

SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN BÁSICA POR LÍNEAS DE POTENCIA (TBLP)

MARLON PATIÑO BERNAL

Ingeniero Electrónico y Especialista en Telecomunicaciones Móviles Universidad Distrital Francisco José de Caldas (F.J.C), candidato a Magíster en Telecomunicaciones Universidad Nacional de Colombia. Docente Universidad Distrital F.J.C. adscrito a la Facultad Tecnológica.
marlonpb@udistrital.edu.co

GILMA INÉS ANGEL CASTILLO

Ingeniera Electrónica y candidata a Especialista en Teleinformática Universidad Distrital F.J.C., docente de cátedra Universidad Distrital F.J.C, adscrita a la Facultad Tecnológica.
gilma_angel@hotmail.com

Fecha de recepción: septiembre 05 de 2003

Tipo de artículo: Revisión
Fecha de aceptación: diciembre 04 de 2003

Palabras clave: Telefonía, telecomunicaciones, TLP, telecomunicaciones por línea de potencia, telefonía por línea de potencia

Keywords: Telephony, telecommunications, TLP, telecommunications through power line, telephony through power line.

Resumen

En este artículo se presentan los conceptos y principios de operación básicos de un sistema de interfaz entre la red telefónica y la red de suministro eléctrico de 120 Vac, denominada aquí tecnología Telefonía Básica por Línea de Potencia (TBLP). Este sistema de interfaz plantea la posibilidad de llevar el servicio de telefonía básica a todos los usuarios del servicio de suministro eléctrico sin el tendido de nuevas redes, ampliando la red de telecomunicaciones del país en una escala sin precedentes.

Abstract

In this article, the basic operation concepts and principles of an interface system between the telephonic net and the electric supply of 120 Vac are presented. This is called here the basic telecommunication through power lines technology (PLBT). This interface system presents the possibility of taking the basic telephony service to all users of the electric supply service without the need of new nets and broadening the country's telecommunications net in a scale without precedents.

1. Introducción

La Red de suministro eléctrico de 120 Vac es la mejor opción para ampliar la red telefónica nacional y llegar a todos los hogares del país.

El modelo de telefonía social, según el cual los usuarios telefónicos de estratos altos subsidiaban a los de estratos bajos, no funcionó en Colombia. El porcentaje de líneas telefónicas instaladas en los estratos 4, 5 y 6 constituyen más del 80% de las existentes¹. El proyecto *Compartel*² tiene como objetivo llevar la red de telecomunicaciones a todos los puntos de la geografía nacional, especialmente a las comunidades menos favorecidas. Esta acción constituiría un mejoramiento en la calidad de vida de estas comunidades; sin embargo, la magnitud del objetivo sobrepasa el presupuesto, por lo cual se hace necesario considerar el aporte de nuevas tecnologías que disminuyan el costo de la ampliación de la red de telecomunicaciones.

La tecnología *Telecomunicaciones por Línea de Potencia (TLP)*³ abre la posibilidad de implementar aplicaciones de telecomunicaciones utilizando los cableados de distribución eléctrica como medio de transmisión (Dalby, 1997). Esta alternativa adquiere mayor importancia si se tiene en cuenta que la red eléctrica es la más extensa, no solo en Colombia sino en todo el mundo. Dado que los costos en el tendido de una red de telecomunicaciones domiciliarias son mayores en el *loop* del usuario o

último kilómetro⁴ (representando el 75% del costo total de la red) (Dostert, 1997), es allí donde la tecnología TLP puede reducir costos, gracias a que la red de suministro eléctrico en la mayoría de los casos ya ha sido instalada.

Un sistema de telecomunicación básica por líneas de potencia (TBLP) requiere de las líneas troncales de la red de telecomunicaciones hasta los transformadores de distribución de baja tensión⁵, en los cuales debe instalarse la interfaz TLP agrupando los domicilios por bloques, manzanas o barrios pequeños.

Los cables de distribución, en configuración paralela⁶, van desde el transformador de baja tensión hasta los hogares. Para utilizar este único canal físico como medio de transmisión es necesario realizar un proceso de multicanalización⁷ (Dalby, 1997), que requiere la instalación del hardware complementario en los extremos de cada canal⁸ (ARRL, 2001). Se tiene, entonces, una red de telecomunicaciones cuya acometida se realiza a través de la red eléctrica ya existente, sin los costos y demoras de instalación.

2. Telefonía básica a través de la red eléctrica

La prestación del servicio telefónico mediante las redes de suministro de energía eléctrica existentes en Colombia será posible gracias a la interconexión de dos grandes redes: la red de suministro de energía eléctrica y



¹ Datos de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, 2002. En: <http://www.crt.gov.co>

² En: <http://www.compartel.gov.co>

³ PLT (Power Line Telecommunication).

⁴ Se denomina último kilómetro o acometida al trayecto final de una red, desde el último punto de distribución hasta el domicilio del usuario.

⁵ El transformador aísla el grupo eléctrico evitando que lleguen señales al sistema de media y alta tensión.

⁶ Esto significa que los cables que llegan a cada uno de los hogares son eléctricamente un mismo punto.

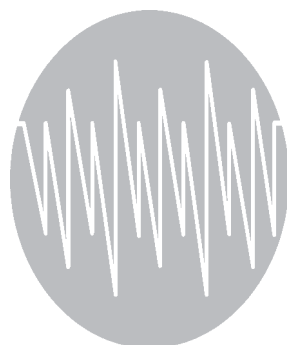
⁷ Tratamiento dado a un canal para ser compartido por muchos usuarios. Un canal físico se convierte en muchos canales lógicos.

⁸ Las mediciones preliminares muestran anchos de banda del orden de decenas de MHz para distancias menores a 300 m.

una red troncal de telecomunicaciones perteneciente a un operador del servicio. Las aplicaciones potenciales de este sistema son:

- El acceso telefónico en nuevas edificaciones, en las cuales solo será necesaria la instalación del cableado eléctrico
- El sistema telefónico en urbanizaciones donde no existe cableado telefónico pero sí red de suministro eléctrico
- La ampliación en número y cobertura del servicio telefónico en áreas de alta densidad de cableado, o donde desee llegar un nuevo operador del servicio de telefonía sin instalar nuevas acometidas
- Para llevar servicio telefónico a áreas rurales o suburbanas, en las que ya exista el tendido de la red eléctrica
- En los casos en que se requiera una instalación de *loop* de usuario inmediata
- Para instalaciones de voz o datos en edificios de conservación histórica
- Cuando se quiera instalar una red de datos (cableado estructurado) en un edificio sobre la red eléctrica, convirtiendo las conexiones eléctricas en puntos de conexión a la red de datos.

Al comparar las posibles alternativas para el montaje de una red de comunicaciones se analiza el cubrimiento (posibles puntos de conexión) y el costo de materiales e instalación. Las redes con mejor posibilidad de cubrimiento son la eléctrica⁹ y la inalámbrica; asimismo, las redes más económicas son las que se encuentran ya instaladas en todo tipo de vivienda o edificio, la red de 120 Vac es la única que cubre ambas características (Dostert K.,1997).



3. Telecomunicaciones a través de la red eléctrica

El esquema de la Figura 1 representa un sistema digital de telecomunicaciones (Anderson, 1998); el sistema TLP debe realizar la codificación de fuente que digitaliza la señal de voz (en el caso de telefonía) y minimiza el total de bits a transmitir por el canal¹⁰; en el receptor el decodificador de fuente desempaca los datos y genera una réplica exacta de la fuente (compresión sin pérdidas), o con algo de distorsión (compresión con pérdidas). En el caso de la voz, la réplica no tiene que ser exacta para que el contenido del mensaje sea entendido, por lo que la compresión se puede elevar mientras sea posible comprender el mensaje.

La codificación de canal reduce la probabilidad de error de los bits transmitidos, dado que el codificador de canal adiciona redundancia (bits extras de control) a la secuencia de bits de forma controlada. Cuando un error aparece en la ráfaga de bits, los bits extra pueden servir en el decodificador de canal para detectar e incluso corregir el error (Haykin, 1994). La redundancia adicionada depende de las necesidades de corrección que requiera el canal (TLP es un medio con mucho ruido).

La modulación de la señal binaria produce una señal análoga de alta frecuencia que se suma a la de 120 Vac y que se puede transportar llevando la información a través del medio. En el receptor, el demodulador detecta la forma de onda que fue transmitida y convierte nuevamente la señal análoga en una secuencia de bits; del lado del receptor están los blo-

⁹ Una red eléctrica incluye al menos dos puntos de conexión en cada habitación.

¹⁰ Cuando se halla redundancia de la información se realizan procesos de compresión para disminuirla.

ques necesarios para recuperar la información, es decir, el demodulador, que separa la señal con información de la de 120 Vac, y el decodificador de canal, que le devuelve el formato original a la información recibida desde el codificador de la misma (ver Figura 1). En TLP se pueden usar diversas técnicas de modulación (Dalby, 1997): ASK¹¹, FSK¹², PSK¹³, QAM¹⁴, OFDM¹⁵ y GMSK¹⁶.

El canal es el medio físico que transmite la señal analógica salida del modulador, que en este caso es la red eléctrica de 120 Vac; dependiendo de su calidad, antigüedad y estado de mantenimiento añadirá a las señales ruido y distorsión. Es de vital importancia conocer las características del canal, como la atenuación y los niveles de ruido, debido a que estos parámetros afectan directamente el rendimiento del sistema de telecomunicación (Couch, Leon, 2001). El esquema mostrado en la Figura 1 es de un solo sentido¹⁷, por lo que una transmisión bidireccional requiere otros equipos iguales en sentido contrario.

El canal es el medio físico que transmite la señal analógica salida del modulador, que en este

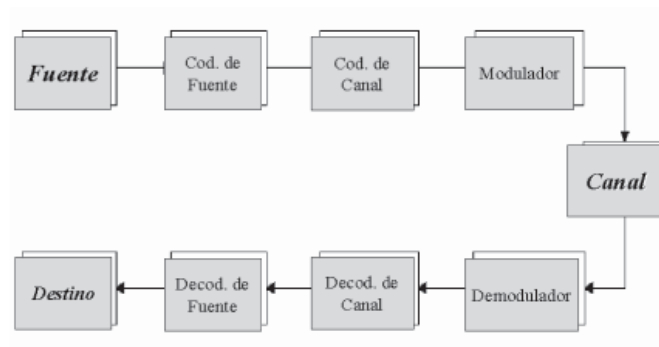


Figura 1. Esquema de un Sistema de Telecomunicaciones

a. Esquema Básico TLP

En la Figura 2 se observa el esquema básico de un sistema TLP.

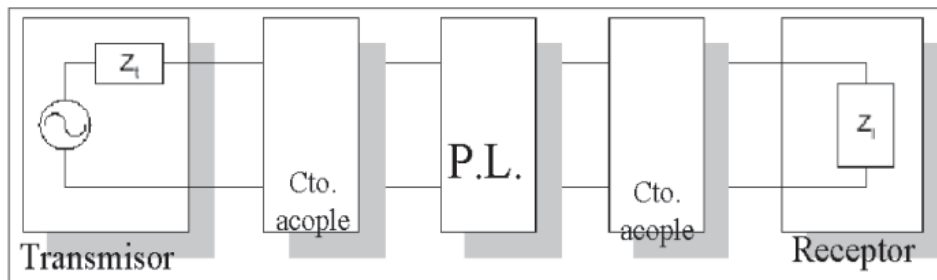


Figura 2. Esquema básico de un sistema TLP

.....

¹¹ Amplitude Shift Keying.

¹² Frequency Shift Keying.

¹³ Phase Shift Keying.

¹⁴ Quadrature Amplitude Modulation.

¹⁵ Orthogonal Frequency Division Multiplex.

¹⁶ Gaussian Minimum Shift Keying.

¹⁷ Los esquemas de comunicación pueden ser simplex (un solo sentido), o duplex (dos sentidos).

Al observar un esquema básico de sistema TLP, como el mostrado en la Figura 2, se encuentra un circuito de acople entre la línea de potencia (PL) y el transmisor/receptor (Newbury, 1999). Este circuito de acople permite el ingreso y salida de las señales de telecomunicaciones e impide la llegada de la señal de 120 Vac a los delicados sistemas del transmisor y del receptor.

b. ¿Cómo se transmite?

El suministro eléctrico que llega a las viviendas colombianas consiste en una señal sinusoidal de

120 Vac¹⁸ y 60 Hz; esta señal debe permanecer en el sistema con pocas alteraciones para que su función primordial de alimentación eléctrica no sea afectada. Una señal portadora de alta frecuencia, sin información, puede añadirse sin que se aprecie su efecto en la señal eléctrica (Brown, 1998). En la Figura 3 se observa que a la señal de 120 Vac se ha sumado una señal de 6 Vac. 6 kHz, que puede servir como portadora¹⁹ para señales telefónicas.

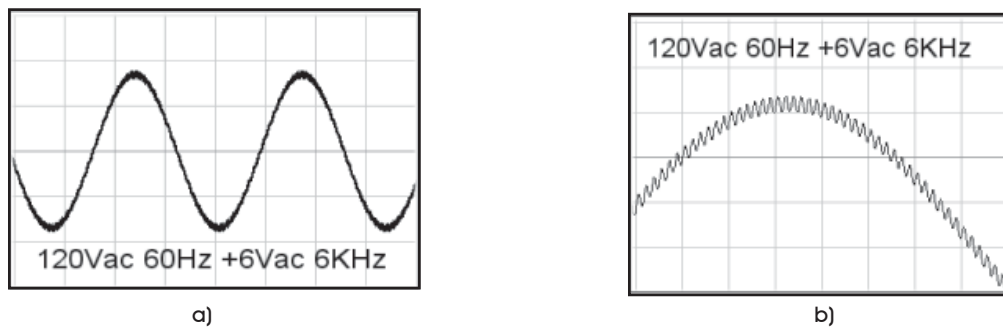


Figura 3. a) Señal de 120 Vac con una portadora de 6 kHz; **b)** detalle de la señal de 120 Vac con portadora de 6 kHz

Al ampliar la Figura 3a se observa la señal portadora; en la Figura 3b las dos señales no se afectan o interfieren entre sí.

Para que la portadora contenga información es necesario modularla²⁰. Si la información está en un formato digital se modulan secuencias de 1 y

0. El efecto sobre la señal eléctrica sigue siendo mínimo, pero ya se está transmitiendo a través de la red eléctrica. En la Figura 4 se observa una señal de 120 Vac con una frecuencia de 60 Hz, sobre la cual se envían secuencias de 1 y 0 a 1 kbps en esquema FSK²¹.

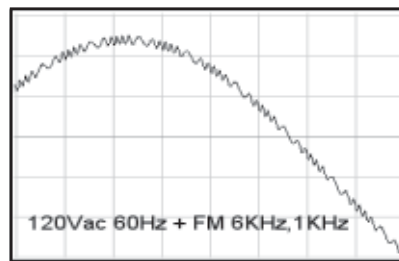


Figura 4. Señal de 120 Vac con secuencias de 1 y 0 en F.M. (FSK)

¹⁸ El voltaje AC. es el valor efectivo de la señal que en una sinusoidal se conoce como RMS. Una señal de 120 Vac, 120 Vrms tiene un voltaje pico a pico de unos 320 V.

¹⁹ Portadora es una señal capaz de transportar información.

²⁰ La modulación es el proceso de alterar la portadora con la información. Los esquemas básicos son Amplitud Modulada (AM), Frecuencia Modulada (FM), y Fase Modulada (PM).

²¹ Frequency Shift Keying.

El esquema de modulación seleccionado definirá, en gran parte, la inmunidad del sistema al ruido del canal y la complejidad del sistema de transmisión (Proakis, 1995). Algunos esquemas de modulación como ASK son inadecuados para ser usados en TLP, por su alta vulnerabilidad al

ruido (Marubayashi, 1997). Esto puede observarse en la Figura 5: la parte 5b es una ampliación de una sección de la Figura 5a, con el fin de detallar las secuencias de 1 y 0 en modulación ASK²².

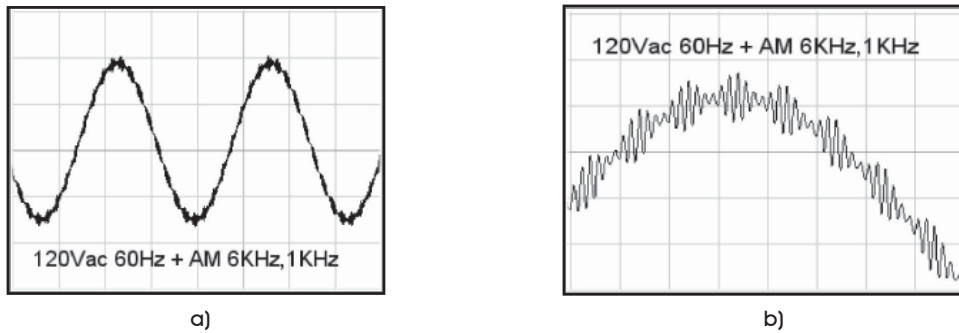


Figura 5. a) señal de 120 Vac con secuencias de 1 y 0 en A.M (ASK); b) ampliación de la señal de 120 Vac con secuencias de 1 y 0 en A.M (ASK)

c. Esquemas de modulación usados para TLP

En las condiciones requeridas de seguridad e inmunidad al ruido de un sistema TLP deben

utilizarse esquemas de modulación digital, o una combinación de ellos, los cuales son una adaptación a niveles discretos de los esquemas de modulación análogo.

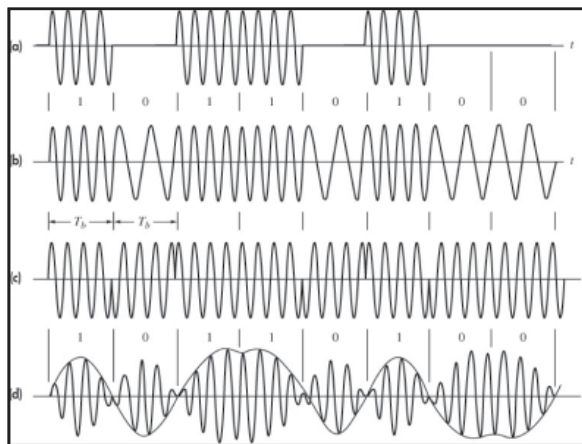


Figura 6. Esquemas básicos de modulación para TBLP: a. ASK, b. FSK, c. PSK, d. QAM

Existen muchos esquemas de modulación aplicables a este sistema de TBLP, todos ellos resultantes de la mejora o combinación de los más básicos (Couch Leon, 2001):

- ASK (desplazamiento de amplitud): es el esquema de modulación más sencillo, pero también el más sensible al ruido. Consiste en la alteración de la amplitud de la porta-

²² Amplitude Shift Keying.

dora²³ en niveles discretos correspondientes a valores binarios (ver Figura 6a).

- FSK (desplazamiento de frecuencia): consiste en la alteración de la frecuencia de la portadora en niveles discretos correspondientes a valores binarios (ver Figura 6b).
- PSK (desplazamiento de fase): este esquema altera el ángulo de fase de la señal en valores discretos. Si son dos fases el ángulo de fase de cada bit es de 180°; para 4 fases el ángulo de fase de cada bit es de 90°; etc. (ver Figura 6c)
- QAM (modulación de amplitud en cuadratura): este esquema es una combinación de ASK y PSK; consiste en la alteración de la

amplitud y fase de la portadora en niveles discretos y ángulos de 90° (Couch Leon, 2001). De acuerdo con el número de niveles pueden encontrarse esquemas más elaborados como 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, etc. (ver Figura 6d).

4. Telefonía básica por línea de potencia

Si se observa el esquema general de una red de telecomunicaciones en la Figura 7, la acometida final del sistema telefónico fijo es solo una pequeña parte de una enorme infraestructura. La aplicación de un sistema de telefonía básica por línea de potencia sería útil solamente en el lazo del abonado²⁴.

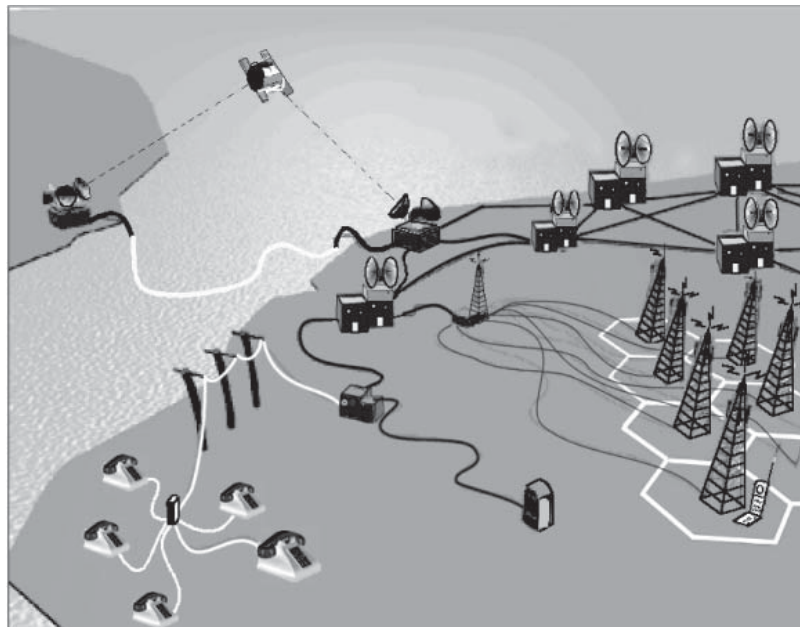


Figura 7. Red de Telecomunicaciones

Un esquema simple del sistema de telefonía muestra que existe un cable para cada abonado desde la central telefónica, y esta a su vez se interconecta

con toda la red de TPBC²⁵, como se observa en la Figura 8.

.....

²³ Señal de alta frecuencia que transporta información que se le inserta en un proceso de modulación.

²⁴ Tramo desde el último punto de distribución hasta el equipo telefónico de cada abonado.

²⁵ Telefonía Pública Básica Conmutada.

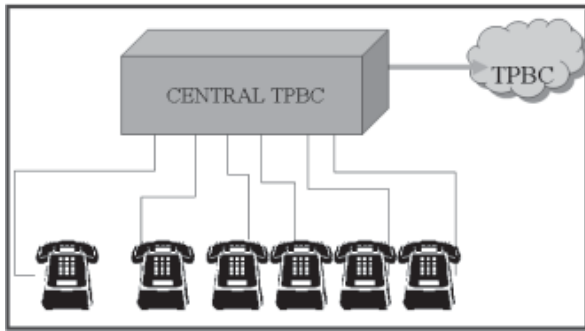


Figura 8. Red de Telefonía Pública Básica Conmutada

En un sistema de telefonía por línea de potencia habría una variación substancial del esquema, pues en vez de una conexión individual para cada uno de los abonados existiría un único medio de transmisión, dado que la red eléctrica llega en paralelo a todos los puntos de suministro, como puede observarse en las Figuras 9 y 10. Lo que hace individual la red eléctrica de cada uno de los hogares es el contador de facturación que se encuentra en el punto de entrada del cableado al predio. Pero eléctricamente no hay diferencia entre los puntos de conexión eléctrica de un predio a otro, siempre y cuando se encuentren conectados al mismo transformador de distribución, como se muestra en la Figura 9; se plantea entonces la obligación de implementar un sistema de multicanalización de este único medio de transmisión, como se observa en la Figura 10.

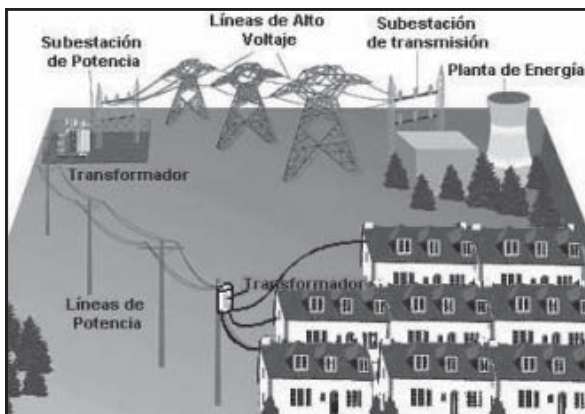


Figura 9. Red de Distribución Eléctrica Típica

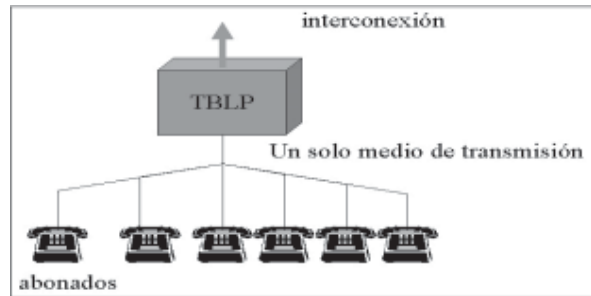


Figura 10. Esquema básico de Telefonía por Línea de Potencia

4.1 Multicanalización

Es un procedimiento para compartir el uso de un canal (Simon, Hinedi, Lindsey, 1995). El canal físico²⁶ en cuestión debe ser evaluado y caracterizado para conocer los valores particulares de funcionamiento, tales como el rango de frecuencias útiles para la aplicación a desarrollar y los niveles de ruido que permitan determinar la calidad de las transmisiones, antes de implementar el sistema (Philipps, 1998) (Philipps, 1999).

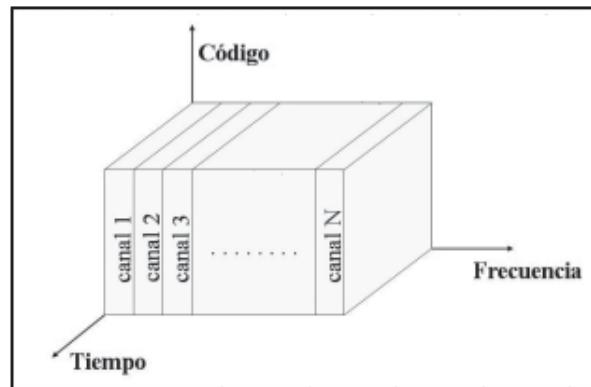


Figura 11. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

El canal físico se divide en canales de frecuencia, asignando un rango de frecuencia a cada uno, como se observa en la Figura 11. Esta técnica se conoce como Acceso Múltiple por División de Frecuencia y por su sigla en Inglés

²⁶ La red de 120 Vac, en el caso de TBLP

FDMA (Edfors, Sandell, Beek J-J van de, Landström, Sjöberg, 1996) (Wozencraft, Jacobs, 1965).

Otra técnica posible implica que cada uno de estos canales de frecuencia tienen una capacidad de transporte de información mucho mayor a la que requiere cada comunicación de voz, por lo que cada canal de frecuencia puede ser asignado a diferentes comunicaciones en instantes bien definidos llamados *slots*²⁷, compartiendo el canal de frecuencia para aprovechar mejor la capacidad del canal; como se puede apreciar en la

Figura 12a. Esta técnica se conoce como Acceso Múltiple por División de Tiempo, de su sigla en inglés TDMA (Couch Leon, 2001).

La técnica TDMA se puede mejorar para lograr mayor seguridad del sistema y asignar a cada comunicación un espacio de tiempo y frecuencia no definido sino dependiente de un código pseudoaleatorio que se asigna en el inicio de la comunicación. Esta técnica se conoce como Acceso Múltiple por División de Código o CDMA (Mouly, Pautet, 1992), como se observa en la Figura 12b.

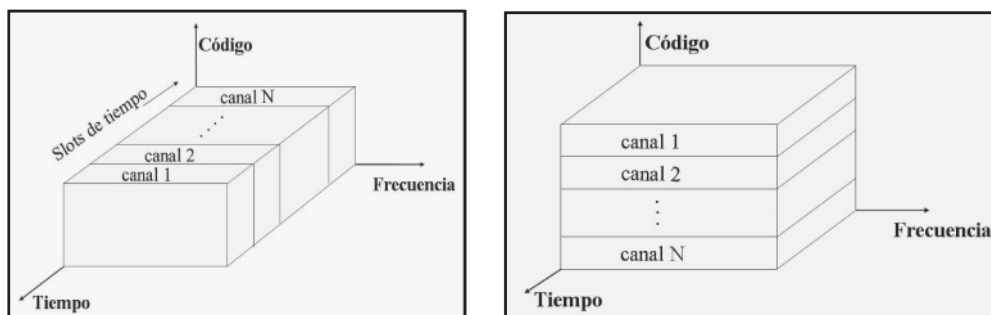


Figura 12. Una comparación de las técnicas TDMA y CDMA. a) TDMA; b) CDMA

4.2 Implementación

Al implementar el sistema será necesario contar con aparatos telefónicos adecuados para emplear la tecnología TBLP, esto es, teléfonos no convencionales con los sistemas de multicana- lización y procesamiento de señal requerido para funcionar en PLT, o bien una interfaz que cumpla estas funciones entre la línea de potencia y

el teléfono de uso común. Ambas alternativas pueden ser viables y pueden coexistir sin inter- ferencia mutua, como se observa en la Figura 13. Asimismo es indispensable la interconexión con la red telefónica y de telecomunicaciones existente; esta es una exigencia para todo operador de telefonía en Colombia²⁸ y una norma internacional (Hooijen, Han Vinck, 1998).

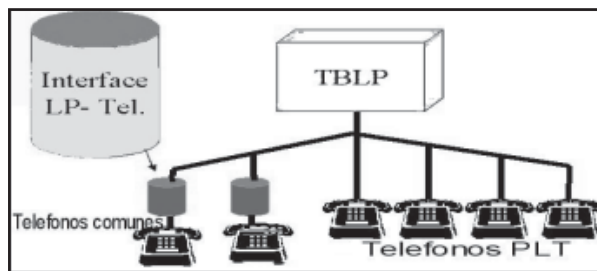


Figura 13. Equipos telefónicos en TBLP

²⁷ Los slots también se conocen como ranuras de tiempo.

²⁸ RUDI significa Régimen Unificado de Interconexión (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones).

El esquema del sistema de telefonía local estaría constituido por las centrales y subcentrales de conmutación ya existentes complementado por los nuevos sistemas TBLP, como se observa en la Figura 14.

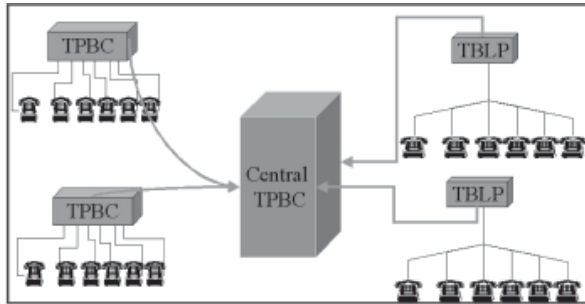


Figura 14. Interconexión entre la RED Telefónica existente TPBC y la TBLP Telefónica Básica por Línea de Potencia

Las centrales se interconectan con los demás sistemas de la red de telecomunicaciones como los operadores de larga distancia, ISPs²⁹ y operadores móviles, entre otros (ver Figura 17). En poblaciones donde el servicio telefónico es mayoritariamente urbano los sistemas TBLP proveerían del servicio a las áreas rurales de forma inmediata (Yazdani, Brown, Honary, 1999).

5. Marco legal colombiano

Dentro de la legislación colombiana pueden identificarse dos posibles esquemas de implementación. El primero es aquel en el cual un operador de telefonía local solicita licencia e instala el sistema y se interconecta a la red telefónica existente mediante contratos de interconexión con todos los demás operadores del servicio telefónico local y de larga distancia. Este operador cobrará a los usuarios del sector donde se le autorice, y pagará las contribuciones de ley³⁰ como todo operador de telefonía local; ade-

más deberá contratar con el servicio eléctrico la interconexión y uso de la red física³¹ (RUDI, Resolución 469 CRT, 2003) (Ministerio de Comunicaciones, 2003).

El segundo esquema es el de un grupo de usuarios o de una empresa o edificio que implementa el sistema en su predio y únicamente solicita las líneas telefónicas a un operador de telefonía local para conectarlas a sus sistemas TBLP. En este caso el sistema aparece legalmente como un usuario o grupo de usuarios y por tanto el único costo es el que le cobre el operador de telefonía como a todos sus usuarios. Dentro de este esquema pueden implementarse los servicios de telefonía rural, cuando es el municipio el que instala el sistema (como lo sugiere el proyecto *Compartel*)³².

Debido a la aparición de la tecnología PLT, la legislación deberá considerar la administración de las frecuencias utilizadas a través de las líneas eléctricas, tal como lo hace actualmente con el espectro electromagnético. También deberá restringir algunas frecuencias que pueden causar interferencia a sistemas inalámbricos ya existentes (Burr, Reed, Brown, 1998).

6. Conclusiones

La TBLP es el resultado del uso de técnicas bien conocidas y ampliamente utilizadas en telecomunicaciones. No hay más novedad que el concepto mismo de utilizar dos redes existentes; la eléctrica y la telefónica en un mismo sistema interconectado a través de la interfaz TBLP.

La importancia del sistema TBLP radica en la sustancial reducción de costos y la inmediatez

²⁹ Internet Service Provider: *proveedores del servicio de acceso a Internet.*

³⁰ *También establecidas en el RUDI, o Régimen Unificado de Interconexión.*

³¹ *Todas las redes de telecomunicaciones pertenecen al Estado (Ley 072 de 1989, Decreto 1900 de 1990).*

³² *www.compartel.gov.co.*

de instalación del servicio con el consecuente mejoramiento de la calidad de vida de muchas comunidades en Colombia y en el mundo, con el derecho y la necesidad de estar comunicados.

El uso de nuevas tecnologías o el aprovechamiento de las existentes para bien de las comu-

nidades menos favorecidas³³, política que busca incorporar a Colombia en la sociedad del conocimiento mediante el uso intensivo de Tecnologías de Información y Comunicaciones³⁴ (TIC) no es una meta de difícil alcance si se emplean y apoyan sistemas de simple concepción y alto impacto, como el aquí planteado.



³³ *Agenda de Conectividad*, febrero de 2002. En: <http://www.agenda.gov.co>

³⁴ *Conpes 3072*, del 9 de febrero de 2000.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] _____, *Agenda de conectividad. Lineamientos generales*. En: <http://www.agenda.gov.co> (enero de 2002)
- [2] ANDERSON, J.B.(1998). *Digital Transmission Engineering*, IEEE Press
- [3] ARRL (2001) "Broadband over power line". En: <http://www.arrl.org/tis/info/html/plc>
- [4] ARZBERGER M., DOSTERT K., WALDECK T., ZIMMERMANN M. (1997). *Fundamental Properties of the Low Voltage power distribution Grid*. En: "International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Essen, Germany
- [5] BARNES J.S., (1998). *A Physical Multipath Model for Power Distribution Network Propagation*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Tokyo, Japan
- [6] BROWN, Paul (1997). *Directional Coupling of High Frequency Signals onto Power Networks*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Essen, Germany
- [7] BROWN P. A. (1998). *Some Key Factors Influencing Data Transmission Rates in the Power Line Environment when Utilising Carrier Frequencies above 1 MHz*. Proc. International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Tokyo, Japan
- [8] BURR A.G., REED D.M.W., BROWN P.A., (1998). *HF Broadcast Interference on LV Mains Distribution Networks*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Tokyo, Japan
- [9] BURR A.G., BROWN P.A., (1999). *Application of OFDM to Powerline Telecommunications*, En: 3rd International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, U.K.
- [10] CENELEC, (1995). *EN50065-1, Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148.5 kHz*
- [11] CENELEC (1995). *EN 50160. Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems*
- [12] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES (2003). *Información del Sector de las Telecomunicaciones. Normas y Decretos Reglamentarios*
- [13] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES. *Régimen Unificado de Interconexión*, Resolución 469. En: <http://www.crt.gov.co>
- [14] COUCH LEON, (2001), *Sistemas de Comunicación Analógicos y Digitales*, Ed. Pearson Educación
- [15] DALBY, A.B. (1997). *Signal Transmission on Power Lines (Analysis of power line circuits)*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Essen, Germany
- [16] DARNELL M., PEM N. (1999). *OFDM Using Complementary Sequences for Data Transmisión Over Non-Gaussian Channel*, Proceedings 3rd International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK

- [17] DEINZER M. and STOGER M. (1999). *Integrated PLC-Modem based on OFDM*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK
- [18] DICKINSON J., NICHOLSON P. (1997). *Calculating the High Frequency Transmission Line Parameters of Power Cables*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Essen, Germany
- [19] DOSTERT K. (1997). *Telecommunications over the Power Distribution Grid; Possibilities and Limitations*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Essen, Germany
- [20] DOSTERT K. (1998). *RF-Models of the Electrical Power Distribution Grid*, Proc. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Tokyo, Japan
- [21] DOWNEY W., SUTTERLIN P. (2001). *A power line communication tutorial-challenges and technologies*, Ed. Echelon Corporation.
- [22] DUVAL G. (1998). *Low Voltage Network Models to the Analysis of Unexpected Phenomena in PLC Communications*, Proceedings International Symposium on Power line Communications and its Applications, Tokyo, Japan
- [23] EDFORS O., SANDELL M., BEEK J-J VAN DE, LANDSTRÖM D., SJÖBERG F. (1996). *An Introduction to Orthogonal Frequency Division Multiplexing*
- [24] FRÖROTH I., (1999). *More than Power Down the Line*, Licentiate of Technology Thesis, Department of Teleinformatics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
- [25] GALDAD., GIEBEL T., ZÖLZER U., ROHLING H. (1999). *An Experimental OFDM-Modem for the CENELEC B Band*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK.
- [26] HARRIS M. (1999). *Powerline Communications: a Regulatory Perspective*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power line Communications and its Applications, Lancaster, UK.
- [27] HAYKIN S. (1994). *Communication Systems*, Ed. Wiley
- [28] HOOIJEN O. (1997). *A Channel Model for the Low-Voltage Power-Line Channel*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Essen, Germany
- [29] HOOIJEN O.G., HAN VINCK A.J. (1998). *On the Channel Capacity of a European-style Residential Power Circuit*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Tokyo, Japan
- [30] HOOIJEN O.G. (1998). *On the Relation Between Network-topology and Power Line Signal Attenuation*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Tokyo, Japan,
- [31] JOHANNESON R., ZIGANGIROV K. Sh., (1999). *Fundamentals of Convolutional Coding*, IEEE Press
- [32] LAUDER D., SUN Y. (1999). *Modelling and Measurement of Radiated Emission Characteristics of Power Line Communication Systems for Standards Development*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK
- [33] MALACK J.A., ENGSTRÖM J.R. (1976). *RF Impedance of United States and European Power Lines*, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility
- [34] MARUBAYASHI G. (1997). *Noise Measurements of the Residential Powerline*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Essen, Germany
- [35] MINISTERIO DE COMUNICACIONES (2003). Leyes del sector de las telecomunicaciones. En: <http://www.mincomunicaciones.gov.co>
- [36] MOULY M., PAUTET M-B. (1992) *The GSM System for Mobile Communications*, Cell & Sys
- [37] NICHOLSON J.R., MALACK J.A. (1973). *RF Impedance of Power Lines and Line Impedance Stabilization Networks in Conducted Interference Measurements*, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility
- [38] NEWBURY J. (1999). *Technical Developments in Power Line Communications*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK
- [39] OTTOSSON H., AKKERMANS H., F. YGGE (1998). *The ISES Project*, Enersearch AB
- [40] PETRE F. and ENGELS M. (1999). *DMT-Based Power Line Modem for the CENELEC A-Band*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK

- [41] PHILIPPS H. (1998). *Performance Measurements of Powerline Channels at High Frequencies*, Proceedings International Symposium on Power-line Communications and its Applications", Tokyo, Japan
- [42] PHILIPPS H. (1999). *Modelling of Powerline Communication Channels*, Proc. 3rd International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK
- [43] PROAKIS J.G., (1995). *Digital Communications*, Ed. McGraw-Hill
- [44] PROAKIS J.G., D.G. MANOLAKIS (1992). *Digital Signal Processing Principles, Algorithms, and Applications*, Ed. Macmillan Publishing Company
- [45] RICHARD R., JAMES J. (1999). *A Pragmatic Approach to Setting Limits to Radiation from Power Line Communication Systems*, En: 3rd International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK
- [46] SARI H., KARAM G., JEANCLAUDE I. (1995) *Transmission Techniques for Digital Terrestrial TV Broadcasting*, En: IEEE Communications Magazine, February 1995
- [47] SIMON M.K., HINEDI S.M., LINDSEY W.C. (1995). *Digital Communication Techniques*, Ed. Prentice-Hall
- [48] TEMES, LLOYD (1990). *Comunicación Electrónica*. Ed. Mc. Graw Hill, New York
- [49] WOZENCRAFT M., JACOBS I.M. (1965). *Principles of Communication Engineering*, Wiley
- [50] YAZDANI J., BROWN P., HONARY B. (1999). *Power Line In-House Near & Far-field Propagation Measurements and Simulation*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK
- [51] ZIMMERMANN M. and DOSTERT K. (1999). *A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range*, Proceedings 3rd. International Symposium on Power-line Communications and its Applications, Lancaster, UK

