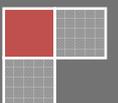


2010

# PLC – Power Line Communication

Elo – 322 Redes de computadores I

Felipe Díaz F. Carlos Wright D.  
Universidad Técnica Federico Santa María  
14/07/2010



Resumen:

En la búsqueda de diferentes formas de comunicación, se han explorado un basto número de alternativas, algunas han quedado obsoletas y otras se van desarrollando.

Power line communication es una de estas alternativas con una atractiva ventaja frente a los sistemas actuales: se aprovecha del cableado de la red de suministro eléctrico ya existente, y que llega prácticamente a todas partes, para efectuar una comunicación de red y/o acceder a Internet.

Actualmente en nuestro país esta tecnología es mas bien desconocida, pero en otros está desarrollándose y puede que en el futuro su uso se amplíe al nuestro.

### **Introducción:**

Con el tiempo se ha hecho necesario disponer de sistemas de comunicación para la transmisión de datos y a raíz de ello, las compañías han ofrecido diferentes sistemas para satisfacer dichas necesidades. Primero fueron los lentos módem que no permitían conexiones rápidas y sobre todo el envío de información masiva. Surgieron nuevas tecnologías de banda ancha, conexiones por cable adsl y wireless. Incluso se han llegado a crear nuevos sistemas como el reciente vdsl que supera con creces la velocidad de transmisión de la adsl.

Recientemente ha surgido un nuevo sistema de comunicaciones denominado “Comunicación por el cableado eléctrico” (o en inglés Power Line Communication) para atender la demanda de una “banda ancha real”. Esta tecnología consiste en utilizar las líneas de distribución eléctricas que llegan a todos nuestros hogares, edificios, industrias, etc. para la transmisión de información.

Aunque en Chile este sistema no es conocido, cabe destacar que ya en los años 90 se experimentó con esta tecnología en Inglaterra y Alemania, no llegando a obtener los resultados esperados. Sin embargo, en España, se han realizado pruebas piloto de este sistema con gran éxito.

Se podría decir que en los últimos tiempos ha habido un incremento en el uso de esta tecnología como una alternativa a los sistemas convencionales de comunicaciones, los cuales requieren sus propios cableados, sistemas wireless, que involucran complejos y costosos circuitos transmisores y receptores.

PLC a partir del año 2004 ya ofrecía velocidades por sobre los 2Mbps y paso a ser considerada como una tecnología de banda ancha, gracias a sus notables avances ,en un intento de estandarización llevado a cabo por la FCC, PLC pasa a llamarse BPL Broadband over Power Lines.

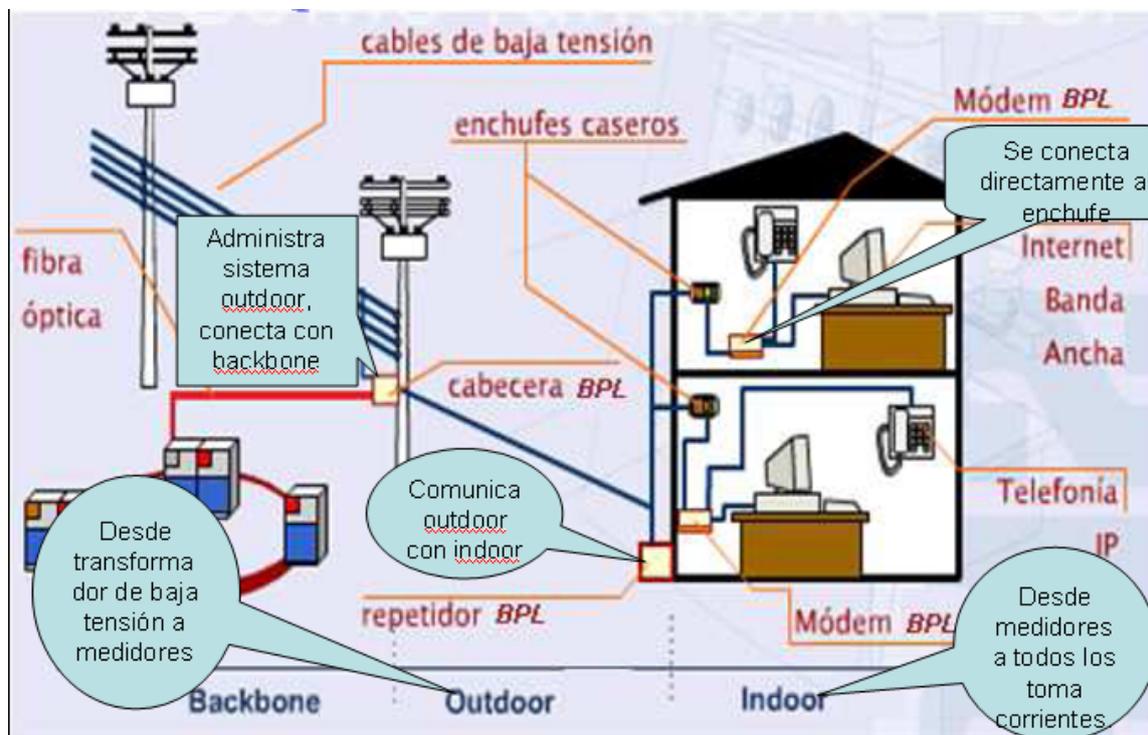
### **Desarrollo**

#### **Frecuencia y velocidad de transmisión**

La tecnología BPL opera entre los 2 Mhz y los 34Mhz lo que esta suficiente mente alejado en frecuencia de la frecuencia utilizada para la transmisión de energía eléctrica, esta diferencia es la que permite que se puedan usar las redes eléctricas como medios de transmisión de datos.

La velocidad de transmisión en BPL hoy en dia llega a los 200 Mbps simétricos es decir la misma velocidad tanto de bajada como de subida.

### **Arquitectura BPL**



## Capa física

la capa física del modelo OSI es la encargada de las conexiones físicas a nivel básico y esta compuesta principalmente por cableado, esta posee la ventaja que utiliza un cableado existente lo que permite disminuir de manera considerable los costos de instalación. sin embargo presenta la dificultad de que el medio no fue concebido para las comunicaciones por lo que se hace necesario equipos con altas velocidades de trabajo y eficiencia espectral para poder implementar una red confiable. La capa física de una red BPL se caracteriza por ser bastante robusta ya que esta es la encargada de especificar la modulación, la codificación y el formato de los paquetes, además de especificar las variables eléctricas, mecánicas y funcionales para activar y mantener un enlace físico entre varios elementos.

### Canal de comunicaciones.

Como todo canal de comunicación, este produce atenuación y desfase en la señal de propagación, debido que es un medio diseñado en principio para la transmisión de energía eléctrica. El canal BPL puede ser considerando como un canal de múltiples rutas debido a las reflexiones ocasionadas por las discontinuidades de la impedancia lo que genera un desvanecimiento de la señal en frecuencia.

### Modelo del canal.

El modelado del canal para líneas eléctricas se debe realizar de tal forma de tener una aproximación a los valores reales medibles en la línea. El modelo del canal se caracteriza por ser un sistema lineal variante en el tiempo, con una función de transferencia  $H(f, t)$  y ruido aditivo caracterizado por una función  $n(t)$ .

Existen diversos tipos de ruidos en un canal como el de la red eléctrica dentro de los cuales señalamos, ruido de fondo coloreado, ruido de banda estrecha, ruido impulsivo periódico, ruido impulsivo asíncrono.

a continuación presentamos el modelo propuesto por Zimmerman y Dostert que nos servirá para conocer las características del canal.



Luego las ecuaciones que describen la función de transferencia, combinando la atenuación multi camino y la atenuación dependiente de la longitud y la frecuencia:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-\alpha(f) \cdot d_i} \cdot e^{-j2\pi \cdot f \cdot \frac{d_i}{V_p}}$$

En donde:

$g_i$  = Representa el producto de la reflexión por el factor de atenuación a lo largo de la  $i$ -ésima trayectoria.

$d_i$  = Longitud de la  $i$ -ésima trayectoria.

$v_p$  = Velocidad de fase.

$\alpha(f)$  = Término asociado a la parte real de la constante de propagación y pérdidas en el conductor.

Para la expresión de  $\alpha(f)$  consideramos la constante de propagación en una línea de transmisión, luego tomara la siguiente forma:

$$\alpha(f) \approx (a_0 + a_1 \cdot f^k)$$

En donde  $a_0$ ,  $a_1$ , y la constante de atenuación  $k$  son generalmente constantes para un tipo de cable en particular.

Luego sustituyendo nos queda la función de transferencia:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-(a_0 + a_1 \cdot f^k) d_i} \cdot e^{-j2\pi \cdot f \cdot \frac{d_i}{V_p}}$$

Ahora considerando los siguientes valores para los parámetros y una distancia de 1000 metros entre transformadores y considerando  $k = 1$ ,  $a_0 = 0$ ,  $a_1 = 1.5 \times 10^{-9}$  (m/s) en un canal de alta tensión:

N	1	2	3	4	5
$g_i$	0.6	0,08	-0,08	0,08	0,15
$d_i$	100	130	160	190	300

Llevando los datos a Mathematica:

```
Out[2]= {0.6, -0.08, 0.08, -0.08, 0.15}
```

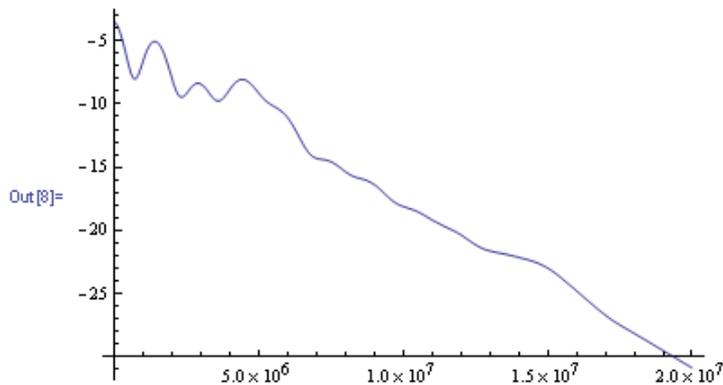
```
Out[3]= {100, 130, 160, 190, 300}
```

```
a0 = 0; a1 = 1.5 * (10^-9); k = 1; vp = 3 * 10^8;
```

```
In[7]:= H[f_] := Sum[g[[i]] * Exp[-(a0 + a1 * (f^k)) d[[i]]] * Exp[-i 2 π f (d[[i]] / vp)], {i, 1, 5}]
```

```
In[8]:=
```

```
Plot[20 * Log10[Norm[H[f]]], {f, 0.3, 20 * 10^6}, PlotRange -> All]
```



Ahora para una red de largo 150 metros:

```
In[11]= g = {0.103, 0.029, 0.043, -0.058, -0.045, -0.040, 0.038, -0.038, 0.071, -0.035, 0.065, -0.055, 0.042, -0.059, 0.049};
```

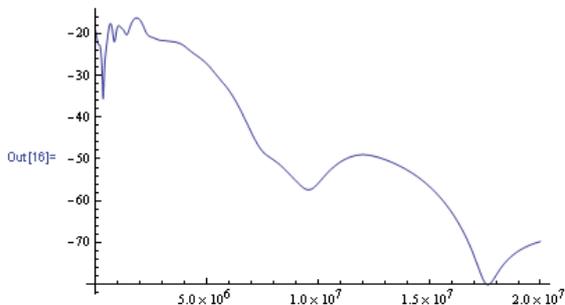
```
In[12]= d = {113.2, 90.1, 101.8, 143, 148, 200, 260, 322, 411, 490, 567, 740, 960, 1130, 1250};
```

```
In[13]= a0 = 0; a1 = 2.5 * (10^-9); k = 1; vp = 3 * 10^8;
```

```
In[15]= H[f_] := Sum[g[[i]] * Exp[-(a0 + a1 * (f^k)) d[[i]]] * Exp[-i 2 π f (d[[i]] / vp)], {i, 1, 15}]
```

```
In[16]=
```

```
Plot[20 * Log10[Norm[H[f]]], {f, 0.3, 20 * 10^6}, PlotRange -> All]
```



Con esto se puede comprobar que a frecuencias bajas el canal posee poca atenuación sin embargo a medida que la frecuencia aumenta la atenuación aumenta, además notamos también que la atenuación es directamente proporcional a la longitud de la línea y al número de multitrayectorias, no obstante notamos que a frecuencias por sobre 1 [Mhz] los niveles de atenuación todavía permiten una potencia aceptable para la transferencia de datos.

### **Modulación**

OFDM modulación por división ortogonal de frecuencia es la técnica usada mayormente en sistemas BPL, esto por su gran tolerancia al ruido, permite manejar muy bien los cambios de impedancia, y las reflexiones producto de las multitrayectorias, además tiene la habilidad para usar o dejar de usar cualquier sub canal, esto es importante debido a que permite evitar interferencias con otros sistemas y con esto cumplir las normas impuestas.

### **Capa de enlace:**

Ya pudimos apreciar las características de comunicación en las redes eléctricas, y comprobamos que resulta ser un medio hostil para la transferencia de datos, por lo que resulta fundamental considerar las técnicas de control, corrección de errores y fragmentación de paquetes. La MAC indica el modo de transmitir las tramas por el medio.

BPL se gobierna principalmente por protocolos de la capa de enlace, en esta capa se realiza la organización de los datos en paquetes lógicos que luego serán convertidos en señales binarias para introducirlos en la capa física. Además se establecen comunicaciones, identificando cada uno de los nodos de la red con una dirección MAC.

Al ser 100% compatible con el modelo OSI, BPL puede compartir conexiones con usuarios de Ethernet y otros estándares compatibles.

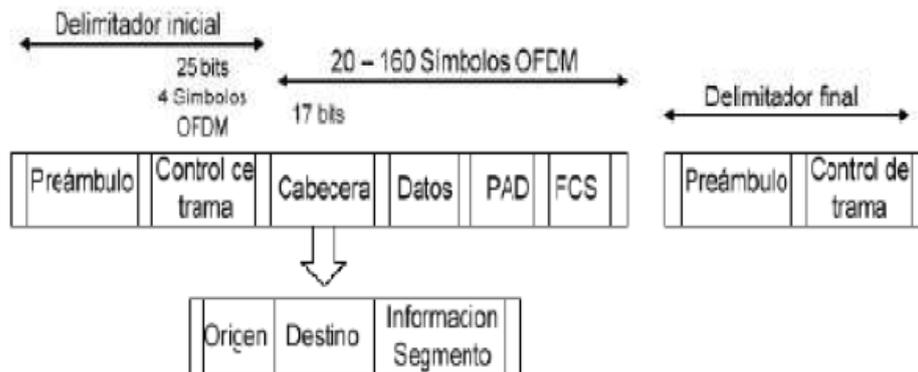
Existen dos factores importantes a considerar al diseñar el método de acceso al medio, el primero es que existe una distancia fija entre nodos de la red y múltiples nodos pueden transmitir simultáneamente.

Por ello la técnica usada ampliamente por BPL es SCMA/CA, protocolo de acceso múltiple con detección de portadora. Y prevención de colisiones. Básicamente este método funciona primero aumentando el tiempo de espera antes de una transmisión, verificando si el medio está desocupado, de ser así entonces transmite.

800.11 usa tramas de control RTS (solicitud de transmitir) y el receptor envía respuestas de CTS (preparado para recibir) si esta comunicación es exitosa se comienza la transmisión de datos. A esto hay que añadir que por cada trama que se envía se espera un ACK por parte del receptor, si esto no ocurre, se asume entonces que ha ocurrido alguna colisión y se sigue esperando hasta que la línea se desocupe.

### **Formato de la trama BPL**

Consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final



El delimitador marca el inicio o fin de la información de temporización, el delimitador de inicio especifica el tiempo de duración de la carga útil, y se utiliza en la trama larga.

Los primeros 17 bit de la carga contienen la dirección de destino, origen e información de segmentación, finalmente el delimitador final indica el final de la trama y el tiempo esperado para el final de la transmisión

### Conclusión

Hemos intentado cubrir los aspectos mas importantes en los que respecta a la tecnología PLC, llegando a la conclusión de que las redes eléctricas son un medio interesante para la transmisión de datos y que aun tiene potencial para mejorar, esto debido a que logra superar los problemas existentes en el canal de comunicación que vimos que presenta muchas dificultades. BPL es una tecnología todavía en estudio, incluso ya se ha implementado en algunas partes del mundo, en Chile; ENDESA en el año 2002 realizó algunas pruebas en el sector de Las Condes en Santiago conectando a mas de 50 hogares através del tendido eléctrico, hoy en día no sabemos cual es el futuro de esta tecnología, se dice que en principio no a tenido éxito debido a su escaso marketing o también debido a que es considerada como una alternativa que plantea un cambio muy radical a lo existente por lo que los proveedores actuales no la han mirado con buenos ojos, sea cual sea el motivo creemos que BPL resulta bastante útil por la principal razón que es capaz de llegar a un numero considerablemente mayor de usuarios que la tecnología actual ya que mas del 90 % de los hogares a nivel mundial tienen el recurso de energía eléctrica através de la red.

Por otra parte vimos que es totalmente compatible con el modelo OSI lo que le permite compartir conexiones con otros estándares.

### Referencias

<http://www.waset.org/journals/ijmpes/v3/v3-3-30.pdf>  
[http://iris.elf.stuba.sk/JEEEC/data/pdf/3\\_108-5.pdf](http://iris.elf.stuba.sk/JEEEC/data/pdf/3_108-5.pdf)  
<http://dSPACE.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/387/1/38T00196.pdf>