

**2007 Argentinean Congress on Computer Science
(Congreso Argentino en Ciencias de la Computación - CACIC 2007)**

**Comportamiento de la Tecnología PLC en la Red Eléctrica
(Power Line Communications in the Electric Network)**

Jorge García Guibout and Carlos García Garino

Instituto Tecnológico Universitario, Universidad Nacional de Cuyo,
Mendoza, Argentina, jgarcia@itu.uncu.edu.ar

and

Rubén Jorge Fusario and Antonio Ricardo Castro Lechtaler

Universidad Tecnológica Nacional – Escuela Superior Técnica – IESE,
Buenos Aires, Argentina, rfusario@speedy.com.ar and acastro@utn.edu.ar

and

Guillermo Sevilla

CITEFA - Escuela Superior Técnica – IESE,
Buenos Aires, Argentina, gsevilla@citefa.gov.ar

RESUMEN

La tecnología PLC¹ - PowerLine Communications- está referida a la transmisión de datos utilizando la red eléctrica, tanto domiciliaria, como la red de distribución de baja tensión. Dependiendo del tipo de red que se utilice como soporte esta tecnología se divide en PLC indoor y outdoor. La primera se refiere a la utilización de la red domiciliaria y utiliza las frecuencias más altas de 5 MHz a 30 ó 40 MHz. La segunda, outdoor, usa la red de distribución y las frecuencias bajas de 1 MHz a 5 ó 10 MHz. El mayor inconveniente que presenta es su incompatibilidad electromagnética con los servicios inalámbricos ya existentes, como las emisoras de AM, BLU, radios aficionados y otras. En la modalidad outdoor, la Red PLC actúa como antena emitiendo una señal que interfiere los servicios mencionados. Estos, a su vez, actúan sobre ella como generadores de ruido. Las señales PLC deben, además, discriminar sus propias señales con el ruido generado por los equipos conectados a la red (motores, electrodomésticos, etc.).

PALABRAS CLAVE: PowerLine Communications, Redes de Computadoras, Última Milla, Compatibilidad Electromagnética.

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente el mercado de las comunicaciones ofrece una gran variedad de tecnologías para cubrir el último tramo entre los proveedores de servicios y sus clientes en lo que se conoce técnicamente como última milla.

¹ Es también conocida como PLT - PowerLine Telecommunications- o BPL -Broadband PowerLine.

Para ello se pueden elaborar diferentes modelos de conectividad basados en las últimas tecnologías de banda ancha que se pueden aplicar, pero en todos los casos se busca satisfacer la totalidad de las necesidades de un cliente, interconectar redes de voz y datos, o ambos servicios separados, basadas en tecnologías emergentes de telecomunicaciones, como podría ser por ejemplo voz sobre IP, enlaces locales inalámbricos de bajo costo y alta velocidad, etc.

Se hace difícil la toma de una decisión de cual es la tecnología más conveniente a instalar, analizando no solo la factibilidad y costos implícitos en la puesta en servicio, sino deben considerar prioritariamente las realidades socioeconómicas de cada región en particular y del país en general.

En este trabajo se tiene en cuenta la tecnología PLC - PowerLine Communications, que es la utilización de la red de distribución eléctrica de baja tensión y domiciliaria como soporte para la transmisión datos, Internet, voz, video, video a demanda, etc.

La ventaja más obvia de esta tecnología, que permite ofrecer telefonía, acceso a Internet, televisión interactiva, domótica, etc., es la ubicuidad de la red eléctrica. Más de 3.500 millones de personas disponen de energía eléctrica en sus hogares, frente a los más de 1.800 millones que disponen de conexión telefónica. Prácticamente en cada habitación de una vivienda o de un local comercial existe un toma corriente. También es de interés su disponibilidad mundial, efectividad del costo y facilidad de instalación. A la vez, la conveniencia de conectar cualquier dispositivo a través de un toma corriente de corriente permite navegar, recibir videos, transmitir datos y hablar por teléfono.

En el presente trabajo se hace un estudio de la Capa Física. En particular, interferencias, capacidad del canal, problemas electromagnéticos, como así también el marco regulatorio y los estándares de la misma.

2. COMPORTAMIENTO DE PLC EN LA RED ELÉCTRICA.

2.1 Descripción de las posibles interferencias.

Las redes de distribución eléctrica presentan un ambiente típico con interferencias, en especial para propósitos de comunicaciones. Esto incluye tanto la red outdoor, como la red indoor, pese a que se debe hacer una distinción entre la transmisión en una y en otra.

Las redes de media tensión están alimentadas por líneas de alta tensión sobre transformadores. Éstas a su vez, a través de transformadores de baja tensión, forman sectores para alimentar barrios o industrias. Hasta frecuencias de 20 KHz, los transformadores son buenas barreras. Desacoplan las interferencias de las redes de alta tensión, de las de media, y éstas de las de baja.

Una gran parte de las interferencias es causada por maquinarias y dispositivos eléctricos en su operación rutinaria. Hay muchos picos de tensión diferentes debido a un amplio rango de eventos de cambio. En particular, las redes son estructuras abiertas a las señales electromagnéticas. Esto hace que haya numerosas señales originadas por las radiaciones de servicios de radio, principalmente en el rango de ondas medias y cortas.

Cuando analizamos el espectro de las amplitudes de interferencia en un toma corriente, tres diferentes clases pueden ser identificadas: ruido de fondo, interferencia o ruido de banda angosta, y ruido impulsivo. Los mismos son:

- **Ruido de fondo.**

Esta clase de ruido es de naturaleza estocástica y se puede describir por su densidad de potencia espectral. Valores alto de densidad espectral son característicos en redes comenzando en la frecuencia de alimentación (50 Hz) a frecuencias alrededor de 20 KHz. A partir de ella se nota un decrecimiento de la densidad a medida que crece la frecuencia. En 150 KHz es normal que sea 1/1000 del valor medido en 20 KHz. Así, los valores de ruido de fondo son de baja densidad de potencia espectral. Este ruido es denominado **Ruido Blanco** o **Gaussiano**.

- **Ruido de banda angosta.**

Valores de amplitud de forma aguda indican interferencia de banda angosta. Ellas ocurren solamente en un rango de frecuencia limitado, pero con valores de densidad de potencia altos. Esta interferencia por debajo de los 150 KHz, puede ser originada por los cambios de fuentes de alimentación, lámparas fluorescentes, convertidores de frecuencia, aparatos de televisión o monitores. En frecuencias mayores la interferencia puede ser también por estaciones de radio.

- **Ruido Impulsivo:**

Es caracterizado por periodos de muy corta duración de tensión de entre 10 y 100 μ seg. Pueden alcanzar una amplitud mayor a 2 KV. Estos eventos independientes son causados por encendido o apagado de aparatos eléctricos. Son aperiódicos. Los impulsos periódicos son causados normalmente por controladores de fase, y ocurren en el cruce por cero de la tensión de red.

Dependiendo de la duración de la interferencia, uno o más bits pueden ser corrompidos. Tales errores se deberían prevenir por un adecuado cambio de codificación.

Analizar y modelar este tipo de ruido está sujeto a investigación, por esto se define los siguientes parámetros para su caracterización:

- Amplitud del impulso A_i
- Ancho del impulso t_w
- Intervalo de tiempo entre impulsos t_a

Estas variables aleatorias y sus propiedades deben ser investigadas por medio de mediciones a través de la adquisición automática de datos, y su evaluación estadística. Ellas permiten obtener una síntesis del ruido impulsivo, con más pasos para emular el canal powerline. Una vez obtenidas las variables por diferentes formas de captura, se aplicaría para su evaluación la Transformada Rápida de Fourier.

A frecuencia muy bajas, de 50 ó 60 Hz, los niveles de interferencia son causados por armónicas de estas frecuencias, y por otras, independientes de las frecuencias de la tensión de alimentación. Esto se sumará al ruido impulsivo. Las armónicas independientes de la frecuencia de la red son de valores arbitrarios a la frecuencia de alimentación. Sus principales fuentes son los motores. Esta es la razón por lo que esta interferencia es encontrada en los niveles de bajo tensión. Otra fuente de este tipo son los eventos de encendido y apagado de equipos, que causan un espectro de amplitudes decrecientes inversamente proporcionales a la frecuencia. Estos eventos se pueden observar hasta frecuencias muy altas.

Observando la figura 1, la curva 3 refleja el ruido de fondo medido en una red domiciliar en reposo. Este ruido no representa un factor de interferencia crítica para todo tipo de transmisión de información. Sus niveles son relativamente bajos, tanto que se debió recurrir a los límites de sensibilidad del instrumento de medida utilizado.

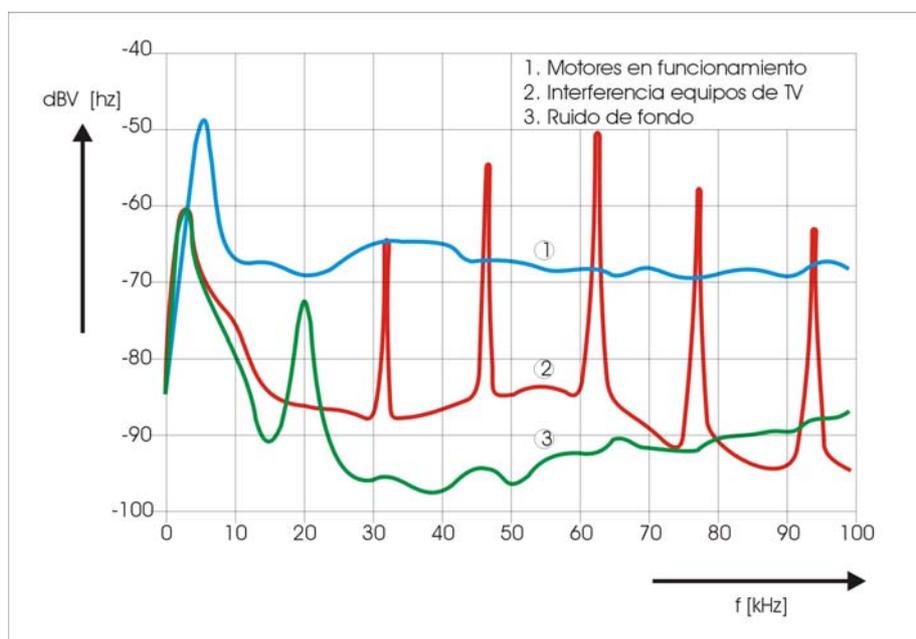


Figura 1: Posibles interferencias en una red eléctrica [1]

En contraste, las interferencias causadas por los motores, la curva 1 muestra que sus valores son más críticos. Estos son los usados en el hogar, en secadores de pelo, licuadoras, heladeras, etc. En el rango de frecuencias registradas es mucho mayor, que el ruido blanco en un valor de 20 dB mayor.

Cuando la fuente de esta interferencia está cerca del receptor puede bloquearlo. La curva 2 de la figura, se muestra la interferencia de banda angosta producida por un aparato de televisión. No se observa la frecuencia fundamental en 15,734 KHz, posiblemente por algún filtro del aparato. Sin embargo, las armónicas son de gran amplitud. Un sistema de transmisión que trabajara en ese rango de armónicas no hubiera podido funcionar mientras el televisor estuviera encendido. La ubicación de estas es constante, al punto que podría eliminarse ese rango de frecuencia.

La relación de la señal útil frente a la señal de ruido, como se sabe, se expresa en dB. Se la conoce como relación señal a ruido. En los enlaces de datos esta relación está directamente vinculada a la cantidad de bits erróneos frente a la cantidad de bits enviados. Es lo que se conoce como BER – Bit Error Rate.

2.2 Capacidad del canal de Powerline.

De acuerdo con la Ley de Shannon la capacidad de un canal con ruido, es decir la cantidad máxima de información en bps que es posible transferir resulta:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

C indica la máxima velocidad de transmisión de datos en bps, y B es el ancho de banda del canal. S/N es la relación señal a ruido del mismo.

Esta fórmula no es aplicable directamente a un canal de PowerLine, ya que la relación señal a ruido no es constante con el ancho de banda B , ya que puede variar sustancialmente. Sin embargo, en la práctica la densidad de potencia de señal transmitida $S_{rr}(f)$ y la densidad de potencia de ruido $S_{nn}(f)$ son dependientes de la frecuencia.

Se los puede tomar dentro de un rango, por lo tanto la formula se puede modificar:

$$C = \int_{f_u}^{f_o} B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad \text{con } B = f_o - f_u$$

Para obtener la expresión anterior debemos conocer el espectro de densidad de potencia de señal transmitida $S_{rr}(f)$. **Esta será modificada por el comportamiento del canal**, el cual representamos por la función de transferencia $H(f)$ y la densidad de potencia de ruido $S_{nn}(f)$.

$$S_{rr}(f) = S_{rr}(f) \cdot |H(f)|^2$$

La función transferencia, como la densidad de potencia de ruido son características fijas en un canal. Ellas son obtenidas por mediciones efectuadas sobre él. Por lo tanto, las únicas variables que quedan es la densidad de potencia transmitida, la cual está determinada principalmente por el esquema de modulación aplicado.

Luego, se podría llegar a la conclusión que altas velocidades de datos podrían ser alcanzadas aún en canales malos, si la densidad de potencia no fuera limitada. Sin embargo los requerimientos de compatibilidad electromagnética entre PLC y otros servicios inalámbricos establecen limitaciones en el rango de interés de alta velocidad de PLC, por ejemplo entre 1 MHz y 30 MHz.

Las mediciones en numerosos canales, a través de la evaluación de las formulas anteriores, indican que el ancho de banda disponible B , representa el recurso más importante para lograr altas velocidades. Como el ancho de banda en la práctica está fragmentado, diferentes canales de ancho variable serían distribuidos en el rango de 1 MHz a 30 MHz, obligando a elegir un esquema de modulación que permita un máximo aprovechamiento del mismo.

La capacidad del canal decrece con la distancia debido al comportamiento pasa bajo del canal powerline. Por ejemplo, para distancias de 100 m teóricamente excede los 250 Mbps, aun en distancias de 300 m y restringido a una rango de 5 MHz se puede obtener 14 Mbps. Pero se debe tener en cuenta que en enlaces de más de 200 m en la mayoría de los casos las frecuencias por arriba de 10 MHz no contribuyen en nada.

Esto apunta necesariamente a incluir esquemas de modulación complejos como **QAM – Quadrature Amplitude Modulation**, obteniendo mejores resultados en esquemas de **modulación adaptativa**. Ella optimiza el espectro disponible pues dividir a este en subcanales delgados, los cuales pueden transferir una parte del stream de datos, individualmente adaptada a su calidad.

2.3 Características de transmisión en alta frecuencia.

2.3.1 Característica del canal outdoor.

Mediciones efectuadas sobre red de distribución han permitido llegar a la conclusión que esta puede ser explotada para propósitos de telecomunicaciones hasta la frecuencia de 10 MHz aproximadamente. Canales de PowerLine disponibles a tal efecto se encuentran tanto en cables subterráneos, como cables aéreos.

Se ha observado un efecto de filtro en cables de áreas residenciales densamente pobladas. Allí, al haber gran cantidad de derivaciones a los hogares, y siendo estos de longitud constante, se produce una característica de FIR - Filtro de Respuesta Impulsiva. Ello hace que se supriman completamente rangos de frecuencias por arriba de unos pocos MHz.

Las investigaciones confirman que la velocidad de los datos puede estar en el orden de los Mbps, aún en enlaces críticos. Los distintos tipos de cables no exhiben un comportamiento completamente diferente, pero sus características más importantes se las puede describir con pocos parámetros. Otro resultado importante es la posibilidad de transmitir señales con niveles de potencia moderados. Esto mejora los problemas que se presentan, a causa de fenómenos de compatibilidad electromagnética.

En la Figura 2, se muestra el resultado de la medición de atenuación y ruido en un cable de tierra de 300 m en un rango de frecuencia de 500 KHz a 20 MHz. Se puede observar, que la atenuación crece con la frecuencia. También un comportamiento pasa bajo, condición que es común a todo cable de conexión a tierra. Puede verse esto, como una propiedad fundamental para frecuencias por arriba de 500 KHz.

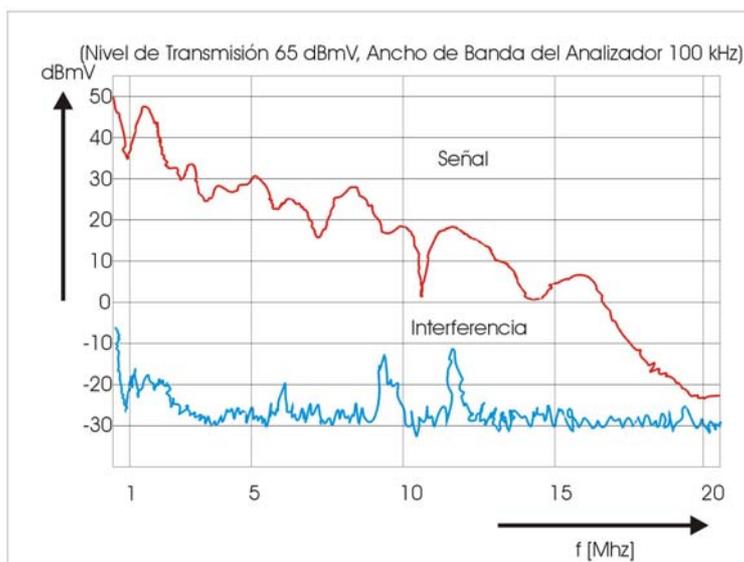


Figura 2: Atenuación y ruido en un cable de tierra de 300 m

En la misma figura, se puede observar en un rango extendido, la existencia de ruido de fondo, claramente por debajo de la señal recibida. La relación S/R se ha medido en el orden de los 50 dB, en el rango de 500 KHz a 6 MHz.

En las cercanías de los 17 MHz, se puede observar que la relación es de 20 dB, lo cual es suficiente para transmisiones de alta velocidad sin perturbaciones.

En el rango de 9 a 12 MHz, se observan picos de banda angosta. Ellos corresponden a las señales de difusión de onda corta. Esto lleva a que niveles de transmisión de 65 dBmV, equivalente a 1,77 V que garantizan una comunicación powerline, puedan perturbar la recepción de las señales de radio.

Las condiciones representadas en la Figura 3, representan un canal muy favorable. La calidad de los ellos varía enormemente, y uno de los parámetros que interviene es la longitud del cable. En esta figura se representa la atenuación de cables de distintas longitudes.

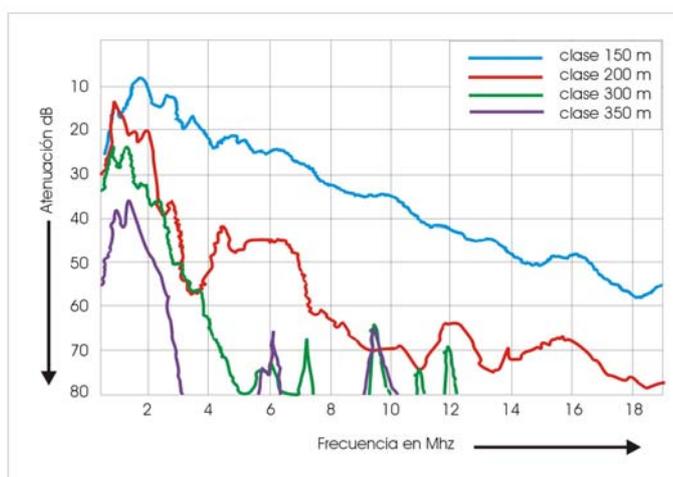


Figura 3: Atenuación y ruido en cables de distinta longitud.

La curva obtenida para la atenuación en cables cortos, del orden de los 150 m, presenta una característica pasa bajo y niveles de atenuación por debajo de los 60 dB hasta los 20 MHz.

Esto nos indica, que pueden establecerse comunicaciones sin problemas, aún con modelos de modulación simple y bajos niveles de transmisión. Para los cables de 200 m la atenuación crece significativamente, particularmente más de 25 dB. Esto sucede, quizás, debido a que en esta distancia haya muchos más clientes conectados, que en el cable de 150 m.

Dos casos muy extremos son los cables de 300 m y 380 m. allí se ve que el comportamiento pasa bajo está limitado a frecuencias muy bajas. Esto debido a un mayor número de conexiones domiciliarias que hace se comporte como un filtro de respuesta impulsiva finita.

Del análisis se desprende que, el ancho de banda disponible para PLC outdoor está por debajo de los 4 MHz. Además, las frecuencias bajas deben ser utilizadas en los enlaces de mayor distancia.

2.3.2 Comportamiento del canal indoor.

La Figura 4, muestra la curva de atenuación y ruido de una instalación domiciliar de un edificio. Se observa, que el ruido también está presente en este tipo de instalación, y que tiene las mismas características que el canal outdoor. Además el mismo tiene un rango de atenuación de 40 a 80 dB.

Al comparar las curvas de atenuación del canal outdoor, con las indoor, a pesar de la corta distancia de este último, se puede ver claramente en las curvas de atenuación que se pierde la característica pasa bajo. Esto, obviamente es debido a su corta distancia.

En la instalación del piso 2° se tienen valores de atenuación en el rango de los 20 MHz que permitirían utilizar la red eficientemente para los fines de telecomunicaciones. Ello sugiere extender el ancho de banda a frecuencias mayores y hace que el ancho de banda de 10 MHz a 30 MHz o más aparezca como atractivo para PLC indoor.

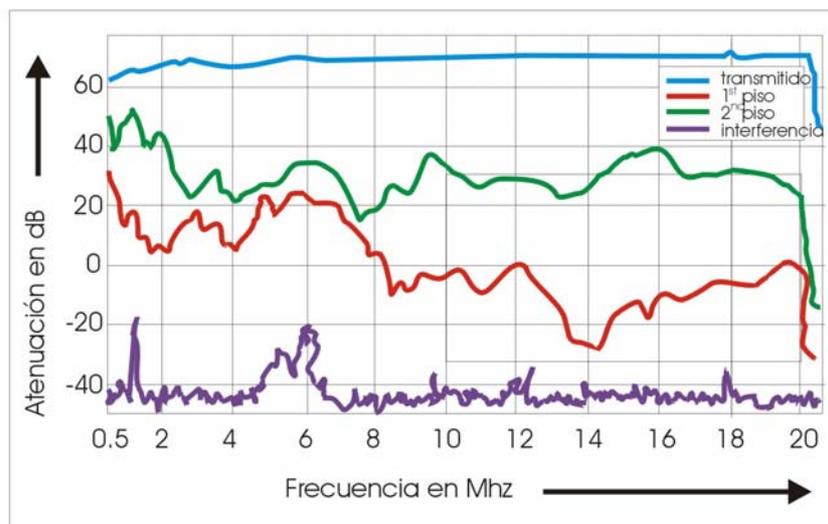


Figura 4: Curva de atenuación y ruido en una instalación domiciliaria.

Estos datos estarían de acuerdo con la norma ETSI [6] - Especificación Técnica ETSI TS 101 867 V1.1.1 (2000-11): **PowerLine Telecommunications (PLT); Coexistence of Access and In-House PowerLine Systems**. En ella, a los sistemas PLC outdoor, se los llama PLT Access; y a los indoor PLT In-House. La misma establece el ancho de banda que se destina a cada tipo de servicio y además los niveles de densidad de potencia (PSD) que deben existir para los distintos anchos de banda, y entre la separación de ellos, para la coexistencia de ambos sistemas.

Es necesario destacar que estos son establecidos para los sistemas PLC o PLT llamados de 1° fase. Se menciona que podría existir un sistema de 2° fase, que ampliaría el ancho de banda del sistema outdoor o indoor, cuando no sean utilizados simultáneamente y en lugares geográficos próximos.

Pero en este caso será necesario la existencia de un canal común de señalización, que permita por un lado la restitución del ancho de banda al sistema que le corresponda, access o in-house, y por el otro, la coexistencia de sistemas similares a través de la *publicación* de las particularidades de capa 1 y 2, de cada sistema; tales como modulación, acceso al medio etc.

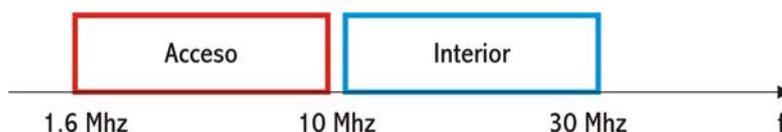


Figura 5: Ancho de banda para los sistemas PLT access e In-House

2.4 Compatibilidad Electromagnética.

Una de las mayores incertidumbres que rodean a esta tecnología, es si realmente logrará una convivencia armoniosa entre ella y las emisiones de radio amateur o radio difusión de onda corta y aún con sistemas PLC en sus cercanías.

El uso de la red eléctrica para servicios de telecomunicaciones representa una estructura electromagnética abierta e insuficientemente protegida contra la emisión o recepción de señales en alta frecuencia. De esta manera la transmisión de señales puede afectar a sistemas en redes próximas, y diferentes servicios inalámbricos vía los campos radiados.

Este fenómeno se denomina **Compatibilidad Electromagnética**. Y se refiere a la coexistencia de diferentes sistemas PLC en las proximidades; con la coexistencia a su vez, de estos con los servicios inalámbricos que se presten en la zona. La compatibilidad electromagnética de servicios de radio y sistemas PLC es básicamente bidireccional.

Esto sucede, pues a su vez, los campos electromagnéticos de los servicios de radio inducen tensiones o corrientes en la redes de distribución, dado que las líneas no malladas actúan como antenas. Por otra parte, las señales de PLC irradian campos, los cuales pueden inhibir a los radios receptores.

Mientras los sistemas PLC deben evitar las interferencias de radio, estos deben limitar la radiación en frecuencias que les han sido asignadas con anterioridad, y deben permanecer inalterables.

La Figura 6, muestra un análisis del espectro de frecuencias hasta 30 MHz. Se que solo quedan anchos de banda muy pequeños y dispersos en el espectro analizado para este servicio. No se puede tomar como definitiva esta distribución ya que hay algunos aun, que pueden usar estas frecuencias en otras parte del mundo.

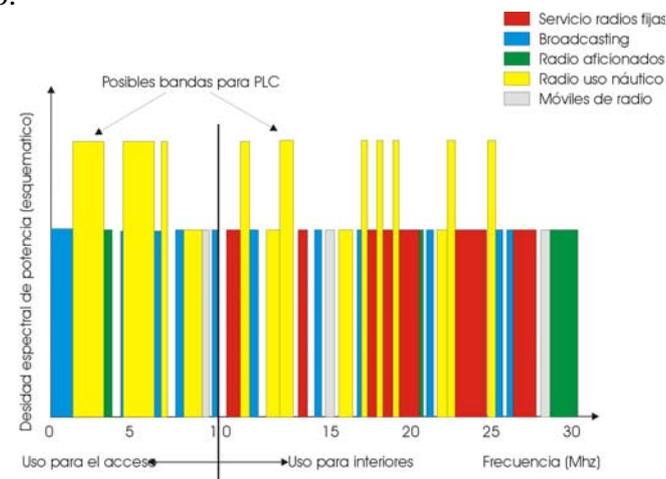


Figura 6: Servicios existentes en el espectro de frecuencias hasta 30 MHz. [1]

A futuro se debería estudiar la asignación permanente de estos intervalos de frecuencias a PLC. Ello permitiría incrementar la potencia transmitida y el uso de esquemas de modulación de multiportadoras y OFDM. De esta manera los mencionados intervalos harían más eficientes los servicios.

Otra posible forma de llevar una compatibilidad electromagnética entre PLC y los servicios inalámbricos es limitando los niveles de radiación desde los sistemas PLC.

En Alemania en 1999 el RegTP [9], a través de NB30, se sugirió una limitación en la emisión que va de 40 dB μ V/m (\equiv 100 μ V/m) a 1 MHz cayendo a 27 dB μ V/m (\equiv 22,3 μ V/m) a 30 MHz.

Para frecuencias por arriba de estas y hasta 1 GHz se mantiene los niveles de 27 dB μ V/m. Estas limitaciones cambian actualmente de país en país. En el Reino Unido la tecnología PLC ha presentaron problemas severos de interferencias. Esto ha hecho, que por un lado la BBC haga una propuesta, y por el otro, los organismos reguladores impongan limitaciones menos severas que la anterior a través de la norma MPT 1570.

Pero estos niveles están 20 dB por debajo de la norma alemana, tanto que las redes de telefonía y redes de computadoras no cumplirían con los niveles de campos eléctrico reglamentados. Ello implicaría desalentar a la industria y a las compañías interesadas en PLC.

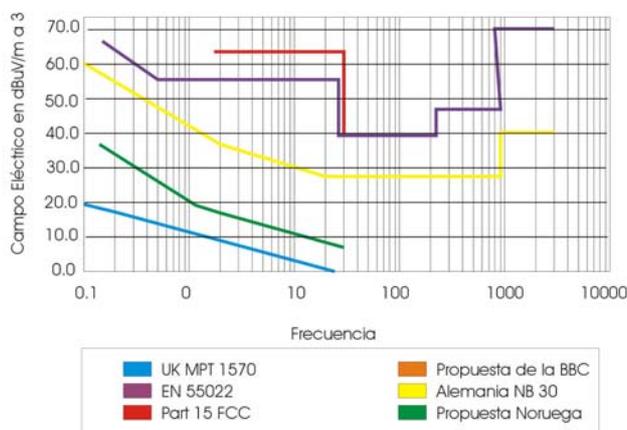


Figura 7: Emisiones de campo eléctrico para cables de comunicaciones en diferentes países.

En EE.UU. con la norma Part 15 de la Federal Communications Commission (FCC) [8], que trata de ajustarse a los estándares internacionales del International Special Committee on Radio Interference (CISPR) como el CISPR 22 [10] ha establecido niveles que están por arriba de los alemanes. Esto permitirá alcanzar mayores velocidades.

Como se puede ver en la Figura 7, hay una propuesta noruega la cual es más exigente que la inglesa. También está la norma EN 55022 de CENELEC [11] que es más permisiva que las anteriores.

De todas ellas, las especificaciones de la FCC son las más convenientes para el desarrollo de los sistemas PLC. La norma Part 15 fue modificada en el año 2000 por la FCC, por lo se interpretó como que se quería favorecer a PLC. Pero grupos de radioaficionados lograron que ella se vuelva a modificar en el año 2004 ARRL [7], aunque sin alterar los límites impuestos, sino estableciendo frecuencias prohibidas. Esto ha obligado a una certificación de los fabricantes en lugar de verificación y se da mandato para control de frecuencias, niveles de potencia y apagado si fuese necesario.

Generalmente la intensidad electromagnética decrece con el incremento de la distancia de las líneas que transportan señal. La coexistencia de equipos PLC y servicios de radio implica mantener la intensidad del campo causado por PLC tan bajo que permita recibir el servicio deseado en cualquier lugar sin interferencias. De este modo dos aspectos que también deben tenerse en cuenta para la determinación de los niveles de transmisión en PLC son el rango de frecuencia y la ubicación de los receptores de radio que posiblemente se interfiera.

3. ESTANDARIZACIÓN Y MARCO REGULATORIO.

A nivel de los sistemas de PLC, aún no se ha logrado establecer un estándar completo. Hay varias organizaciones que trabajan en la actualidad a fin de lograrlo. Las más importantes son el PLC-Forum, UPLC y PLCA [2]. A nivel de instalaciones indoor, si existe un estándar. Sobre él, las demás organizaciones están tratando de tomarlo como referencia para la normalización outdoor. Este estándar es denominado HomePlug Powerline Alliance (HPA) [5]. Si se dispusiera de múltiples estándares, se crearían mercados separados. Cada uno de ellos, produciría un reducido número de equipos y en consecuencia los precios serían muy altos, y habría muy poca competencia.

Existen dos aspectos que son los más importantes sobre los cuales se está trabajando a nivel estandarización, a fin de lograr una solución uniforme:

- 1) Diferencias de voltaje en los sistemas eléctricos de distintos países del mundo. Existen a nivel mundial sistemas de 110 V y 220 V, por ello se debería fijar calidades de servicio, frecuencias y comportamiento que permitan establecer una independencia del voltaje de trabajo de la red.
- 2) Diferencias en la regulación establecida para los niveles de emisión electromagnética. Esto sucede por cuanto los niveles permitidos de ondas irradiadas difieren en los diferentes países: ello haría que los usuarios de sistemas PLC no pueden usar un módem adquirido en otro país.

Desde el punto de vista de los niveles de emisión, el PLC Forum y la CELENEC cooperan con el CISPR - International Special Committee on Radio Interference, quien maneja internacionalmente los niveles de interferencia de radio.

Con respecto a los aspectos regulatorios que afectan al PLC se pueden destacar:

- Regulaciones técnicas: básicamente en lo relativo a la compatibilidad electromagnética con otros servicios.
- Regulaciones de servicio: salvo requisitos técnicos, no existe ningún impedimento para proporcionar servicios de telecomunicación a través de las líneas eléctricas.

Se deberá reglamentar o no, en la Comisión Nacional de Comunicaciones los requisitos para operar como prestador de servicios de Internet y canales de órdenes utilizando esta tecnología.

4. CONCLUSIONES.

Del estudio de todos los aspectos que deben tenerse en cuenta para la implementación exitosa de esta tecnología, se resalta como conclusiones primarias las siguientes:

- PLC puede resultar adecuado para la Argentina, que posee esquemas de diseño de redes eléctricas idénticos al europeo.
- Las ventajas que permite la sinergia de servicios, en este caso los de telecomunicaciones y el eléctrico es notable. Permite una drástica reducción de costos de prestación de tales servicios.
- No existe un avance importante en lo que hace a regulación en el uso de la tecnología a nivel mundial. En Argentina no existe absolutamente ningún avance al respecto. La CNC no tiene establecida ninguna regulación al respecto.

- Se requiere a nivel mundial, disponer de algunos aspectos en los cuales se logre normalización y el diseño de estándares entre distintos fabricantes.
- PLC deberá competir con otras tecnologías para la última milla, como ADSL y las tecnologías inalámbricas. Los costos tendrán seguramente la última palabra.

Podría agregarse como conclusiones claves a futuro, que PLC indoor ha alcanzado un desarrollo muy importante al contar con estándares internacionales como HP 1.0 de HomePlug. Éste ha permitido a las empresas desarrollar equipos compatibles que van en beneficio del usuario final. Y que PLC outdoor al no tener aun solucionado el problema de las incompatibilidades electromagnéticas con otros servicios preexistente pueden llevar al abandono de las inversiones en desarrollar tecnologías que la vinculen con los sistemas PLC indoor.

5. AGRADECIMIENTO.

Este proyecto cuenta con financiamiento de la Agencia Nacional la Promoción Científica Tecnológica, y de CITEFA - PICTO N° 11-18621 - Préstamo BID 1728 OC-AR, a quienes agradecemos el apoyo recibido.

REFERENCIAS

- [1] Doster, Klaus, T. PowerLine Communication. Prentice Hall PTR. 2000.
- [2] The PowerLine Communications Association. www.plca.net.
- [3] DS2, Fabricante de Circuitos Integrados. www.ds2.es.
- [4] Iwan, Eduardo. AP Tecnologías de Convergencia sobre Redes de Video Cable y Redes Eléctricas. Expo Comm Argentina. Buenos Aires. 2006.
- [5] HomePlug PowerLine Alliance (HPA). www.net-at-home.com.
- [6] European Telecommunications Standards Institute. ETSI, Francia. www.etsi.org.
- [7] The National Association for Amateur Radio. <http://www.arrl.org>
- [8] Federal Communications Commission - FCC. www.fcc.gov
- [9] Federal Network Agency of Germany. http://www.regtp.de/tech_reg_tele.
- [10] CISPR 22; Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment. CISPR Publications 22. Geneva. Switzerland. 1993.
- [11] EN 55022: Equipos de Tecnología de la Información. Características de las Perturbaciones Radioeléctricas. Límites y Métodos de Medida. Coincidente con CISPR 22 [10], CENELEC. Bruselas. 1998.
- [12] ETSI TR 102 175 V1.1.1 (2003-03). PowerLine Telecommunications - PLT: Channel characterization and measurement methods.
- [13] ETSI TR 102 324 V1.1.1 (2004-05). PowerLine Telecommunications - PLT; Radiated emissions' characteristics and measurement method of state of the art powerline communication networks.
- [14] EN 55011: Límites y métodos de medida de características de perturbaciones de radio de equipos de radiofrecuencia de aplicación industrial, científica y médica (ISM).CENELEC. Bruselas. 1999.
- [15] The Opera Consortium, Open PLC European Research Alliance. www.operaconsortium.com.