

Transmisión de datos por la red eléctrica

Javier Álvarez Valle, Víctor García González, Daniel González Fernández, Guillermo González-Moriyón Hernández, Daniel Rodríguez Fernández, Marta Rubio Gutiérrez, Daniel Valencia Moragón

1 Introducción a la tecnología PLC

1.1 Antecedentes

En los años 50 se había creado un sistema que permitía a las empresas de energía controlar el consumo, el encendido del alumbrado público y el valor de las tarifas eléctricas por medio de una señal de baja frecuencia (100 Hz) que viajaba a través de los cables de la red en un solo sentido. A mediados de los 80 se iniciaron investigaciones sobre el empleo de los cables eléctricos como medio de transmisión de datos y a fines de esa década ya se conseguía transmitir información en ambas direcciones. A finales de los 90 se consiguió que esta transmisión se realizara a velocidades suficientemente elevadas. Esto permitió vislumbrar una aplicación en el campo de las telecomunicaciones: el acceso a Internet.

Recientemente ha surgido un nuevo sistema de comunicaciones denominado Power Line Communication (PLC) para atender la demanda de una “Banda Ancha Real”. Esta tecnología consiste en utilizar las líneas de distribución eléctricas para la transmisión de información.

1.2 Situación actual

Aunque en España este sistema sea novedoso cabe destacar que ya en los años 90 se experimentó con esta tecnología en Inglaterra Alemania y Austria.

En nuestro país las tres principales empresas de energía españolas (Endesa, Iberdrola y Unión Fenosa) han iniciado en los últimos años experiencias piloto con tecnologías PLC en distintas ciudades obteniendo resultados sumamente exitosos y sorprendentes. En Barcelona la velocidad de transmisión alcanzó los 3 Mbps mientras que en Sevilla, en algunos casos la velocidad alcanzó los 25 Mbps y, además, los usuarios pudieron acceder a servicios multimedia, de teléfono y de videoconferencia.

2 Concepto de PLC

Se trata, fundamentalmente, de la transmisión de voz y datos a través de la red eléctrica. Hace muchos años que empresas e ingenieros están tratando de hacer realidad esta idea porque se trata de aprovechar la red existente (más de 3.000 millones de personas cuentan con energía eléctrica en todo el mundo). 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 para los cuales no habían sido concebidos inicialmente.

3 Ventajas y Desventajas

3.1 Ventajas

- Utiliza la infraestructura ya existente, es decir el cableado eléctrico, por lo que no es necesario ningún tipo de obra adicional
- Cualquier enchufe en una casa es suficiente para estar conectado.
- Posibilidad de crear redes de datos domesticas utilizando el cableado existente.
- Su instalación es muy rápida por parte del cliente.
- Proporciona una conexión permanente 24h al día.
- Disponibilidad de múltiples servicios a través de una misma plataforma.
- Es posible combinarla con otras tecnologías.
- Por medio de microfiltros se evitan las posibles interferencias generadas por los electrodomésticos
- No sufre de los inconvenientes de ADSL o cable que no llega en muchos casos al usuario final. Al estar ya implantada la red eléctrica permite llegar a cualquier punto geográfico.
- El ancho de banda es de 45 Mbps aunque actualmente ya se alcanzan velocidades de 135 Mbps y en breve se llegará a 200 Mbps.
- Con un solo repetidor se provee de conexión hasta 256 hogares.
- Con el tiempo los costes se abaratarán.
- Las tarifas de conexión, aunque todavía no están fijadas, no superarán las cuotas de ADSL.

3.2 Desventajas

- Tiene escasa competencia tecnológica.
- La producción de los equipos necesarios es todavía escasa
- Ausencia de estándares tecnológicos para la interoperabilidad de equipos.

- La red eléctrica no fue diseñada para transmitir datos por lo que experimenta frecuentes caídas y la calidad de las llamadas telefónicas no es completamente satisfactoria.
- Interferencias durante la navegación a través de la Web.
- Falta de seguridad.
- Oposición de las compañías telefónicas.

4 Capa Física

4.1 Características del canal

- Rango de frecuencias (1.6-30 Mhz)
- Baja impedancia, lo que implica altas potencias de emisión
- Alta atenuación
- La impedancia varía en cada ciclo de tensión, debido al uso de dispositivos no lineales (diodos, transformadores, etc.)
- La impedancia varía temporalmente por el encendido y apagado de dispositivos
- Reflexiones, debido a la topología de la red eléctrica en las viviendas
- Medio muy ruidoso. Puede no haber neutro (tierra)

4.2 Transmisión de la señal

Para este sistema es necesario un "acondicionamiento" de la infraestructura existente en la red eléctrica. Las redes normalmente pueden transmitir señales regulares de baja frecuencia en 50 o 60 Hz y señales mucho más altas, sobre 1 MHz sin que ambas frecuencias se molesten entre si, ya que las de baja frecuencia llevan energía mientras que las de alta frecuencia llevan los datos.

Se utiliza una unidad de acondicionamiento HFCPN (High Frequency Conditioned Power Network) para transmitir datos y señales eléctricas. Un HFCPN utiliza una serie de unidades de condicionamiento (CU) para filtrar esas señales separadas. El CU recibe la entrada agregada en su puerto de red, esta entrada agregada pasa por un filtro pasa altos. Este filtrado de las señales de alta frecuencia permite derivarlos al puerto de comunicación, y mediante un filtro pasa bajos se envía la electricidad al consumo. La señal de 50 Hz fluye del filtro pasa bajos y también sirve para atenuar el ruido provocado por las aplicaciones eléctricas en casa del cliente, ya que el agregado de estos ruidos extraños provocaría distorsiones significativas en la red. La señal de datos sale del CU a las unidades de consumo y distribución de datos mediante el empleo de cables coaxiales estándar.

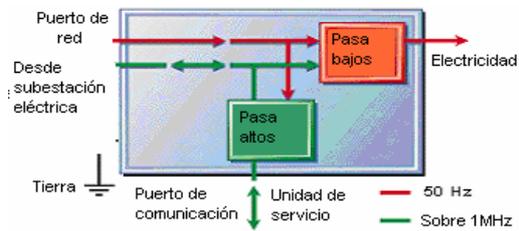


Fig. 1. Unidad de acondicionamiento de la señal

Los servidores de las estaciones o subestaciones locales, se conectan a Internet mediante fibra óptica o cable coaxial tipo banda ancha.

4.3 Modulaciones empleadas

Como podemos ver en la Figura 2 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

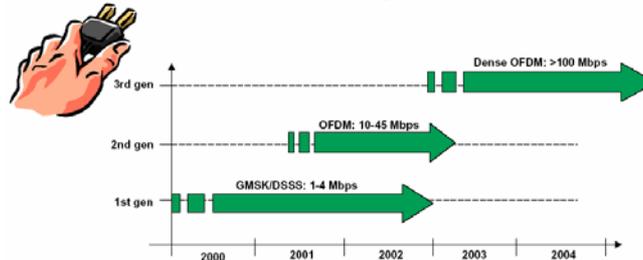


Fig. 2. Evolución de las modulaciones empleadas

De la tercera generación que actualmente está 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

4.3.1 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 inter-simbólica* (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.

4.3.2 Modulación DSSS ("Direct Sequence Spread Spectrum")

Definición

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.

Características

- 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).

Ventajas y desventajas

- 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

4.3.3 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.

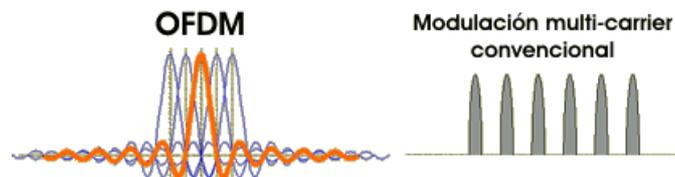


Fig. 3. OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional

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.

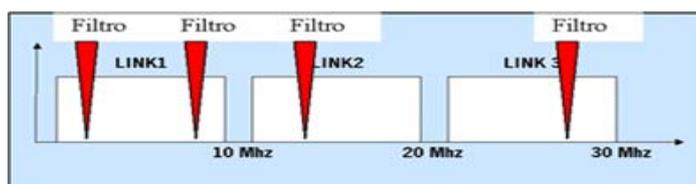


Fig. 4. Tres enlaces OFDM con filtros

5 Capa Enlace

Actualmente uno de los problemas que se plantean en la utilización de la tecnología PLC es que cada empresa de desarrollo ha desarrollado sus propios protocolos propietarios, independientemente del resto.

La solución de este problema pasa por llevar a cabo una estandarización, la cual se están llevando a cabo por OPERA. En este apartado desarrollaremos los aspectos fundamentales que se proponen en OPERA para la Capa de Enlace y las redes PLC.

5.1 Tipos de Redes PLC

En la tecnología PLC se tienen 5 tipos distintos de redes. La clasificación se hace teniendo en cuenta la densidad de usuarios y el uso de la red de Media Tensión para la comunicación o no.

- Redes de Baja Tensión A: Áreas residenciales de alta densidad de población.
- Redes de Baja Tensión B: Áreas residenciales de viviendas unifamiliares.
- Redes de Media Tensión A: Interconexión entre SE con dos líneas MT.
- Redes de Media Tensión B: Interconexión entre SE con una línea MT.
- Redes de Media Tensión C: Idéntica a la anterior, pero con densidad de población baja.

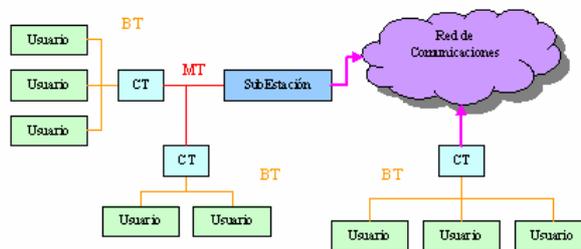


Fig. 5: Representación esquemática de una red de MT (izquierda) y una red de BT (derecha).

Hay que tener en cuenta que las diferencias entre estos tipos de redes son sustanciales. Las tres primeras se refieren a zonas con alta densidad de usuarios, por lo que los protocolos deben ir enfocados para dar solución a este problema. Por otro lado, las dos últimas redes modelan zonas rurales, con menos densidad de usuarios por lo que el problema pasa a ser la distancia entre los usuarios.

Por lo tanto los enfoques deben ser distintos, lo que nos lleva a protocolos de capa de enlace diferentes en las zonas urbanas y en las zonas rurales.

5.2 Subcapa de Acceso al Medio

Para el diseño de la subcapa MAC PLC, se tuvieron en cuenta dos características principales, la frecuencia variable (al igual que la telefonía móvil su frecuencia siempre se encuentra en cambio) y las reflexiones producidas por ser una red sin terminadores.

Por otro lado se intentan reaprovechar los estándares definidos para otros tipos de redes, como el CSMA, TDMA, 802.11 o 802.5. Pero hay que tener en cuenta que estas soluciones no encajan completamente con las características de los diferentes tipos de redes PLC. Podemos dividir los protocolos PLC MAC en tres tipos:

- Protocolos con arbitraje. Tenemos un controlador central que se encarga de coordinar los equipos conectados e indicar quien puede enviar en cada momento. Requiere tener acceso a todos los equipos conectados a la red. El principal protocolo de este tipo es TDMA con muestreo.
- Protocolos sin arbitraje. No hay un controlador central, todos los nodos tratan de colaborar para minimizar las colisiones. Dentro de esta categoría están el protocolo CSMA o el protocolo 802.5.
- Protocolos híbridos. Protocolos intermedios entre las dos clases anteriores que pretenden quedarse con la parte buena de ambas.

La elección del protocolo dependerá de la topología de la red PLC.

5.3 Subcapa de Enlace de Datos

En la subcapa de Enlace de Datos, se emplean los protocolos 802.2 para el enlace lógico y 802.1 para hacer bridging, reaprovechando así los estándares existentes.

5.4 Pila de protocolos de un equipo PLC

Los equipos de una red PLC presentan una pila de protocolos como la siguiente:



Fig. 6: Pila de protocolos típica en un equipo PLC.

Podemos ver cómo los equipos tienen la posibilidad de acceder a dos medios diferentes (Ethernet y PLC), de realizar funciones de encaminamiento (802.1) y enlace lógico (802.2) y enrutamiento IP. El control del equipo se puede llevar a cabo mediante SMTP o mediante el protocolo de control de 802.1.

6 Problemas de la tecnología PLC (Interferencias)

6.1 Introducción

La tecnología PLC utiliza la infraestructura ya existente de la red eléctrica. Este cableado, instalado y construido para otros fines distintos de la transmisión de datos, no presenta ningún tipo de aislamiento por lo que emitirá radiación debido a la falta de simetría, provocando interferencia electromagnética sobre los servicios inalámbricos, radioaficionados y otros.

6.2 Interferencias con HF

PLC opera en la banda 1 – 10 MHz para el acceso a la última milla y entre 10 y 30 MHz para la conexión entre dispositivos en una casa. Por tanto, trabaja directamente en la misma banda que HF (3 – 30 MHz), sin embargo los datos obtenidos no dejan claro si hay interferencia o no. Estos son algunos datos encontrados:

- Las empresas de PLC aseguran que no hay interferencia con la banda HF.
- Las medidas realizadas por radioaficionados en la banda HF en varios países muestran interferencias visibles provocadas por el PLC.
- Algunos países han mostrado su preocupación por la interferencia del PLC en las comunicaciones a través de la banda HF.

- Asociaciones de radioaficionados de muchos países han reaccionado masivamente ante las interferencias provocadas por el PLC enviando sus quejas a las compañías que lo están desarrollando.
- El grupo de trabajo de comunicación por HF de la OTAN ha mostrado sus preocupaciones acerca de las emisiones del PLC y sus efectos sobre la banda HF.

6.3 Conclusión: Dos posturas contrarias, ¿quién tiene razón?

Ante la ausencia de un entorno en el que realizar pruebas controladas:

- Las pruebas se han realizado utilizando alguna infraestructura ya existente, por lo que otras fuentes de radiación pudieron estar presentes.
- No hay pruebas a gran escala por lo que no se puede prever el efecto que pueden tener miles de usuarios de PLC al mismo tiempo. ¿Se incrementará el ruido? ¿Se propagarán estas emisiones a otros sitios?

El PLC puede ser una amenaza para las comunicaciones fiables mundiales a través de la banda HF.

7 Coexistencia con otras tecnologías

PLC puede utilizarse sola o en compañía de otras tecnologías. Si se utiliza como red de acceso, obtendremos la conexión a Internet a partir del enchufe. Pero en otras ocasiones, se utiliza otra tecnología para obtener el acceso, y PLC hacer este acceso disponible desde cualquier enchufe. Así tenemos por ejemplo PLC-ADSL, PLC-WiFi, PLC-LMDS, PLC-HFC, PLC-Satélite, ...

8 Normalización

PLC puede resumirse en tres aplicaciones importantes:

- Como solución de última milla. (Banda Ancha, “access”)
- Como solución de red hogareña o red corporativa (HomePlug, PowerPacket, Passport/ Plug-in PLX, X10, CEBus, LonWorks) (Banda Estrecha, “in-house”)
- Como solución sobre el sistema de distribución eléctrico-industrial

Los organismos involucrados en actividades de normalización en la actualidad son el PLC Forum que presenta sus iniciativas a los foros europeos: CENELEC y ETSI. Más enfocado en los aspectos de PLC en el hogar, está el grupo de interés especial (SIG) Homeplug, que agrupa a numerosas empresas del sector, particularmente en EE.UU., y que ha editado su especificación de interfaz, basada en modulación OFDM, pero que al operar en la banda de 4-22 MHz interfiere con las bandas definidas por ETSI. El Forum PLC ejerce en realidad el papel de un grupo de presión en todo el proceso.

Hasta ahora ninguna alianza había conseguido crear un mecanismo que permita la coexistencia de la red hogareña con la red de acceso por PLC. En Enero de 2004 la Comisión Europea creó el proyecto OPERA con el fin de vencer las dificultades que plantea el PLC y lograr por fin un desarrollo de esta tecnología que ofrece tantas ventajas.

OPERA es la Alianza de Investigación Europea Abierta sobre PLC para la nueva generación de redes integradas PLC. Se trata de un proyecto de I+D con un presupuesto cercano a los 20 Millones de Euros, fundado inicialmente con 9 Millones de Euros por la Comisión Europea.

9 Estado actual de PLC. Empresas que desarrollan esta tecnología

9.1 Empresas de dedicadas a PLC

Al ser la transmisión por vía eléctrica (PLC) una tecnología de reciente desarrollo (relativamente, puesto que ya se lleva trabajando en ella durante bastante tiempo), aún no existen muchas empresas que se dediquen a explotar esta tecnología en la actualidad.

Tecnocom es una empresa líder a nivel mundial en el campo de PLC que se encuentra en diversos puntos de España y del extranjero. Tecnocom es el suministrador mayoritario de los equipos necesarios para dar soporte a la tecnología PLC y ha desarrollado los servicios profesionales de valor añadido necesarios para el despliegue, puesta en marcha y mantenimiento de la red de PLC. Actualmente, Tecnocom es considerada la compañía pionera en la tecnología PLC. Los proyectos de la compañía en España han incluido la prueba piloto de Zaragoza y el despliegue de la red PLC que actualmente está comercializando Iberdrola.

La empresa eléctrica Endesa inició la prestación de este tipo de servicio en Zaragoza. Iberdrola lo ha puesto en marcha en algunas zonas de Madrid y en la Comunidad Valenciana. Unión FENOSA es la tercera compañía que ha obtenido licencia de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT) para ofrecer servicios de voz y datos mediante esta tecnología.

DS2 (Diseño de Sistemas en Silicio) es otra compañía española situada en Valencia, que se dedica al diseño de chips PLC, siendo líder en este campo. Esto se debe a que es la empresa cuyos chips consiguen mayores velocidades de transmisión y la única que cuenta con tecnología PLC para redes de Media Tensión (entre 15 y 50 Kilovoltios).

Los competidores actuales de DS2 son principalmente ASCOM, una empresa de origen suizo y MAIN.NET de origen israelí. Sin embargo, ambas empresas están orientadas a la fabricación de módems y alcanzan velocidades de transmisión por debajo de las obtenidas con los chipset de DS2 (aproximadamente una décima parte de éstas).

A nivel mundial, cabe destacar el apoyo a esta tecnología por diversos grupos como UPLC y PLCA en EEUU, PLC-J en Japón, APTEL en Suramérica, y la alianza HomePlug. En cuanto a empresas eléctricas citar a PUA (PLC Utilities Alliance), EDF, EDP, EEF, EnBW, ENEL, y las ya citadas Endesa, Iberdrola, y Unión FENOSA.

10 Conclusiones

PLC es una tecnología de acceso de banda ancha probada y tecnológicamente viable que usa una infraestructura existente con mayor cobertura que otras tecnologías y da soporte a todos los servicios proporcionados por IP: Internet, telefonía, televisión, domótica, etc.

Aunque todavía está en desarrollo, PLC es una robusta tecnología emergente. Aún se deben mejorar algunos aspectos, como los niveles de radiación no mayores que los permitidos hoy en día en aparatos domésticos y que son los causantes de la discrepancia entre empresas y radioaficionados, y también se requiere de una normatividad legal y reguladora actualizada, que posibilite el desarrollo pleno para los sectores de electricidad y de telecomunicaciones.

También cuenta con el apoyo de varias empresas que trabajan en su desarrollo (por ejemplo las citadas TecnoCom y DS2) y estandarización (como la alianza OPERA), por lo que es posible que dentro de unos pocos años se establezca definitivamente como una tecnología de mucho futuro.

11 Bibliografía

- <http://www.ist-opera.org/>
- <http://usuarios.lycos.es/urde/plc/plc.htm>
- <http://www.exp-math.uni-essen.de/~vinck/plc/#standards>
- <http://www.informandote.com/jtatip03/articulos/ponencia5.pdf>
- <http://electronica.frba.utn.edu.ar/Vicente/Internet%20por%20red%20electronica.htm>