

# Comunicaciones a través de la red eléctrica PLC

Víctor Hugo Serna San Miguel

PLC (Power Line Communications) o PLM (Power Line Modem) se refiere a cualquier tecnología que permita transferir datos a velocidad de banda estrecha (<100 kbps) o banda ancha (>1 Mbps) y a través de la red eléctrica usando una tecnología avanzada de modulación.

Dependiendo del país, la institución y la compañía, las comunicaciones a través de la red eléctrica están agrupadas bajo diferentes acrónimos:

- PLC
- PLM
- PLT (Power Line Telecommunications)
- PPC (Power Plus Communications)

## Principios en la comunicación por PLC

Las comunicaciones a través de la red eléctrica ya se utilizaban hace algún tiempo en telecontrol tipo todo o nada: de relés, alumbrado público y domótica.

La banda ancha sobre PLC empezó a finales de la década de 1990:

–En 1950 se empezó con una frecuencia de 10 Hz y 10 kW de potencia, con comunicación en un solo sentido, aplicándose para el control de líneas eléctricas y para el control remoto de relés.

–A mediados de 1980 se inició la investigación sobre el uso de la red eléctrica para soportar la transmisión de datos, en bandas de entre 5 y 500 kHz, siempre en una sola dirección. Más

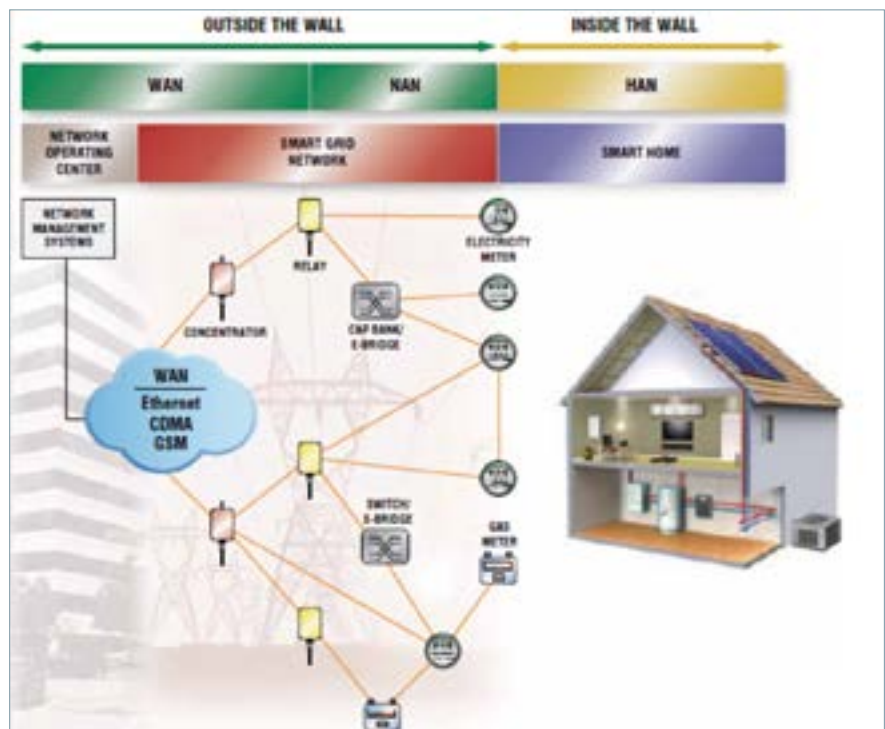


Figura 1.

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

–En 1997 se realizaron las primeras pruebas para la transmisión bidireccional de señales de datos a través de la red eléctrica y el inicio de la investigación de Ascom (Suiza) y Norweb (Reino Unido).

–En 2000 se llevaron a cabo las primeras pruebas en Francia por EDF R&D y Ascom.

## Principio de trabajo

La tecnología PLC de banda ancha es capaz de transmitir datos a través de la red eléctrica y por lo tanto se puede extender a una red de área local existente o compartir una conexión a Internet a través de los enchufes eléctricos con la instalación de unidades específicas (figura 1).

El principio de PLC consiste en la superposición de una señal de alta frecuencia (de 1,6 a 30 MHz) con bajos

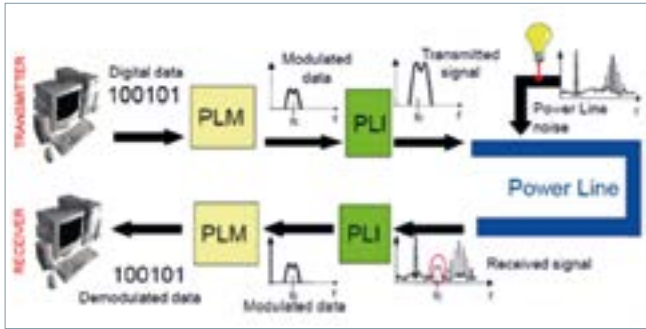


Figura 2.

niveles de energía sobre la señal de la red eléctrica de 50 Hz. Esta segunda señal se transmite a través de la infraestructura de la red eléctrica y se puede recibir y decodificar de forma remota. Así, la señal PLC es recibida por cualquier receptor PLC que se encuentra en la misma red eléctrica.

Un acoplador integrado en la entrada del PLC receptor elimina los componentes de baja frecuencia antes de que la señal sea tratada.

Un módem de red eléctrica (PLM) convierte un dato binario en una secuencia de señales con características predefinidas (frecuencias, niveles) y viceversa, haciendo el proceso de Modulación/DEModulación (figura 2).

Una interfaz de línea de red eléctrica (PLI – Power Line Interface) transmite las señales moduladas sobre la red eléctrica y detecta las señales que llegan, por lo que permite el proceso de transmisión/recepción. Por ello se requieren los bloques PLM y PLI para permitir una comunicación fiable a través de las líneas de red eléctrica, donde el ruido es impredecible y las pérdidas siempre están presentes.

### Modulaciones PLC

Las redes eléctricas son un mal medio para las transmisiones de comunicaciones. Los problemas que ocasionan son: atenuación con la frecuencia, variaciones con la impedancia, multicamino y condiciones desfavorables de ruido.

Las modulaciones en banda estrecha más utilizadas son: ASK, FSK, PSK (figura 3).

En la banda ancha se solucionan estos problemas con modulaciones eficientes: SS (Spread Spectrum) y OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing).

La modulación por división de frecuencia ortogonal OFDM, tam-

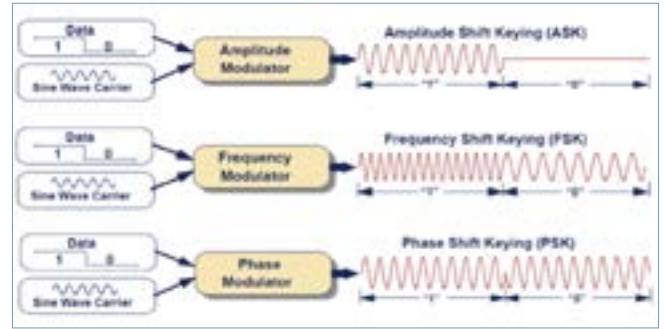


Figura 3. Modulaciones ASK, FSK y PSK.

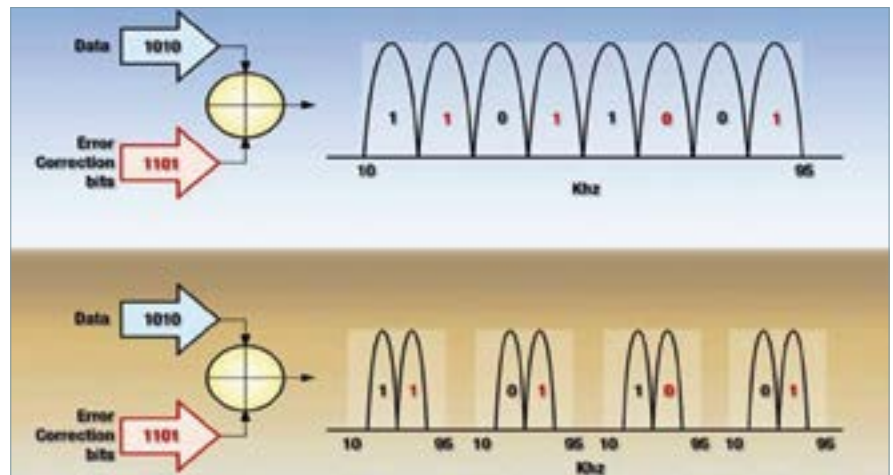


Figura 4. Modulaciones OFDM y FSK.

bién conocida como modulación por multitono discreto (DMT), trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras.

### ¿Por qué OFDM ha sido elegida por las compañías eléctricas?

OFDM es una técnica de modulación que puede utilizar la banda permitida de CENELEC A,B,C y FCC de forma más eficiente con técnicas de codificación avanzadas.

Añadiendo algoritmos Viterbi y Reed-Solomon se consiguen 6 dB adicionales de relación señal ruido. Reed-Solomon puede recuperar errores causados por ruidos provocados por pulsos típicos de la línea AC.

En la figura 4 vemos las dos modulaciones más populares, OFDM en la parte superior y FSK en la parte inferior. Es un ejemplo sencillo e ilustrativo de transmisión de 8 bits a través de modém en un ancho de banda de 85 kHz.

Se aprecia cómo utilizando solo 2 tonos cada 85kHz de ancho de banda (parte inferior del dibujo) un módem de banda estrecha necesita 4 símbolos para transmitir 8 bits de datos más el

bit de redundancia. Por tanto, es más lento transmitir una misma información con modulación FSK que con modulación OFDM.

En la figura 5 se puede ver el modém PLC de MAXIM, MAX2990 que junto con el Analog Front End MAX2991 forman una solución OFDM muy robusta, compacta y preferida de ERDF y otras compañías eléctricas europeas, que basan sus primeros resultados sobre viabilidad del OFDM en esta tecnología.

### Protocolo de comunicación

Para comunicar nodos PLC se debe usar un lenguaje específico y roles de comunicación, por ejemplo: el protocolo específico de comunicación.

De acuerdo con el modelo ISO/OSI (International Organization for Standardization/Open System Interface), los protocolos de comunicación están clasificados en 7 capas.

Cada capa se ocupa de un aspecto específico de la comunicación.

Cada capa proporciona una interfaz para la capa superior. El conjunto de las operaciones define el servicio proporcionado por esta capa.

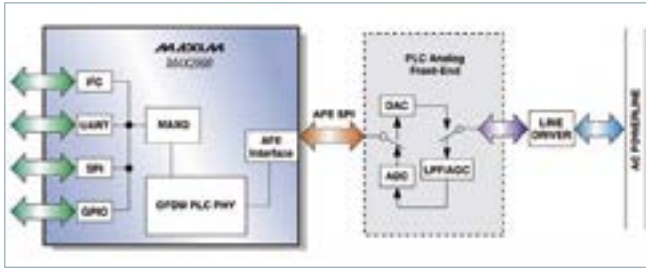


Figura 5. Módem PLC de Maxim y Analog Front End MAX2991.

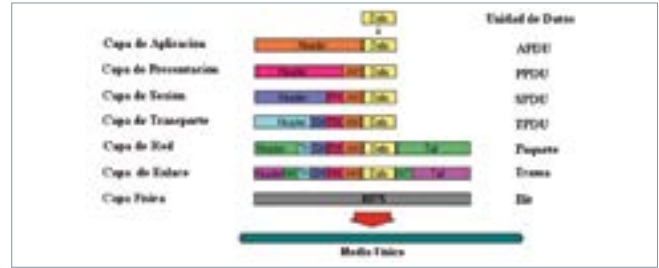


Figura 6. Modelo OSI con sus distintas capas.

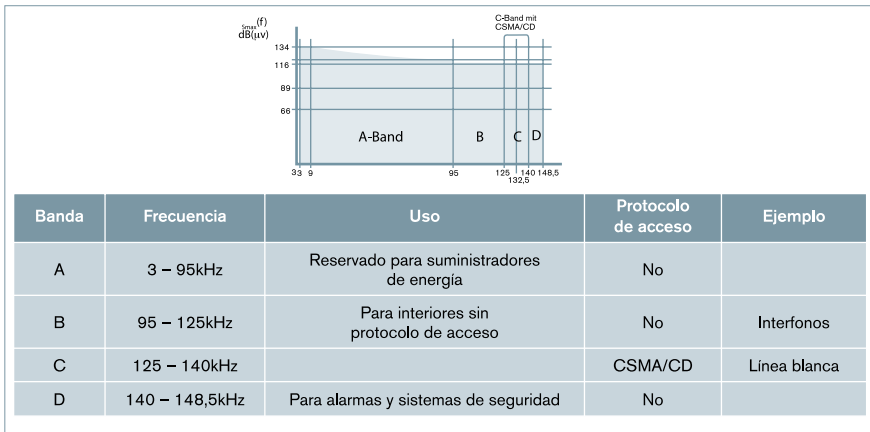


Figura 7.

En un mensaje enviado por la capa superior se transmite a la capa inmediatamente inferior hasta la capa más inferior.

En cada nivel se puede añadir una cabecera al mensaje.

La capa más baja transmite el mensaje a través de la red al nodo receptor. El mensaje recibido comunica con la capa más baja del receptor.

Cada capa retira la cabecera, se encarga del mensaje usando el protocolo previsto por la capa y pasa a la capa inmediatamente superior y, por último, a la capa más alta del receptor.

La figura 6 muestra el recordatorio de modelo OSI con sus distintas capas. Pero, a menudo, las comunicaciones PLC necesitan menos de 7 capas.

### Normas internacionales de regulación PLC

Los productos PLC deben ser compatibles con las normas generales de regulación internacional, así como las especificadas por la FCC/CENELEC ARIB y comités en EE UU Japón y la UE.

En realidad hasta los 35 kHz aproximadamente se ha encontrado que la banda eléctrica es muy ruidosa, por lo que se utiliza a partir de 35 kHz o 40 kHz.

Estas normas imponen restricciones severas en la comunicación de frecuencias utilizables por los nodos PLC y emisiones radiadas.

Bandas de frecuencias PLC en EE UU:

- FCC (Federal Communications Commission) sección 15 definida en la banda de frecuencia de 10 a 490 kHz para la comunicación PLC en Norteamérica y Canadá.
- HomePlug en la banda de 2 a 30 MHz.
- Protocolo de acceso definido por un estándar.
- Ancho de banda simple de 150 a 450 kHz.

Bandas de frecuencias PLC en Asia:

- ARIB (Association of Radio Industries and Bussines) definida en la banda de frecuencia de 10 a 450 kHz para la comunicación PLC en Asia y Japón.
- EPRI (Electric Power Reserch Institute) definida de 3 a 90 kHz.
- Ancho de banda simple de 3 a 500 kHz.

Bandas de frecuencias PLC en Europa:

- CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electronique) EN50065-1 definida en un margen de bandas de baja frecuencia permitidas para la comunicación PLC.
- Banda A (de 3k Hz a 95 kHz), reservada para las compañías eléctricas.

Bandas de frecuencias PLC en China

- EPR (Electric Power Reserch Institute) definida de 3 a 90 kHz.
- Ancho de banda simple de 3 a 500 kHz.

Bandas de frecuencias PLC en Europa:

- CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electronique) EN50065-1 definida en un margen de bandas de baja frecuencia permitidas para la comunicación PLC.
- Banda A (de 3k Hz a 95 kHz), reservada para las compañías eléctricas.

- Banda B (de 95 kHz a 125 kHz), que puede ser usada para todas las aplicaciones sin ningún protocolo de acceso.
- Banda C (de 125 kHz a 140 kHz), reservada para sistemas de red interna. Es obligatorio un acceso CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) que facilita la coexistencia de diferentes sistemas incompatibles en la misma banda de frecuencia. Y por último,
- Banda D (de 140 kHz a 148,5 kHz), que está especificada para alarmas sistemas de seguridad sin ningún protocolo de acceso.

### Estándares

Actualmente solo existe una norma, en Estados Unidos con el estándar Homeplug V1.0.1. Esta norma solo es aplicable para las instalaciones “indoor” y no es interoperable con las aplicaciones actuales “outdoor”. Otras normas surgirán en los próximos meses o años.

### PRIME

La alianza PRIME (PRIME = Powerline Intelligent Metering Evolution) está focalizada en el desarrollo de una solución no propietaria, abierta y pública que pueda soportar no solo el *smart metering* sino también la conexión completa de aparatos y medidas de energía, gas y agua a través de toda la red eléctrica, de dentro de casa y de fuera.

Para este propósito la tecnología PLC es la más adecuada en comunicaciones de gran densidad de nodos y enlaces eléctricos.

PRIME se basa en la multiplexación OFDM en la banda CENELEC-A. Para más información se puede encontrar en: <http://www.prime-alliance.org>

PRIME (Evolución de Medición Inteligente Powerline) es un estándar que define la capa física y la Mac basada en las tecnologías más avanzadas en

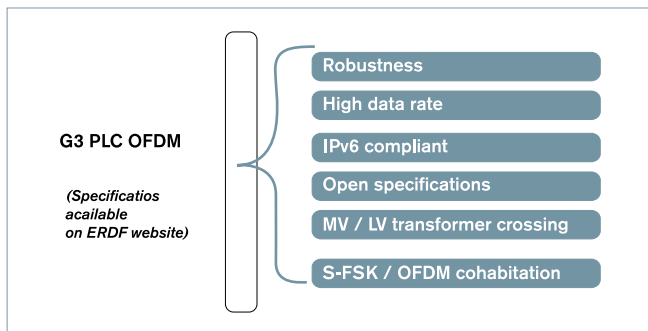


Figura 8.

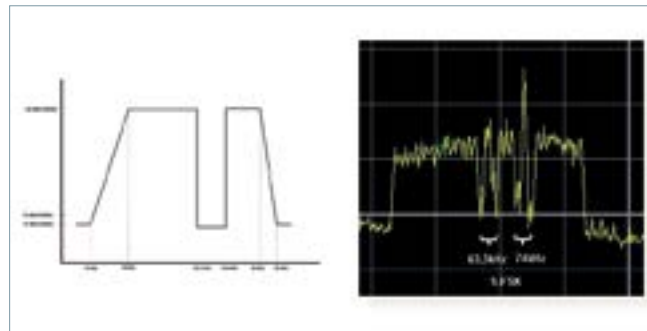


Figura 9.

la fecha de su constitución, con el fin de garantizar que las necesidades del mercado futuro se cumplan y que las inversiones en empresas de servicios públicos son a prueba de futuro.

PRIME es abierto, en busca de interoperabilidad de los equipos de distintos proveedores, como una forma de impulsar el crecimiento de un nuevo mercado para que al final (servicios públicos, industria, clientes, etc.) se beneficien de este estándar.

### G3-PLC Open Standard for Smart Grid Implementation

G3-PLC es un estándar de comunicaciones, desarrollado por Sagem, ERDF y Maxim ([http://www.maxim-ic.com/view\\_press\\_release.cfm/release\\_id/1678](http://www.maxim-ic.com/view_press_release.cfm/release_id/1678)) que busca interoperabilidad en la comunicación, como el anterior, y focalizado directamente al “Smart Grid” o interconexión completa de las comunicaciones a través de la red eléctrica, tanto en baja, media como alta tensión.

La especificación G3-PLC incluye las capas PHY/MAC donde apoya el OFDM, y una capa de adaptación 6LoWPAN para transmitir paquetes IPv6 por la red. Está por tanto pensada para infraestructuras de multitud de nodos a gran escala (figura 8).

Este estándar promueve la interoperabilidad entre los 10 kHz y los 490 kHz con FCC, CENELEC y ARIB, y tecnológicamente tiene la capacidad de coexistir con otras señales de modem en la red, con lo que funciona en redes donde hay instalada otra tecnología de comunicación PLC con otros estándares, tipo IEC61334, IEEE® P1901 e ITU G.hn.

Para ello tiene la posibilidad de hacer un filtro rechazo de banda (*notch*) muy selectivo.

En la figura 9 vemos un diagrama basado en toma real con osciloscopio, y se

Estándar	Tecnología	Banda ocupada	Margen de velocidad de transmisión
IEC 61334	SFSK	60–76kHz	1,2–2,4kbps
PRIME	OFDM	42–90kHz	21–128kbps
ERDF G3	OFDM	35–90kHz	2,4–34kbps Atravesando transformador y condensadores en modo ROBO, exclusivo de la tecnología de modem seleccionada de MAXIM.
Homeplug SE con PHY Green	OFDM	2–30MHz 120–400kHz	250kbps – 3,8Mbps
Homeplug AV	OFDM	2–30MHz	192Mbps

Tabla 1. Resumen de algunos estándares de comunicación por PLC.

aprecia como la transmisión OFDM no transmite en la banda de frecuencias elegida entre 63 kHz y 74 kHz para poder cohabitar con una señal S-FSK existente en esas frecuencias.

Por tanto, 11 subportadoras no pueden transmitir datos. Considerando el hecho de que hay un total de 36 portadoras disponibles, 25 subportadoras quedan todavía para transmitir los datos, resultando en un FC con 19 símbolos OFDM  $((33+6)*2*6/25)=19$ .

Hay un filtro *notch* analógico antes del control automático de ganancia del propio modem.

Este filtro *notch* es también muy útil para poder bloquear o atenuar ciertas frecuencias conocidas de ruido o *jam*.

El G3 reduce los costes de infraestructura y la transmisión real con pruebas reales han dado valores de transmisión y velocidad de varios kilómetros de distancia en varios tipos de pruebas realizadas en Francia por ERDF (proyecto *Linky*, público en la web) atravesando transformadores de baja, media y alta tensión en distintos tipos de escenarios, como barrios antiguos de París, zonas industriales de Lyon o zonas rurales con cableados de distintos tipos e impedancias.

Todas las especificaciones, planos reales donde se hicieron las pruebas y condiciones se pueden ver en:

<http://www.maxim-ic.com/products/powerline/pdfs/plc-erdf.pdf> y las especificaciones técnicas están publicadas en <http://www.erdfdistribution.fr/medias/Linky/ERDF-CPT-Linky-SPEC-FONC-CPL.pdf>

No hay que olvidar que existen otros estándares como el 1.8.3 IEC 61334 muy fiables para comunicaciones de baja velocidad en contadores de agua, electricidad y SCADA, también conocido como S-FSK, derivado del IEC 1334.

#### Internet

[http://www.eetindia.co.in/ART\\_8800583259\\_1800006\\_NT\\_13777bf2.HTM](http://www.eetindia.co.in/ART_8800583259_1800006_NT_13777bf2.HTM)  
<http://www.primeplc.com/>  
<http://www.plcs.net/contents.shtml>  
 www.silica.com Comparativa PLCs, de cuaderno de campo de Jordi Mayne, FAE en Silica.  
<http://www.maxim-ic.com/products/powerline/pdfs/plc-erdf.pdf>  
<http://www.maxim-ic.com/smartgrid>

#### Victor Hugo Serna

Trabaja como ingeniero de Aplicaciones para Maxim en Francia, Portugal y España.