

# ¿COMUNICACIÓN POR LA RED ELÉCTRICA? UN ACERCAMIENTO A LA TECNOLOGÍA BPL

Gerardo A. Laguna y Ricardo Barrón  
Centro de Investigación en Computación (CIC), IPN  
galagunab07@sagitario.cic.ipn.mx

La línea eléctrica es una red prácticamente omnipresente, con enchufes disponibles virtualmente en cualquier lugar donde es posible la existencia de una terminal de comunicación (ya sea computadora o cualquier dispositivo alimentado por la línea de 127 V c.a.). Esa es la razón por la cual la tecnología de comunicaciones BPL (*Broadband Power Line*), también conocida como tecnología PLC (*Power-Line Communication*), es un área de investigación muy atractiva. En esencia, la tecnología BPL representa para los ingenieros de comunicaciones el formidable reto de transmitir datos a través de un medio que fue originalmente diseñado para la distribución de energía eléctrica y no para la transmisión de datos. Los investigadores e ingenieros deben considerar algunas características de este medio que lo hacen en cierta forma el «peor» de los canales, a saber [?]:

- a) Respuesta variante en el tiempo y en la frecuencia.
- b) Función de transferencia muy dependiente de la ubicación y la topología de la red, así como de las cargas conectadas.
- c) La presencia de diferentes tipos de ruido significativo.

Un canal BPL presenta atenuaciones de banda angosta, debido a que las señales no se propagan a lo largo de una trayectoria única, sino que sufren reflexiones provocadas por los desacoplamientos de impedancia, resultando en sumas y cancelaciones de la señal. Así, el canal BPL puede ser considerado como un medio de comunicación multi-trayectoria con atenuación selectiva en frecuencia. Debido a los frecuentes cambios en la impedancia, que ocurren cuando se conectan o desconectan cargas (se prenden/apagan focos, aparatos, etc.), el canal BPL es también variante en el tiempo. Más aún, ya que algunas cargas tienen impedancias con comportamiento no-lineal, su impedancia varía conforme al nivel de voltaje de la señal de potencia, resultando en un canal con comportamiento ciclo-estacionario [?].

Para minimizar los efectos de la atenuación, el ruido y, al mismo tiempo, maximizar el aprovechamiento del canal, se emplean avanzadas técnicas de procesamiento de señales y comunicaciones digitales, tales como la técnica de asignación de bits (conocida como esquema Multi-Tono Discreto o DMT, por sus siglas en inglés) y el multiplexado por repartición en frecuencias ortogonales (OFDM, *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*), que ha sido adoptada como técnica de señalización básica para la tecnología BPL doméstica.

La tecnología BPL es una tecnología emergente, es decir, en vías de maduración. Su principal atractivo es que, en teoría, permitiría proporcionar el servicio de Internet y de comunicaciones digitales de alta velocidad a mayores segmentos de la población que cuentan básicamente con servicio eléctrico, más que con teléfono, televisión por cable o cobertura de otras tecnologías de comunicaciones digitales. Esta característica ha hecho especialmente atractiva esta tecnología para los países que han adquirido el compromiso de llevar los servicios de banda ancha a todos sus ciudadanos. Especialmente, en los países en vías de desarrollo existe interés en disminuir la brecha tecnológica en cuanto a la penetración de la banda ancha, y se han impulsado estrategias para la adopción de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones (ICT, por sus siglas en inglés) [?], dentro de las cuales se encuentra justamente la tecnología BPL. Por otra parte, dos organizaciones mundiales han impulsado importantes desarrollos en el sector tecnológico BPL: la *Open PLC European Research Alliance* (OPERA) [?] y su contraparte en América, la *HomePlug Powerline Alliance* [?]. De hecho, con el reciente avance en el campo de la integración de muy gran escala (VLSI) y del procesamiento digital de señales (DSP, por sus siglas en inglés), el sueño del «Hogar Inteligente» es técnicamente realizable y la factibilidad de una red doméstica basada en la tecnología BPL es una realidad [?, ?].

En años recientes el mercado de las comunicaciones y, en particular el de los servicios de Internet, ha presentado un crecimiento espectacular y una competencia feroz. Por ende, el desarrollo de nuevas tecno-

logías se ha enfocado principalmente en aumentar la cobertura, disminuir el costo y aumentar el ancho de banda. De hecho, en un sentido amplio, la conectividad trasciende a la simple transmisión de datos entre computadoras o acceso a Internet, e incluye los servicios multimedia como, por ejemplo, el conocido como «Triple Play», es decir: voz (Telefonía), banda ancha (Internet) y televisión, todo por la misma conexión. Por ello, muchos esfuerzos de investigación se han enfocado en aquellas tecnologías que pueden soportar, sobre todo, los servicios de multimedios al interior de los hogares. Por ahora, las tecnologías inalámbricas no ofrecen una solución madura que represente una conexión omnipresente con verdadera capacidad para multimedios, ni precios competitivos en el mercado masivo de los hogares convencionales. No obstante, no es prudente considerar a las tecnologías de conectividad como competidoras, sean cableadas o inalámbricas, sino como soluciones complementarias en diversas aplicaciones que, sin duda, caracterizarán la conectividad de los hogares futuros. En particular, la tecnología BPL, como alternativa cableada, tiene las siguientes ventajas [?]:

- En términos de desempeño, la tecnología PLC ha probado alcanzar velocidades de hasta 200 Mbps (millones de bits por segundo) con buena calidad en el servicio.
- La tecnología PLC posibilita de manera natural la conectividad de virtualmente cualquier aparato doméstico (refrigeradores, lavadoras, etc.) que se encuentre conectado a la línea eléctrica y, con ello, abre la puerta al control y automatización de cualquier lugar, como lo previó el concepto del «Hogar inteligente».

Pero ¿cómo funciona la tecnología BPL? Primero, para montar una señal de comunicación sobre la senoide de 120 V/60 Hz que distribuye la energía eléctrica en las instalaciones domésticas, se requiere de un circuito que permita enlazar dos sistemas que tienen características opuestas en algunos aspectos importantes:

- a) La energía eléctrica se distribuye con una senoide de gran potencia y baja frecuencia (60 Hz).
- b) La señal de comunicación es de baja potencia y de alta frecuencia (3--30 MHz).

Así, en todos los casos, un circuito de acoplamiento debe aislar galvánicamente al sistema de comunicación BPL de la línea de energía eléctrica, y esto normalmente se logra mediante acoplamientos inductivos y capacitivos [?].

Por su parte, el esquema OFDM-DMT es una forma de modulación multi-portadora que divide eficientemente un flujo entrante de datos seriales (de alta velocidad) en un gran número de flujos paralelos (a menor velocidad) de datos y los asigna a un conjunto de subportadoras (subcanales) ortogonales. Las ventajas de esta técnica incluyen la adaptación de la velocidad de datos en función de la relación señal a ruido (SNR, *Signal to Noise Ratio*), eficiencia espectral, resistencia a la interferencia ínter símbolo (ISI), inmunidad al ruido impulsivo y minimización de la interferencia de radio frecuencia (RFI). Las técnicas de asignación de bits aplicadas al esquema OFDM-DMT estiman la SNR de cada subcanal en una sesión inicial, y el número total de bits por transmitir es dividido en los subcanales de acuerdo a la SNR de cada uno de éstos, de tal manera que un subcanal con mejor SNR conducirá más bits que uno con mala SNR. Así, cada subcanal lleva tantos bits en cada símbolo OFDM-DMT como lo requiere el nivel de atenuación y el ruido observado en la frecuencia de su subcanal [?].

Finalmente, vale la pena comentar que la capacidad de un canal de comunicación es la máxima velocidad de transmisión de datos que éste permite [?]. De los resultados de la teoría de información de Shannon, en cuanto a transmisiones sobre canales ruidosos, sabemos que la única forma de alcanzar una velocidad de datos cercana a la capacidad del canal es mediante la optimización del sistema, por ejemplo, mediante la optimización del esquema de modulación. En este sentido, un reto de peso que acota los importantes esfuerzos de investigación enfocados en el desarrollo de sistemas BPL que operen cerca de la capacidad máxima teórica de las líneas eléctricas, es que hasta ahora permanece sin respuesta la pregunta sobre cuál es precisamente esa velocidad máxima de datos alcanzable, así como su respectiva calidad de transmisión [?]. Por todo ello, la investigación en el fascinante campo BPL está abierta y muy activa, así que seguramente seguiremos escuchando noticias al respecto.

## Referencias

- [1] E. Biglieri. «Coding and Modulation for a Horrible Channel». *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, pp. 92--98, mayo 2003.
- [2] F. J. Cañete et al. «Analysis of the cyclic short-term variation of indoor power line channels». *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(7):1327--1338, julio 2006.
- [3] CAMITI, CANIETI, FMD. *Visión México 2020: Políticas Públicas en materia de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para impulsar la competitividad de México*. México, 2006. [http://www.canieti.org/index.asp?\\_option\\_id=1118&\\_option\\_parent\\_id=0&\\_option\\_level=0](http://www.canieti.org/index.asp?_option_id=1118&_option_parent_id=0&_option_level=0)
- [4] OPERA. <http://www.ist-opera.org/>
- [5] HomePlug. <http://www.homeplug.org/>
- [6] F. J. Cañete et al. «Modeling and Evaluation of the Indoor Power Line Transmission Medium». *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, pp. 41--47, abril 2003.
- [7] S. Baig. «A discrete multitone transceiver at the heart of the PHY layer of an in-home power line communication local area network». *IEEE Communication Magazine*, vol. 41, pp. 48--53, abril 2003.
- [8] S. Galli y T. C. Banwell. «A Deterministic Frequency-Domain Model for the Indoor Power Line Transfer Function». *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 24, no. 7, pp. 1304--1316, julio 2006.
- [9] G. Laguna y R. Barrón. «Circuito de acoplamiento para la comunicación por la línea eléctrica doméstica». *9º Congreso de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Aplicada (CIEEA)*, pp. 1--4, S.P., México, marzo 2008.
- [10] P. Amirshahi y M. Kavehrad. «High-Frequency Characteristics of Overhead Multiconductor Power Lines for Broadband Communications». *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 24, no. 7, pp. 1292--1303, julio 2006.
- [11] M. Babic et al. «Performance Analysis of Broadband PLC in Multipath Environment». *ISPLC*, 2003.