

Descripción de la tecnología

1. Introducción a la tecnología PLC
2. Arquitectura general de la red
3. Banda Ancha por Línea Eléctrica (BPL)
4. Modulaciones empleadas
5. Estándares asociados a la tecnología y situación actual

1 Descripción de la tecnología

1.1 Introducción a la tecnología PLC

Las iniciales se refieren a las palabras inglesas *Power Line Communications* o *Power Line Carrier*. En castellano esto significa, Comunicaciones a través de la Red de Energía o bien Transmisión por Onda Portadora de Corriente. Se trata, fundamentalmente, de la transmisión de voz y datos a través de la Red eléctrica. El objetivo más atrayente de esta tecnología es tratar de aprovechar la ubicuidad de la mayor red construida por el hombre (más de 3.000 millones de personas cuentan con energía eléctrica en todo el mundo) llamada red de redes. De esta manera, las compañías eléctricas incrementarían su rentabilidad, al aumentar el valor agregado de sus servicios con una mínima inversión, aprovechando su infraestructura para fines que no habían sido concebidos inicialmente. Es algo similar a lo ocurrido con las empresas telefónicas cuando comprendieron que el par de cobre se podía emplear para acceder a Internet y ofrecer otros servicios de transmisión de datos, además de permitir las comunicaciones por voz. En la actualidad, PLC se ha desarrollado ampliamente, existiendo básicamente aplicaciones “*indoor*” y de “*última milla*” existiendo normas y estándares para estas aplicaciones. A su vez, las empresas eléctricas, a través de esta tecnología, han ingresado como proveedores de servicios de telecomunicaciones, sin embargo, su interés sigue siendo también los servicios específicos dentro de la misma Red eléctrica; como el monitoreo y control en media y baja tensión.

1.2 Arquitectura general de la red

En primer lugar, observando la estructura de la red eléctrica de la figura 1 pasaremos a detallar una serie de inconvenientes que podemos encontrar en los segmentos de bajo voltaje y de distribución doméstica.

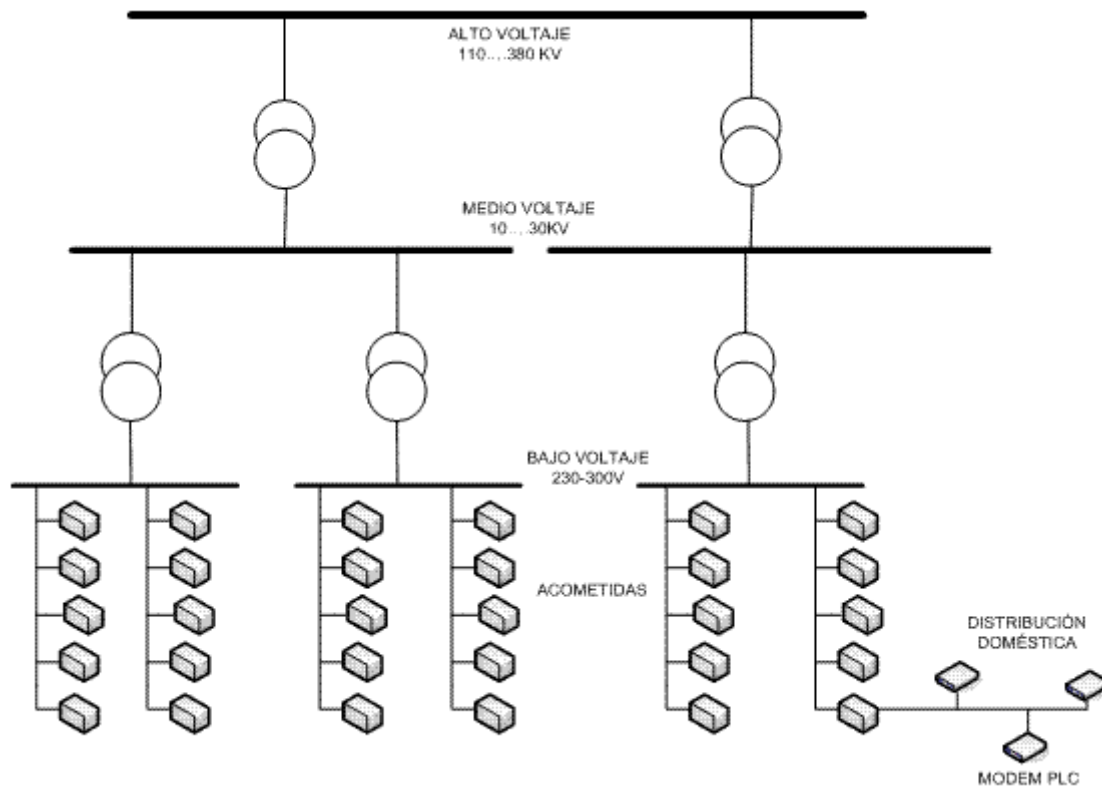


Fig. 1: Estructura de la red eléctrica

En el segmento de bajo voltaje las distancias del orden 200 metros desde el transformador al usuario son las más comunes (al menos en Europa), siendo un medio compartido, con numerosas ramificaciones para servir a los usuarios. Esto hace que el medio sea tremendamente hostil, debido a:

- La atenuación a las frecuencias de interés con la distancia.
- Las reflexiones que se producen en las ramificaciones, lo que hace que la función de transferencia del canal presente desvanecimientos selectivos. Además esta característica tiene una variación temporal dependiendo de la carga (en el sentido de consumo de energía en cada momento o, equivalentemente, de qué dispositivos están conectados). Todo esto hace necesario utilizar sistemas de modulación muy robustos y adaptables a las características del canal. Como ejemplo, DS2 firma valenciana que actualmente está a la cabeza de esta tecnología, consigue velocidades de 45 Mbit/s a nivel MAC, 27 Mbit/s en el sentido descendente y 18 Mbit/s en el ascendente. DS2 utiliza OFDM adaptándose dinámicamente a las condiciones del canal, monitorizando las condiciones de relación señal ruido de cada subportadora cada 10ms y adaptando en función de ésta la tasa de bit a transmitir por la misma.

- Las diversas fuentes de ruido de fondo (-120 dBm/Hz), impulsivo e interferencias selectivas (por ejemplo emisiones de radio), que hacen necesarias técnicas de codificación contra errores (Reed-Solomon), entrelazado y adaptación a las características de señal/ruido del canal (OFDM).

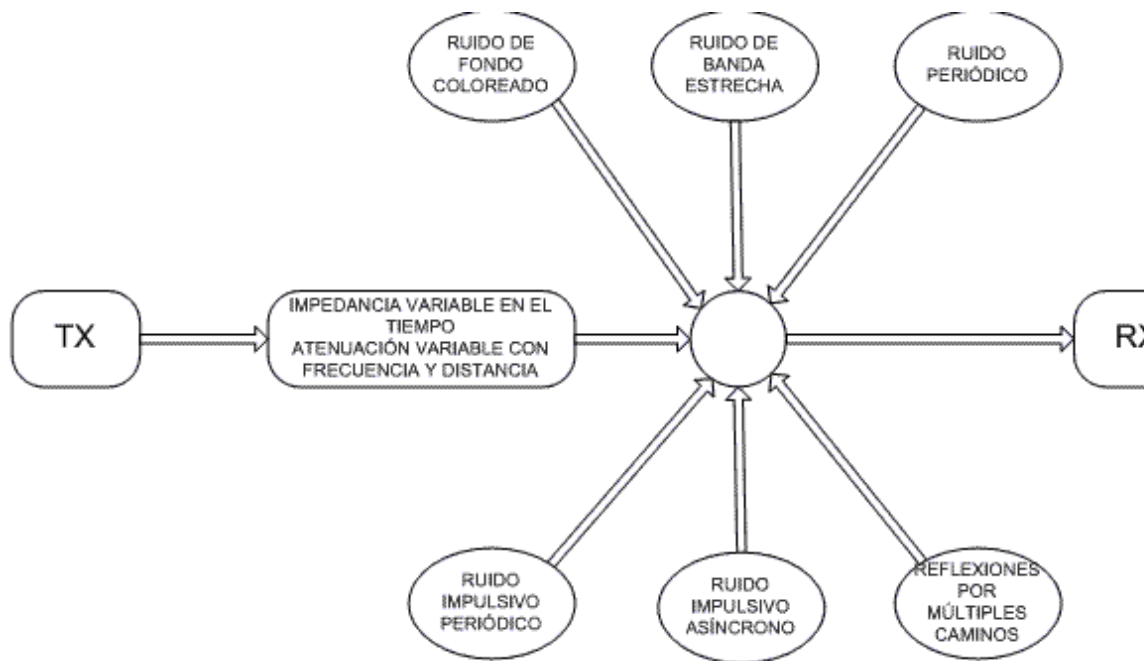


Fig. 2: Características del canal

El segmento de distribución doméstica presenta unas características del medio muy similares a los de la primera milla, pero aliviadas 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 cualquier caso sigue siendo un medio hostil, no diseñado para el transporte de información que requiera un gran ancho de banda. Por ello, la tendencia en la actualidad es:

- Reutilizar la misma tecnología en los segmentos de bajo voltaje y de distribución doméstica con el objetivo de conseguir economías de escala.
- Aunque la pasarela del hogar que podemos observar en la figura 5 puede adaptar, por ejemplo, de un acceso ADSL a un PLC dentro del hogar o, inversamente, de un PLC en el segmento de bajo voltaje a una interfaz Ethernet en el hogar, lo más atractivo es que la pasarela sea de PLC a PLC, haciendo efectivo el eslogan: “un acceso a las comunicaciones en cada enchufe”. Esto requiere compatibilidad espectral entre los sistemas PLC de bajo voltaje y doméstico. Por ello existen

propuestas de dividir el espectro entre 1 Mhz y 30 Mhz en bandas de 10 Mhz, asignando las bandas superiores para uso doméstico (menores distancia que admiten las mayores atenuaciones en esta banda) y las inferiores para uso en el acceso como podemos observar en la figura 3.

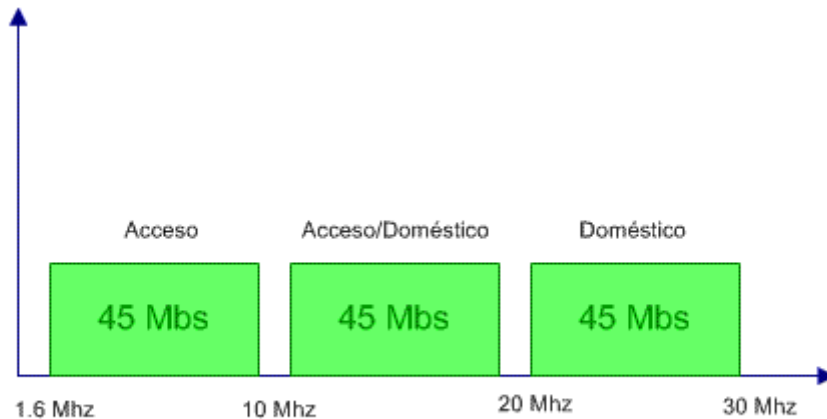


Fig. 3: Asignación de bandas del ETSI

Obsérvese que en esta propuesta de banda media puede asignarse indistintamente para acceso o dentro del hogar. Se está proponiendo que los sistemas de hogar detecten automáticamente la presencia o no de un sistema de acceso en esa banda, de forma que la puedan ocupar en caso de que esté libre y aumentar así sus prestaciones.

1.2.1 Tipos de sistemas PLC

Dependiendo del lugar de la red eléctrica donde se despliegan los sistemas PLC podemos distinguir varios tipos:

- Red PLC de acceso: Se despliegan entre el transformador de baja tensión y la casa del abonado. Son una alternativa a los sistemas de banda ancha xDSL. Es un sistema full dúplex punto a multipunto como el que se muestra en la figura 4 y consta de los siguientes elementos:
 - ✓ Equipo de cabecera: Tiene la función de router y está situado junto al transformador de baja tensión. Básicamente es un módem digital de alta velocidad y actúa como maestro en el sistema PLC. Tiene la función de

asignar el uso del canal de comunicaciones entre los diversos usuarios conectados a él (hasta 256). Es propiedad de la compañía eléctrica.

- ✓ **Módem PLC:** Es el equipo situado en casa del abonado eléctrico. Funciona siempre como esclavo del equipo de cabecera. Los hay de tipo externo, los cuales convierten cualquier enchufe de la casa en un punto de acceso a Internet. En ese caso disponen de un puerto Ethernet o USB para conectar el ordenador. También los hay de tipo interno, los cuales están integrados en el ordenador. El módem PLC dispone de una entrada (RJ11) que permite conectar un teléfono analógico.
- ✓ **Repetidor PLC:** Se emplea en los casos en los que las distancias del abonado al equipo de cabecera es demasiado grande y la señal recibida es pequeña. La máxima distancia hasta el abonado, sin repetidor, es de unos 350 metros.

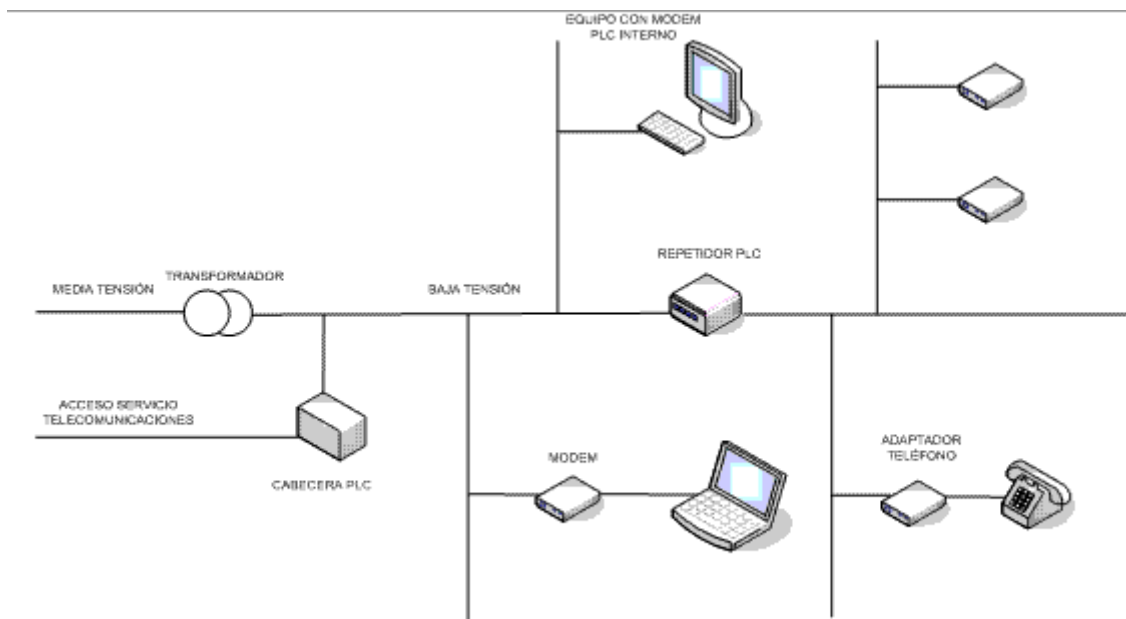


Fig. 4: Red PLC de acceso

- **Red PLC doméstica:** Se despliegan dentro de la casa del abonado. Complementan a los servicios de acceso y pueden competir con las redes LAN. Los elementos de los que consta se pueden observar en la figura 5:

- ✓ Pasarela doméstica: Realiza la función de interfaz entre la red exterior (PLC, xDSL, LMDS, fibra, etc.) y la red interior.
- ✓ Módem PLC: Realiza la función de interfaz entre los equipos domésticos (PC, impresora, teléfono, TV, etc.) y la red eléctrica interior.

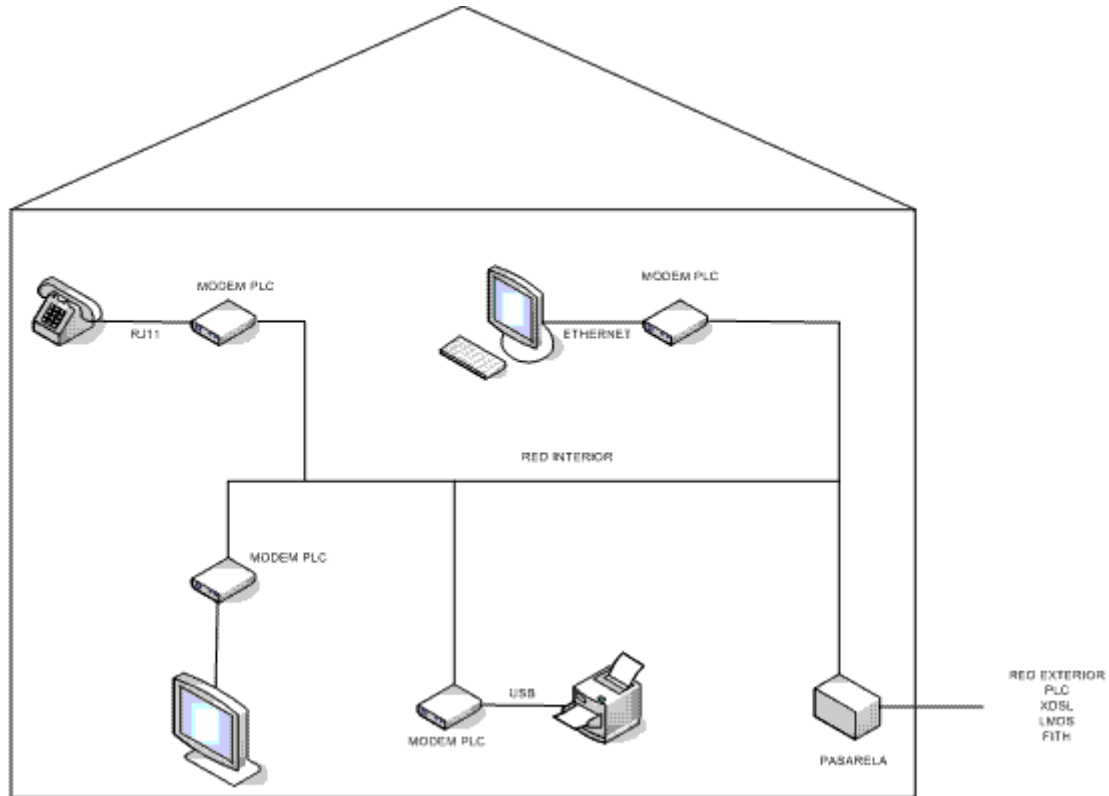


Fig. 5: Red PLC doméstica

- Red PLC de media tensión: La tecnología PLC se aplica a las líneas de media tensión como transporte de datos desde los transformadores de alta/media tensión hasta los transformadores de media/baja tensión. Es una alternativa a los sistemas de fibra óptica. Alcatel dispone del sistema LineRunner que realiza esta función. La red PLC de media tensión consta de los elementos que podemos observar en la figura 6:

- ✓ Unidad de transmisión: Hace de interfaz entre los servicios de telecomunicaciones externos y la unidad acopladora.
- ✓ Unidad acopladora: Conecta la unidad de transmisión al cable de potencia.

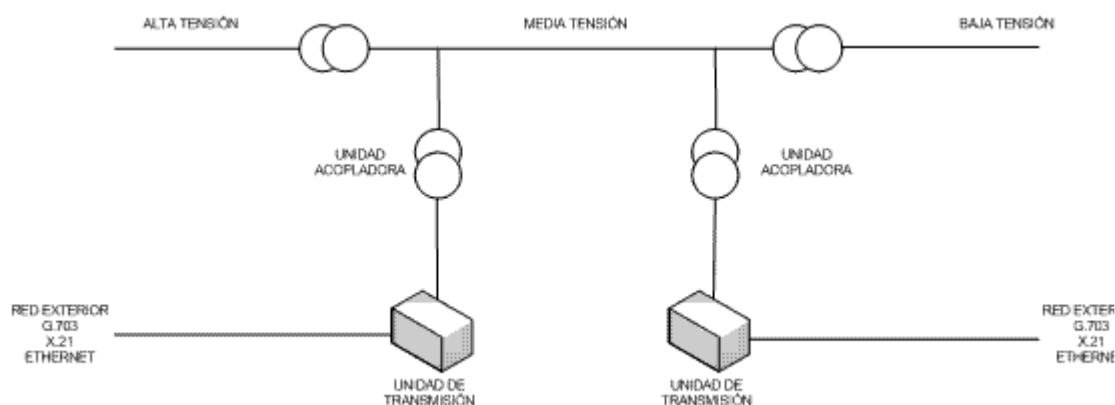


Fig. 6: Red PLC de media tensión

Los sistemas PLC presentan normalmente interfaces de gestión SNMP, lo que está acorde con sus principales áreas de aplicación: acceso a Internet, telefonía IP, etc., es decir aplicaciones en el dominio de los datos.

1.3 Banda Ancha por Línea Eléctrica (BPL)

1.3.1 Descripción general

El sistema PLC utiliza las mallas eléctricas de media y baja tensión para su distribución, además de producir también su conmutación.

Las diferentes implementaciones de esta nueva tecnología tienen el potencial para interconectar a través de las instalaciones eléctricas internas: de casas, oficinas, edificios, computadoras y periféricos. También son eficaces y competitivos en costos como sistemas de “última milla” para servicios de datos, voz y video en Banda Ancha.

Los sistemas PLC consisten en dispositivos terminales (módems) que se enchufan en la Red de suministro eléctrico, no sólo para alimentarse sino para utilizar ésta como medio del enlace de datos a otros terminales ubicado en la misma Red o una vecina. Estas unidades de usuario (UU) proporcionan interfaces para datos (USB, Ethernet) y eventualmente telefonía analógica sobre 2 hilos (FXS). Las UU reportan a unidades de concentración (UC), y estas a su vez a enrutadores y/o switches para producir conmutación local o hacia otras redes (Telefonía Pública, Internet, etc.). Las UC suelen tener la capacidad de establecer entornos VLAN, pudiendo prescindir del enrutador para este servicio.

Para este sistema es necesario un “acondicionamiento” de la infraestructura existente en la Red eléctrica, como se muestra en la figura 7. Las redes normalmente pueden transmitir señales regulares de baja frecuencia en 50 o 60 Hz. y señales mucho más altas, sobre 1

Conditioning Unit

The diagram illustrates the internal components and signal flow of a Conditioning Unit. It features two main signal processing blocks: a **LOW PASS** filter (red box) and a **HIGH PASS** filter (green box). The unit is connected to an **Earth** ground.

Signal Paths:

- NP (Neutral Point):** A red arrow indicates 50 Hz Power entering the unit.
- From Substation:** A green arrow indicates a 2 Way Signal Above 1MHz entering the unit.
- EDP (Electric Discharge Point):** A red arrow shows 50 Hz Power exiting the unit to the Electricity Meter.
- CDP (Current Discharge Point):** A green arrow shows the 2 Way Signal Above 1MHz exiting the unit to the Service Unit.

Internal Connections:

- The **LOW PASS** filter receives 50 Hz Power from NP and outputs it to EDP.
- The **HIGH PASS** filter receives the 2 Way Signal from the substation and outputs it to the Service Unit via CDP.
- There is a bidirectional green arrow between the input from the substation and the HIGH PASS filter, and another bidirectional green arrow between the LOW PASS filter and the HIGH PASS filter.

Legend:

- Red line: 50 Hz Power
- Green line: 2 Way Signal Above 1MHz

Los servidores de las estaciones o subestaciones locales, se conectan a Internet mediante fibra óptica o cable coaxial tipo Banda Ancha, el resultado final, es similar a una Red de área local (LAN).

Por lo general se utiliza la Red de Media tensión entre 2.4 kV y 35 kV y en los transformadores de las líneas de distribución de 220 V o 380 V de baja tensión, para facilitar el acceso de alta velocidad a Internet. La utilización del PLC implica el desarrollo de la tecnología dentro de dos capas principales, la física o de energía eléctrica de consumo y la de datos o de comunicaciones.

La integración de la tecnología de la Red y de la capa física o eléctrica permite que los datos de alta velocidad sean transmitidos sobre las líneas de energía, para uso general directamente a la

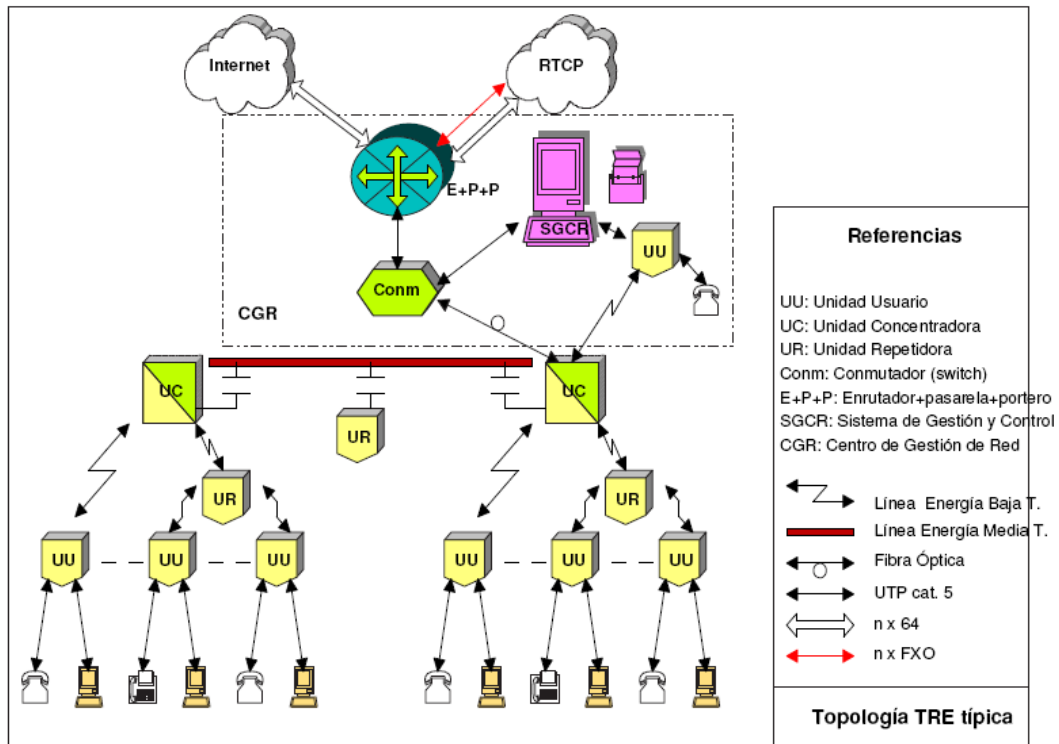


Fig. 8: Topología PLC típica

premisa de los usuarios de forma ininterrumpida, sin errores, de manera intacta y asegurada (cifrado). Los dispositivos principales dentro de la capa física son los acopladores. La función principal de éstos es la de acoplar señales PLC entre las líneas de baja y media tensión, así como los dispositivos de puente que típicamente son los transformadores de la Red.

El uso de la Red Eléctrica existente significa reducción de costos y proporciona un acceso a la Banda Ancha y a la interconexión entre dispositivos. Históricamente, los sistemas de PLC, estaban limitados a velocidades de transferencia de datos relativamente bajas, típicamente menos de 500 Kbps. Estos sistemas con baja tasa de transferencia todavía están en uso en aplicaciones como telecontrol, tal es el caso de interruptores en instalaciones domésticas y en el caso de empresas proveedoras de servicios eléctricos para supervisión de sistemas, comunicaciones de datos y telefonía.

Los nuevos sistemas utilizan técnicas de acceso al medio muy modernas y eficientes, con altos rendimientos Bit/Baudío, inmunidad al ruido y tolerancia a los cambios eléctricos

del medio (DSSS, OFDM). A nivel de usuario la conectividad está proporcionada en base al conjunto de protocolos TCP/IP, proveyendo a los equipos terminales capacidades multimedia en base a los estándares H.323 y complementarios.

1.3.2 Técnicas de modulación

El canal de PLC es un ambiente muy hostil. Las características de un canal de PLC tienden a variar en tiempo, situación y con los cambios de carga, lo que justifica técnicas de modulación robustas. El PLC usado para el propósito de comunicación requiere esquemas de modulación sofisticados. Las técnicas de modulación convencionales como ASK, PSK o FSK normalmente son excluidos por la conducta hostil del canal de PLC. Una posible solución para superar los problemas en un canal de comunicaciones de este tipo, es usar un método de modulación robusta. Si el método de modulación puede ocuparse de la atenuación desconocida, así como de los cambios de fase desconocidos, entonces el receptor puede simplificarse. El problema es combinar estos requisitos con una alta tasa de bits, necesaria en las comunicaciones de las computadoras actuales y las limitaciones del ancho de banda en el canal PLC. Dos métodos de modulación cumplen con todos estos requisitos y esos son OFDM, DSSS.

1.3.3 Desventajas de PLC

Hay varios problemas presentados por la introducción de la banda ancha en redes de energía eléctrica en los sistemas de comunicaciones. Estos problemas pueden categorizarse en tres áreas y referidas a la compatibilidad:

- Entre las redes privadas y públicas
- Políticas de telecomunicaciones.
- Interferencia en radiocomunicaciones.

1.3.4 Ventajas de PLC sobre otras tecnologías

(a) Economía de instalación

- Sin obra civil.
- Cada instalación en un transformador da acceso entre 150 - 200 hogares.

(b) Anchos de banda muy superiores a ADSL

- El límite de velocidad promedio práctico para ADSL es 2 Mb.
- PLC puede llegar a ofrecer hasta 200 Mb.

(c) Emisiones electromagnéticas.

- Equiparables a ADSL y muy inferiores a la telefonía móvil.
- (d) Monopolio en el bucle local.
- No existen alternativas a ADSL y el operador dominante tiene más del 90% de cuota de mercado.
 - Cualquier enchufe en casa se convertiría en un acceso a los servicios.
 - Lanzamiento rápido: tecnologías competidoras como VDSL, G.SHDL, AD-SL2, ADSL2+, etc. también están en el horizonte, con lo que aprovechar la actual situación es importante.
 - Precio competitivo frente a ADSL.
 - Buena calidad VoIP (voz sobre IP).
 - Velocidades y demás parámetros de conexión aceptables según lo ofertado.
 - Estabilidad frente a interferencias.
 - Marco legal y administrativo propicio.
 - Evolución de la actual tecnología y abaratamiento de los dispositivos PLC.

1.4 Modulaciones empleadas

Como podemos ver en la figura 9 la modulación del PLC comenzó en una primera generación con la modulación GMSK y DSSS que ofertaba velocidades de entre 1 y 4Mbps pero ya en la segunda generación se empezó a introducir la modulación OFDM. Las características generales de la segunda generación fueron utilizar OFDM con:

- 1280 portadoras
- Tasa de transferencia: mayor de 27Mbps en la bajada y mayor de 18Mbps en la subida
- Tasa de transferencia adaptable según la SNR (Relación Señal Ruido) con más de 8 bits por portadora.
- Eficiencia de la modulación de 7,25bps/Hz

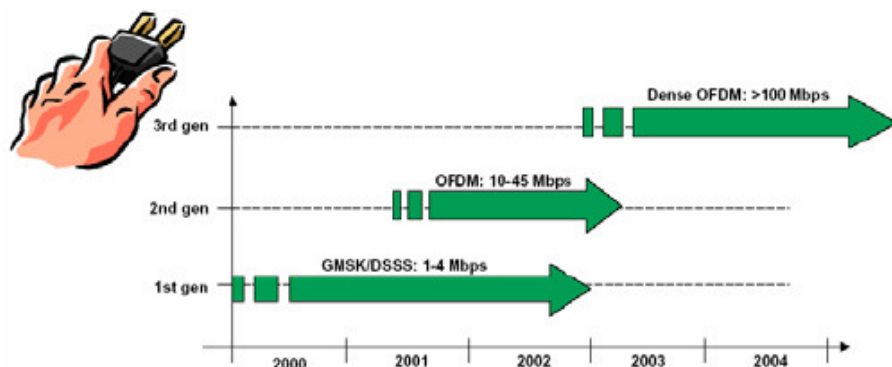


Fig. 9: Evolución de las modulaciones empleadas

De la tercera generación que actualmente esta en desarrollo se espera:

- Modulación OFDM densa
- Velocidades mayores a 100Mbps
- Lograr mayor eficiencia gracias a una mayor densidad del multi-carrier
- Un coste menor o igual al del DSL/CABLE
- Instalación más fácil y mecanismos mejores para la detección de errores

1.4.1 Modulación GMSK

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) es un esquema de modulación continua en fase, una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por tanto reducir los requisitos de ancho de banda.

Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1, -1) son transformados a pulsos gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro gaussiano para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la mayoría de los casos, la duración del pulso gaussiano supera a la de un bit, dando lugar como consecuencia a lo que se conoce como Interferencia entre Símbolos (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro gaussiano y la duración de un bit. Este producto se conoce normalmente como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos gaussianos.

La portadora resultante es una señal continua en fase lo cual es importante porque las señales con transiciones suaves entre fases requieren menor ancho de banda para ser transmitidas. Por otra parte, este suavizado de la señal hace que el receptor tenga que realizar un trabajo mayor en la demodulación de la señal ya que las transiciones entre bits no están bien definidas.

Además de en la transmisión de datos por la red eléctrica, este tipo de modulación es muy utilizado también en redes GSM, y en comunicaciones aeroespaciales debido al poco ancho de banda necesario y a la robustez de la señal en medios hostiles.

1.4.2 Modulación DSSS (“Direct Sequence Spread Spectrum”)

El espectro ensanchado (SS) es una técnica de transmisión en la cual un código pseudoaleatorio, independiente de los datos de información, es empleado como forma de onda modulante para “desparramar” la energía de la señal sobre un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información de la señal original. Los sistemas de secuencia directa (DS) son sistemas de espectro ensanchado en los cuales la portadora está modulada por un código de

dispersión de alta velocidad y una corriente de datos de información. La secuencia del código de alta velocidad es el causante directo del ensanchamiento de la señal transmitida.

Las características que presenta esta modulación son las siguientes:

- Se basa en la multiplicación de la secuencia de bits original por una secuencia digital (chips) de velocidad mucho mayor.
- El código de expansión expande la señal por una gran banda de frecuencias.
- La expansión es proporcional al número de bits usados.
- Se combina la información digital de la secuencia de bits con los bits de la secuencia de expansión, usando OR exclusivo.
- La señal binaria de datos modula una portadora RF, y la señal modulada resultante es modulada por la señal código (la señal código consiste en una sucesión de bits de código ('chips') entre +1 y -1).

Las ventajas y desventajas que presenta esta modulación son:

- Acceso múltiple: si múltiples usuarios usan el canal a la vez, habrá múltiples señales DS superpuestas en tiempo y frecuencia. Si los códigos usados tienen muy poca correlación, podrán separarse los canales sin problemas.
- Interferencia multicamino: si la secuencia código está bien seleccionada, la señal será cero fuera del intervalo $[-T_c, T_c]$, donde T_c es la duración del chip.
- Interferencia de banda estrecha
- La generación de señales código es sencilla
- No es necesaria la sincronización entre usuarios

1.4.3 Modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

El origen del OFDM es en la década de los 50/60 en aplicaciones de uso militar que trabajan dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras.

OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-carrier considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo.

La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias.

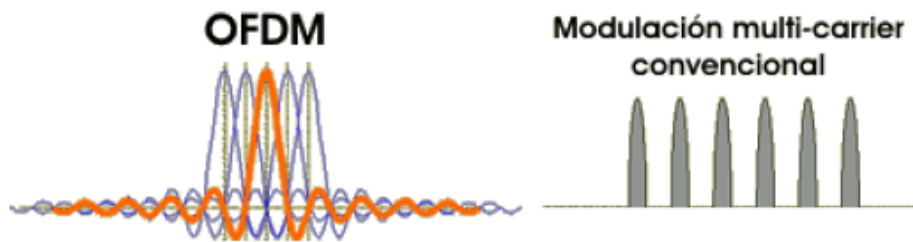


Fig. 10: OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional

Al no existir un estándar para PLC la modulación OFDM varía según los fabricantes de esta nueva tecnología.

El sistema de DS2 como primer ejemplo utiliza:

- 1280 portadoras de hasta 30 MHz.
- Flujo de datos de 45 Mb/s; 27 Mb/s en bajada y 18 Mb/s en subida.

Este sistema al trabajar con gran número de portadoras tiene las siguientes ventajas:

- Sincronización más simple y robusta
- Fácil de adaptarse a cortes
- Mejor inmunidad a ruidos impulsivos, interferencias
- Mejor robustez frente a distorsiones (fadings)

El sistema de Cogency sin embargo utiliza:

- 84 Portadoras, de 4,5 MHz a 21 MHz.
- Flujo de datos: Capacidad total máxima 14 Mb/s.

La principal ventaja de este sistema es que se puede adaptar fácilmente a los cambios en las condiciones de transmisión de la línea eléctrica y que se pueden utilizar filtros para proteger los servicios que puedan resultar interferidos.

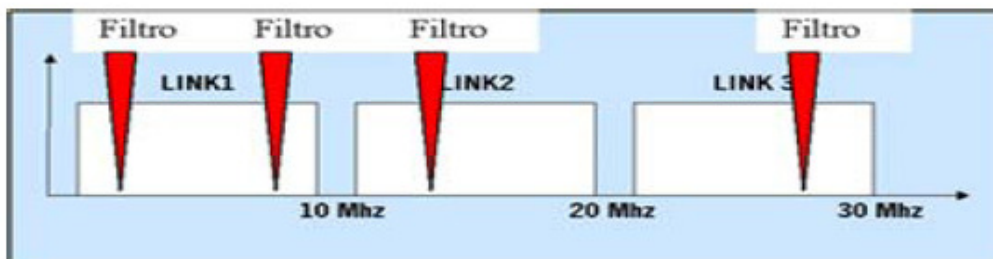


Fig. 11: Tres enlaces OFDM con filtros

1.5 Estándares asociados a la tecnología y situación actual

A pesar de que el PLC se encuentra actualmente muy evolucionado tecnológicamente, todavía queda mucho camino por recorrer en el tema de la normalización. Numerosas iniciativas se han tomado durante los últimos años para estandarizar las capas física y MAC del PLC, tanto para redes locales como para acceso. Estos esfuerzos de normalización los realizan alianzas o consorcios como HOMEPLUG, CEPCA, OPERA y UPA.

Las especificaciones propuestas no son compatibles entre sí, y los diferentes sistemas no podrían ser usados en la misma red sin interferir unos en otros.

En Junio de 2005, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) comenzó un proyecto (el P1901) para estandarizar ambas capas de PLC. Para poder adoptar un estándar requieren un mínimo del 75% de votos de entre todas las compañías por las que está formado el grupo de trabajo, y esperan llegar a un consenso en un corto periodo de tiempo, ya que si no es así, la industria del PLC se vería gravemente dañada.

Igualmente, el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) creó en Septiembre de 1999 el ETSI PLT, el cual hasta el momento ha llevado a cabo 11 documentos: 2 especificaciones técnicas y 9 informes técnicos sobre varios aspectos:

- Características de red
- Características del canal
- Problema de nodos ocultos
- Radiación electromagnética
- Coexistencia entre acceso y redes locales
- Etc.

Han sido los primeros en obtener una especificación técnica para la coexistencia entre acceso y red local, pero no ha llegado a ser reconocido debido a la falta de suficiente consenso en la industria del PLC. Actualmente la realidad es que las 4 principales entidades tienen o tendrán en breve sus propias especificaciones para la capa física y MAC:

- Alianza HomePlug
- Alianza CEPCA (Consumer Electronic Poweline Communications Alliance)
- Proyecto OPERA

➤ Asociación UPA (Universal Powerline Association)

Hoy en día existe un acuerdo entre OPERA y UPA, mediante el cual éste último adoptará las especificaciones técnicas de OPERA. Este proyecto, al estar enmarcado dentro del proyecto OPERA, se ceñirá a sus especificaciones, con lo que las posteriores definiciones de frecuencias, modulación, etc. se ceñirán a dichas especificaciones.

Existe también la necesidad de estandarización en lo que a radiación electromagnética (EMC) se refiere. En concreto, IEC-CISPR/I empezaron un nuevo proyecto en 2005 con este objetivo. Además, tras 5 años de trabajo, el grupo de trabajo formado por CENELEC-ETSI posee ya un borrador que se está planteando someter a votación en un corto periodo de tiempo.

En la figura 12 se muestra el proceso de regulación en Europa para los temas relacionados con el PLC. Los números dan una indicación de la secuencia de actividades. El PLC Forum, aunque numerado en el último lugar, ejerce en realidad el papel de un grupo de presión en todo el proceso.

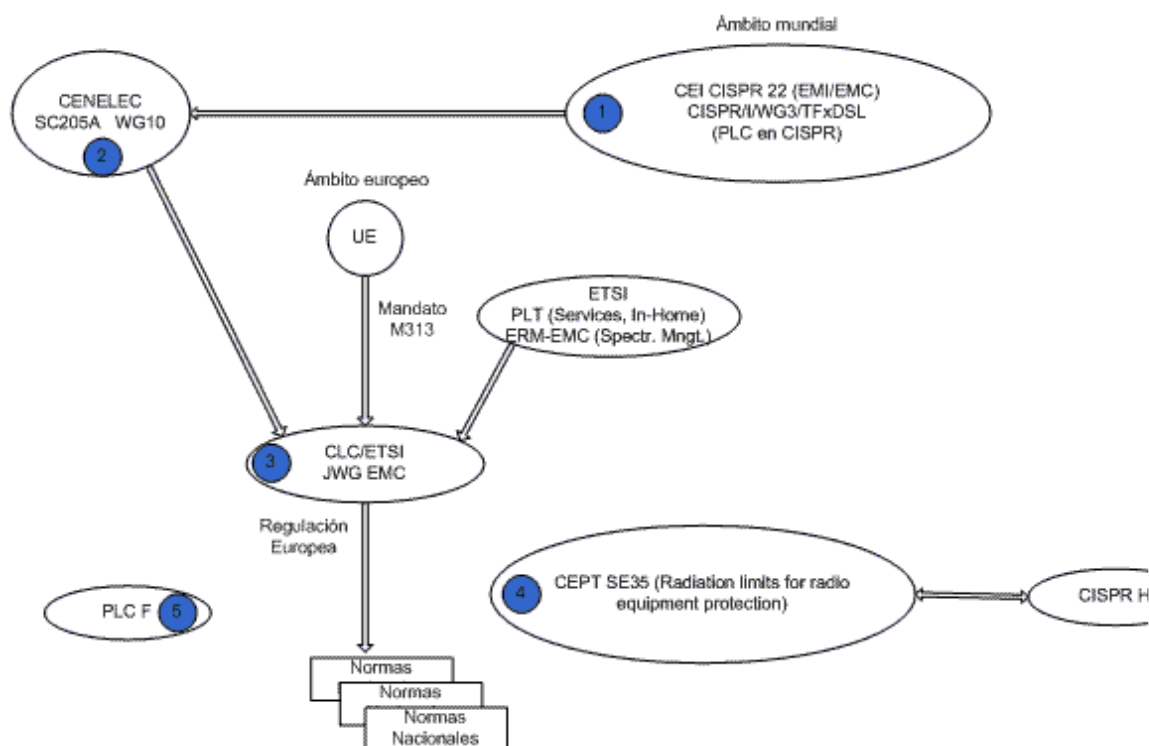


Fig. 12: PLC-Marco Normativo