

Modelo de canal para la comunicación de datos por la red eléctrica

Carlos Alberto Balbuena Campuzano¹

Eduardo Efraín Barrera Olascoaga²

RESUMEN

La primera etapa de este proyecto consiste en la investigación del modelo de canal del Power Line Communication, el comportamiento de la señal en frecuencia y tiempo, considerando las características de atenuación, multitrayectoria y diferentes tipos de ruido.

Palabras clave: componente, PLC, atenuación, multitrayectoria, ruido impulsivo, ruido coloreado, ruido de banda estrecha.

ABSTRACT

First stage of the project consists on the research of the Power Line Communication channel model, which is the behavior of the signal in frequency and time, considering the characteristics of attenuation, multipath and different kind of noises.

Key words: component, PLC, attenuation, multipath, impulsive noise, coloured noise, narrow-band noise.

INTRODUCCIÓN

La red eléctrica es la red más grande que existe, con una extensa cantidad de contactos, por esta razón es posible la existencia de comunicaciones entre terminales (tanto computadoras como dispositivos que se conecten a los 120 vac de la línea). Por ello la tecnología del Power Line Communications (PLC) es una atractiva línea de investigación; aunque la idea original de la red eléctrica es la distribución de electricidad y no la de transmitir datos.

¹Facultad de Ingeniería, UNAM. abalbuena_80@yahoo.com.mx

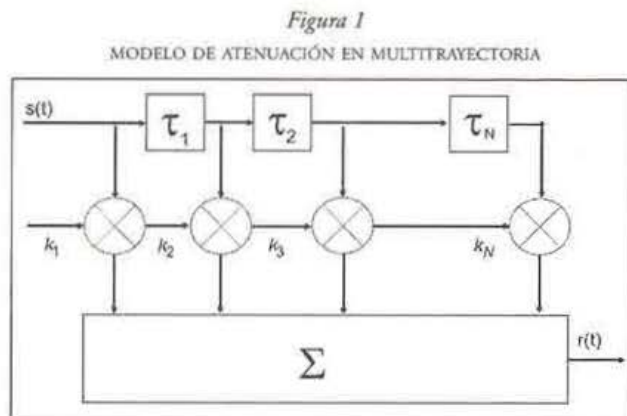
²Universidad Politécnica del Valle de Toluca. barrera.eduardo@gmail.com

Para optimizar el esquema de comunicaciones, es necesario tener un modelo exacto de canal. Por esto, muchos investigadores han propuesto varios modelos para el canal del PLC. Existen ya modelos aceptados (Wei, Liu & Li, 2006). El modelado de dicho canal no es una tarea fácil, investigadores lo han catalogado como un *canal horrible* (Biglieri, 2003) y un modelado extremadamente difícil. Las características del modelo son que la función de transferencia depende fuertemente del lugar, de la topología de la red y de los componentes conectados a ella, y la presencia de diferentes tipos de ruido.¹

CARACTERÍSTICAS DEL CANAL DE LA RED ELÉCTRICA

Atenuación y multitrayectoria

La atenuación de la señal sobre el canal consiste en dos partes: pérdidas de acoplamiento (k_N) y pérdidas de línea (τ_N). Las primeras dependen del diseño del transmisor y puede ser considerado pequeño. Por lo tanto, las pérdidas de línea serían las más importantes, la cantidad perdida de poder está en función de la distancia entre el transmisor y el receptor (figura 1).



¹ Para obtener un panorama más amplio de los modelos sugeridos en la literatura, tanto para el ruido como para la función de transferencia, se puede consultar el artículo de Laguna y Barrón, "Survey on indoor Power Line Communication Channel Modeling", 2008.

Ruido

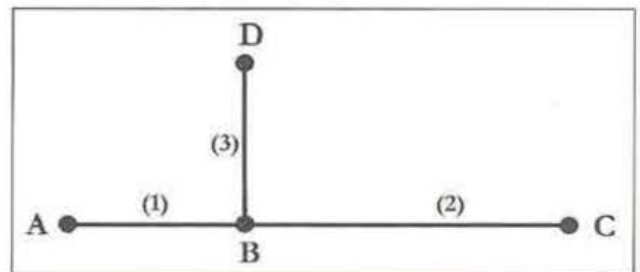
Este documento muestra cuatro ruidos, usualmente presentes en la red eléctrica. Primero, ruido coloreado; segundo, ruido de banda estrecha; tercero ruido sincrónico con la frecuencia de línea (60Hz); y último, ruido aleatorio impulsivo.

MODELO DE CANAL DE LA RED ELÉCTRICA

Atenuación y multitrayectoria

La propagación de señales en un ambiente de multitrayectoria es vista mediante un ejemplo simple (figura 2). El enlace tiene sólo una rama y consiste en los segmentos (1), (2) y (3) con longitudes l_1 , l_2 , y l_3 , sus impedancias características son Z_1 , Z_2 y Z_3 .

Figura 2
MULTITRAYECTORIA EN LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL



Cada trayectoria (i) tiene un factor de peso (g_i), el cual representa el producto de los factores de reflexión y transmisión a lo largo de la trayectoria. El retraso de tiempo (τ_i) de una trayectoria puede ser calculado de lo largo (d_i) y de la velocidad de fase (v_p). La tabla 1 muestra los caminos que puede tomar la señal así como las longitudes.

Tabla 1
TRAYECTORIAS DE LA PROPAGACIÓN
DE LA SEÑAL PARA LA FIGURA 2

Trayectoria	Camino de la señal	Largo de la trayectoria
1	A→B→C	$l_1 + l_2$
2	A→B→D→B→C	$l_1 + 2l_3 + l_2$
N	A→B(→D→B) ^{N-1} →C	$l_1 + 2(N-1) \cdot l_3 + l_2$

Al combinar la propagación en multitrayectorias descritas con la atenuación, se puede obtener el modelo $H(f)$:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N \underbrace{g_i}_{\text{factor peso}} \cdot \underbrace{e^{-(a_0 + a_1 f^k) d_i}}_{\text{porción de atenuación}} \cdot \underbrace{e^{-j2\pi f (d_i/v_p)}}_{\text{porción de retraso}} \quad (1)$$

La ecuación (1) representa un modelo paramétrico, el cual describe la respuesta en frecuencia de canales de red eléctrica, que cubre efectos característicos dentro del rango de 500kHz a 20MHz. El número de trayectorias permite controlar la precisión del modelo, el cual es importante para definir los canales de referencia para el Power Line Communications (Zimmermann & Dostert, 2002).

Canales de referencia

Para tomar en cuenta una variedad de características posibles, se proponen canales de referencia con fundamento en una gran base de información (Zimmermann, 2000; Langfeld, 2001).

- Canal de referencia 1 (figura 3): excelente, longitud $\approx 100\text{m}$, son bifurcaciones.
- Canal de referencia 2 (figura 4): bueno, longitud $\approx 110\text{m}$, 6 bifurcaciones.
- Canal de referencia 3 (figura 5): medio, longitud $\approx 210\text{m}$, 8 bifurcaciones.
- Canal de referencia 4 (figura 6): malo, área residencial, muchas bifurcaciones (Götz, Rapp, & Dostert, 2004).

Figura 3
CANAL DE REFERENCIA UNO.
MAGNITUD DE RESPUESTA EN FRECUENCIA

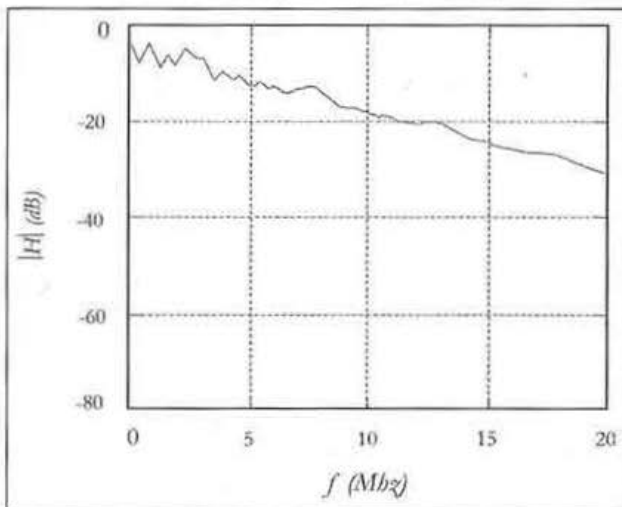


Figura 4
CANAL DE REFERENCIA DOS.
MAGNITUD DE RESPUESTA EN FRECUENCIA

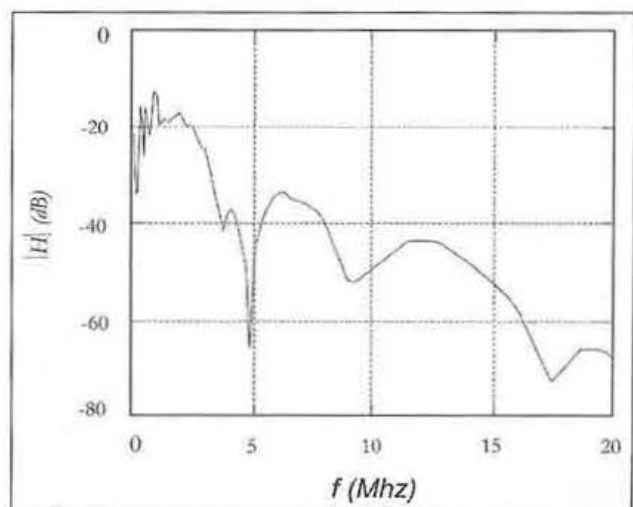


Figura 5
CANAL DE REFERENCIA TRES.

MAGNITUD DE RESPUESTA EN FRECUENCIA

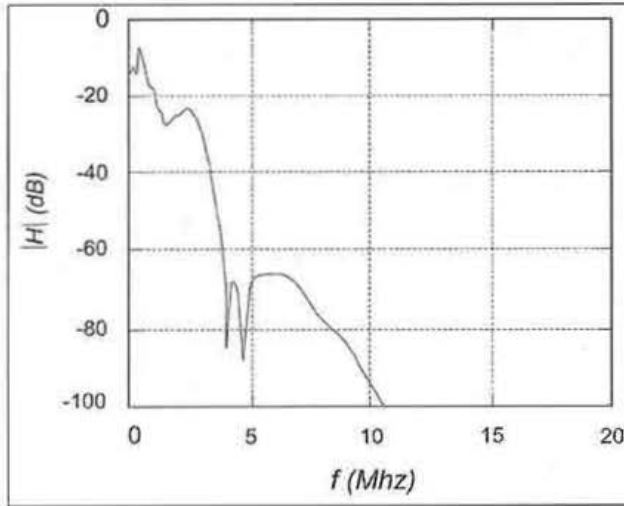
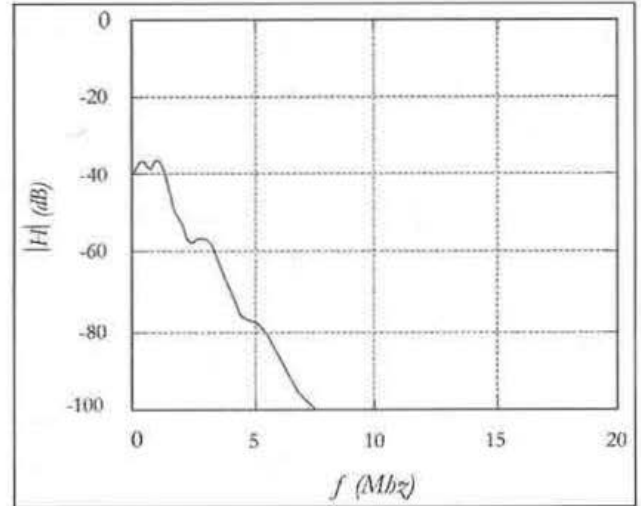


Figura 6

CANAL DE REFERENCIA CUATRO.

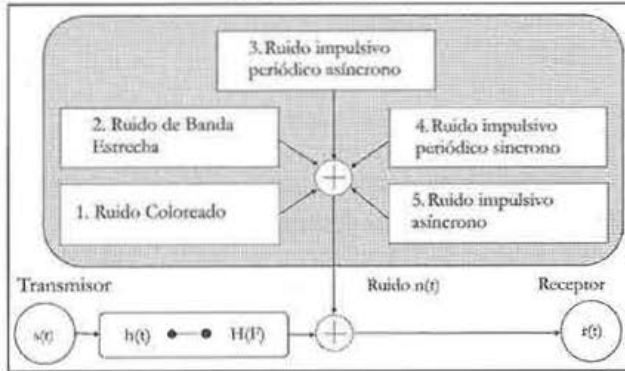
MAGNITUD DE RESPUESTA EN FRECUENCIA



Modelo de ruido

No es posible analizar estos tipos de canal con un ruido tradicional blanco aditivo gaussiano (AWGN). Zimmermann (2002) clasifica los ruidos del PLC como se muestra en la figura 7.

Figura 7
MODELO DE RUIDO



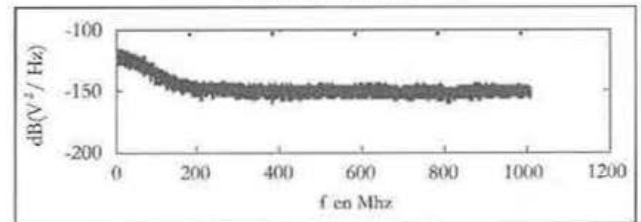
Ruido coloreado. Causado por la superposición de múltiples fuentes de ruido, son de baja potencia y decrece su densidad de potencia conforme la frecuencia es mayor. Dicha curva se aproxima por una exponencial (Jung, 2000). Tal función está dada por la siguiente ecuación:

$$A(f) = A_{\infty} + A_0 \cdot e^{-f/f_0} \quad (2)$$

Donde A_{∞} , es la densidad de potencia cuando $f \rightarrow \infty$, A_0 es la diferencia entre $A(0)$ y $A(\infty)$; f_0 representa la tasa de decaimiento.

Figura 8

RUIDO COLOREADO

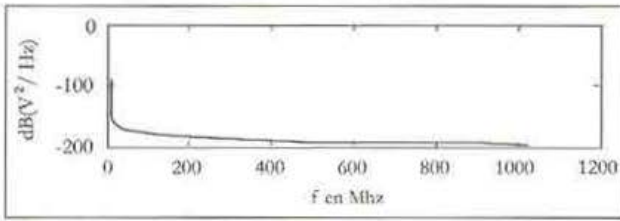


Ruido de banda estrecha. Se compone de señales de radio que se encuentran en el espectro, por tal motivo la intensidad y frecuencia varían dependiendo del lugar y del tiempo. Este ruido se puede expresar por la suma de senoidales con diferentes amplitudes.

$$n(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot \sin(2\pi f_i t + \varphi) \quad (3)$$

Las N señales tienen diferentes parámetros en frecuencia (f), amplitud ($A_i(t)$) y fase (φ).

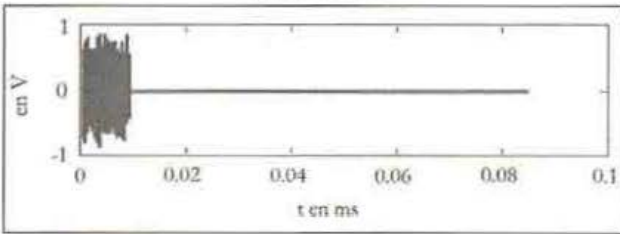
Figura 9
RUIDO DE BANDA ESTRECHA



Ruido impulsivo periódico

a) Ruido impulsivo periódico sincrono. Este ruido se encuentra entre 50Hz y 100Hz. Es causado por convertidores de potencia (figura 10).

Figura 10
RUIDO IMPULSIVO



b) Ruido impulsivo periódico asincrono. Causado principalmente por fuentes de alimentación conmutadas. Las frecuencias en donde actúa oscila entre 50Hz y 2 MHz, sin embargo lo hace por tiempos cortos y en potencias bajas; por lo tanto, puede ser considerado como parte del ruido coloreado.

c) Ruido impulsivo aperiódico. Puede ser considerado como el ruido más perjudicial, causado por todas aquellas operaciones de encendido y apagado, ocasionadas por electrodomésticos y motores, entre otros. Debido a ello, este ruido es aleatorio y a menudo puede ser un ruido de ráfaga. Tiene tres parámetros: amplitud, tiempo de impulso y tiempo entre impulsos; estos parámetros no son constantes (figuras 11 y 12).

Para las transmisiones de datos por la red eléctrica, este ruido es bastante importante, ya que sus características de amplitud y densidad de potencia exceden por mucho los parámetros de los otros ruidos.

Figura 11
MODELO DE RUIDO IMPULSIVO APERIÓDICO

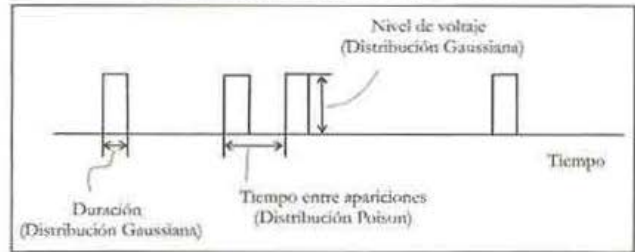
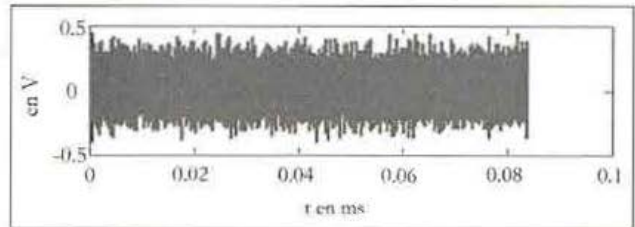


Figura 12

EJEMPLO DE RUIDO IMPULSIVO APERIÓDICO



CONCLUSIONES

En este trabajo son presentadas las características de las líneas eléctricas como medio de transmisión, como son la atenuación y los ruidos presentes.

Como hemos visto, existe una variedad de ruidos en este canal, los cuales hacen difícil la transmisión de datos por este medio. Lo anterior, sin considerar la atenuación que también está presente y la cual hace más difícil dicha transmisión. Sin embargo, con mecanismos como una modulación y métodos de corrección de errores, entre otros, que sean adecuados para no ser tan afectados por las características antes vistas, el canal puede ser útil para diferentes aplicaciones.

REFERENCIAS

Biglieri, E. (2003). Coding and modulation for a horrible channel. *IEEE Communications Magazine*, 41, 92-98.

Götz, M., Rapp, M. & Dostert, K. (2004). Power Line Channel characteristics and their effect on communication system desig. *IEEE Communications Magazine*, 42.

- Jung, S. Y. (2002, febrero). A channel model for powerline communications in home network. *Proceedings on the 15th CISL Winter Workshop*, Japón.
- Laguna, G. & Barrón, R. (2008). Survey on indoor Power Line Communication channel modeling. *IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA 08* (pp. 163-168), México.
- Langfeld, P. (2001). The capacity of typical Powerline channels and strategies for system design. *Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC)*, Malmö, Sweden, 271-278.
- Wei, X., Liu, J. & Li, Y. (2006). Simulation and analysis of power transmission line model. *IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, 256-260.
- Zimmermann, M. & Dostert, K. (2002, abril). A multipath model for the Powerline Channel. *IEEE Transactions on Communications*, 50(4), 553-559.
- Zimmermann, M. (2000). *Energieverteilnetze als zugangsmidium für telekommunikations-dienste. Shaker Verlag*, 263.