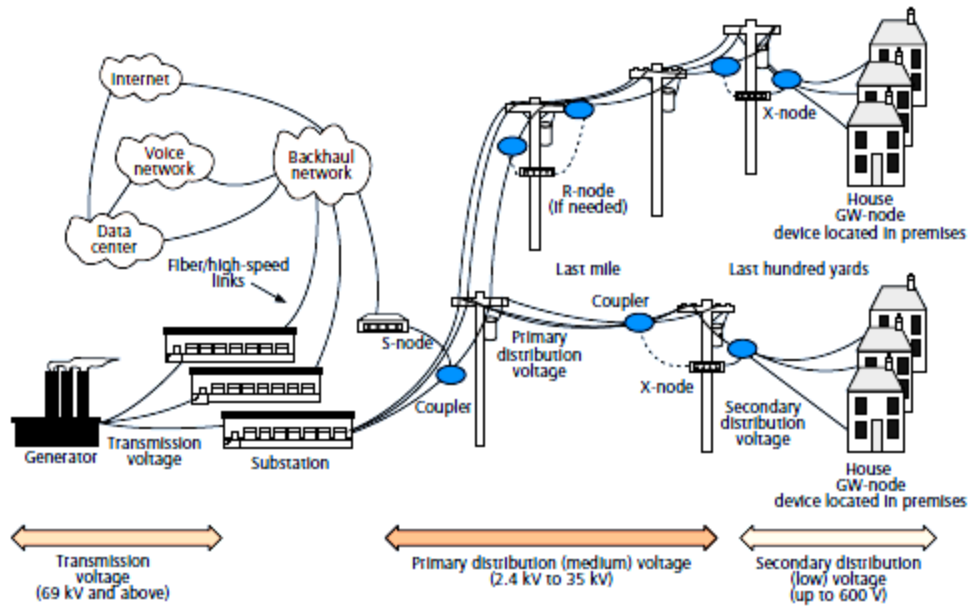


Figura 2.5 Arquitectura de la red PLC [22]

Actualmente, en el tramo de baja tensión, se logra alcanzar velocidades de 45 Mbps. Estos 45 Mbps son realmente 27 Mbps en sentido descendente y 18 en sentido ascendente. Esta comunicación asimétrica es compartida con todos los usuarios que se conectan al mismo repetidor, es decir, que se comparte con un máximo de 250 usuarios [8].

2.4.1 Similitudes con ADSL

Se puede llegar a pensar que en el sistema ADSL, el usuario no comparte el ancho de banda con otros usuarios, puesto que se cuenta con una conexión individual hasta la central y el par de cobre no es compartido; empero, todas las conexiones ADSL son juntadas por un multiplexor de modo de transmisión asíncrona (ATM por sus siglas en inglés) y salen por el mismo enlace hasta el siguiente tramo de red. Para el caso de PLC,

la concentración sucede en el repetidor, mucho antes de llegar a un multiplexor en la central. Ver figura 2.6.

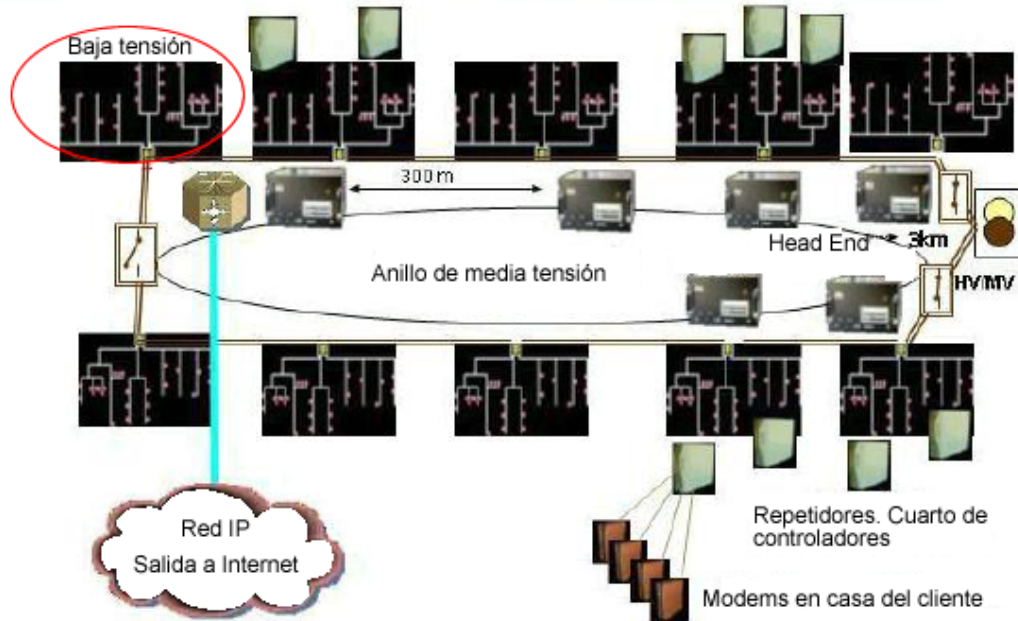


Figura 2.6 Ejemplo de Red PLC [30]

En ADSL, el usuario dispone de un ancho de banda mínimo determinado por la concentración y la velocidad máxima definida por la cantidad de usuarios conectados al mismo tiempo en su conexión ADSL, teniendo en cuenta que la máxima velocidad teórica sea de 256 Kbps o 2 Mbps. En PLC ocurre exactamente lo mismo. Por ejemplo, si 100 usuarios de un mismo equipo repetidor están conectados, la velocidad máxima de bajada será de 270 Kbps, pero si sólo son 10 los que están usando el enlace, entonces la velocidad será de 2.7 Mbps [8]. Con esto se ejemplifica claramente que PLC tiene una mayor capacidad, ya que si se compara con ADSL, nunca se podrá pasar de los 256 Kbps o los 2 Mbps ya que este es su máximo teórico independientemente del número de usuarios conectados.

2.5 Limitaciones

Al ser una tecnología relativamente nueva, PLC aún tiene ciertos problemas y limitaciones que debe de resolver. En Europa, tanto el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) como el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI por sus siglas en inglés), organismos dedicados a la normalización de estándares electrónicos y de telecomunicaciones, se están encargando de los procedimientos de la problemática generada por PLC [19].

El principal problema es que la red de distribución eléctrica no fue diseñada con el fin de transmitir datos. Utilizar PLC en estos cables implica que deben llevar señales ente 9 KHz y 30 MHz. En este rango de frecuencias se puede decir que los cables presentan fugas o pérdidas, lo que significa que parte de la señal de alta frecuencia se escapa en forma de radiación electromagnética [19].

Entre las limitaciones que se destacan, son los transformadores, pues estos impiden el paso de las señales de datos, por lo que cada uno de dichos transformadores debe contar con su propio equipo PLC, o un “Transformer Bypass Path”, (Figura 2.7), este último con una fácil instalación, bajo costo y mantenimiento, parece ser la mejor opción para el problema de la atenuación de las señales de RF (Radio Frecuencia) en los transformadores [22].

Aún contando con el equipo necesario, el costo de la inversión sigue dependiendo del número de abonados a los que cada uno de estos transformadores proporciona energía. Las pruebas piloto que se han realizado, toman principalmente este punto, para conocer la viabilidad comercial y económica de implementar la tecnología PLC a gran escala.

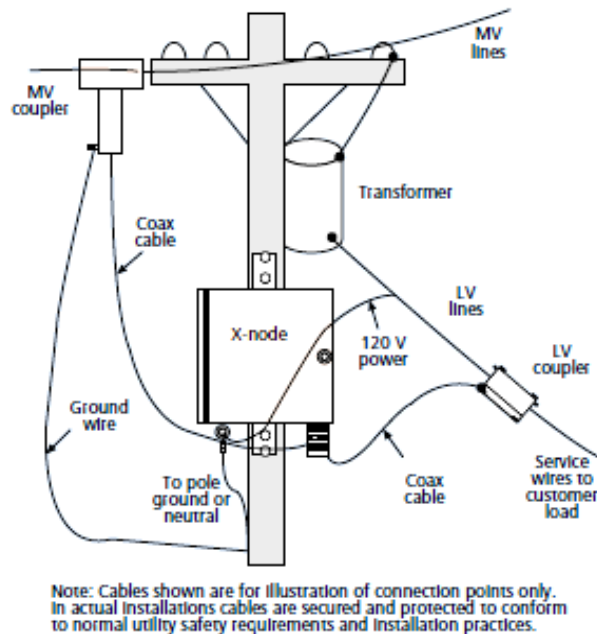


Figura 2.7 “Transformer Bypass” [22]

2.5.1 Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas presentes en el cableado de la instalación de distribución de la energía, representa otro de los grandes obstáculos que se presentan en PLC, puesto que estos cables no tienen el blindaje adecuado. Esta condición provoca que lleguen a funcionar como antenas emisoras y receptoras de cualquier tipo de ruido electromagnético circundante.

La señal de potencia emitida en forma de radiación es determinada por la simetría de la red o los cables. Una línea altamente simétrica se caracteriza por tener una radiación más débil [19]. Las interferencias producidas por las señales transmitidas a través de los cables de las instalaciones eléctricas, pueden ser fácilmente captadas por emisoras de radio FM, por los radioaficionados y por todos aquellos que trabajen en la banda civil como los radios de policía y bomberos [19].

Este es un serio problema, pues las instalaciones eléctricas tampoco son inmunes al ruido generado por los dispositivos conectados a las mismas, de forma que la interferencia también puede llegar a afectar la transmisión de datos en la red. Existen filtros de alta frecuencia y métodos mediante los cuales se trata de asegurar que la información no se vea afectada, sin embargo esta es una solución unidireccional, ya que todo el sistema PLC puede seguir interfiriendo con otros sistemas. En el futuro, comunicaciones de muy alta velocidad, harán que el filtrado sea la única manera de reducir la radiación hasta los límites permitidos [19].

2.5.2 Privacidad

En PLC se suele emplear la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM por sus siglas en inglés) que es una de las técnicas de modulación más populares debido a que ha demostrado ser muy útil contra los canales de frecuencia selectiva y el ruido impulsivo; ha sido utilizado de forma satisfactoria en ambientes

inalámbricos y en ADSL [22]. OFDM consiste en enviar un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias en la que cada una transporta información modulada en modulación de amplitud en cuadratura (QAM por sus siglas en inglés) o en modulación por desplazamiento de fase (PSK por sus siglas en inglés) [27].

La modulación OFDM es muy robusta frente al multi-path, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia y frente a las interferencias de RF [27]. Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con diversos retardos y amplitudes (*fading*) que llegan al receptor. Así, existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única, sin producir problemas de interferencia [27] entre las distintas portadoras, sin embargo, incluso la forma de los enchufes pueden convertirse en auténticas antenas de radio, tal como sucedió en las pruebas realizadas en Reino Unido.

El inconveniente en esta ocasión, radica en que la privacidad en la comunicación queda comprometida, debido a que las señales emitidas por los enchufes y cables que funcionan como antenas, podrían ser captadas por receptores de radio y reconstruidas en otra computadora. Para este caso, es necesario aplicar distintos métodos y algoritmos de cifrado de la información, aún cuando la potencia de emisión sea baja y esté bajo norma. También es necesario considerar que entre más eficientes sean los sistemas de filtrado para evitar el ruido y la interferencia, es más difícil alcanzar altas velocidades de transmisión.

2.6 Resumen

La tecnología PLC parece tener un gran campo en un futuro cercano, pues permite que cualquier usuario de la red eléctrica tenga acceso a servicios de telecomunicaciones. La cobertura de dicha red, pudiera llegar a ser mayor que la cobertura telefónica por medio de la cual se ofrece servicio ADSL, lo que implica una ventaja significativa.

PLC también es muy interesante por que resulta muy cómodo tener varios servicios en uno sólo, sin necesidad de nuevas instalaciones; basta con contratar el servicio y conectar el equipo. La mayor dificultad que enfrenta esta nueva tecnología es el ruido en las transmisiones que puede comprometer seriamente el intercambio de información. La infraestructura en la que trabaja el PLC no fue realmente diseñada para la transmisión de datos, esto genera que las líneas se comporten como antenas radiadoras. Es por esta razón que el ruido y las interferencias, tanto las emanadas por el equipo de PLC, como las captadas por el mismo son difíciles de eliminar.

La seguridad es otra debilidad a afrontar por PLC ya que la red eléctrica es un medio compartido, por lo que es importante la implementación de nuevas técnicas de modulación y cifrado de la información, en donde el control de la seguridad de las conexiones sea implementada y ejecutada mediante hardware. A pesar de que PLC aún tiene mucho camino por recorrer, a la fecha representa una alternativa interesante para poder brindar servicios de banda ancha e Internet para una gran parte de la población, ya

que utiliza una infraestructura existente y que tiene significativamente mayor cobertura que otro tipo de servicios.