

# ESTIMACIÓN DEL VALOR TEÓRICO PARA EL THROUGHPUT EN REDES LAN BASADAS EN TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS BAJO EL ESTÁNDAR HOMEPLUG 1.0

## ESTIMATING THE THEORETICAL VALUE FOR LAN NETWORK THROUGHPUT BASED POWER LINE COMMUNICATIONS TECHNOLOGY UNDER THE HOMEPLUG 1.0 STANDARD



**Contreras Higuera Martha Fabiola<sup>1</sup>, Granados Acuña Gerardo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, Bucaramanga, Colombia, martha.contreras@unad.edu.co.

<sup>2</sup> Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD, Bucaramanga, Colombia, gerardo.acuna@unad.edu.co.

Recibido: 12/08/2012 • Aprobado: 15/11/2012

### RESUMEN

Sin ser una idea nueva, *Power Line Communications* (PLC) hace referencia a un grupo de tecnologías que permiten establecer procesos de comunicación bajo el uso de la red eléctrica como medio físico de transmisión.

Hasta hace unos años, el uso de PLC se había limitado a la implementación de soluciones de control, automatización y monitoreo de sensores, que no requerían de un gran ancho de banda para su funcionamiento.

Durante finales de los años noventa, debido a los nuevos desarrollos tecnológicos y a la necesidad de implementar alternativas diferentes para transferencia de información, fue posible alcanzar velocidades en el orden de los Mbps, estableciéndose la posibilidad de utilizar la red eléctrica como una red de acceso.

El estado actual de la tecnología PLC consiente alcanzar velocidades de hasta 200Mbps, lo que ha permitido la transformación de la red eléctrica en una auténtica red de banda ancha, capaz de soportar servicios de datos, voz y video ofrecidos por un operador de telecomunicaciones. El uso de adaptadores de red basados en PLC facilita el diseño de redes LAN y comunicaciones de banda ancha a través de la red eléctrica, convirtiendo cualquier toma corriente en un punto de conexión para el usuario, sin la necesidad de cableados adicionales a los existentes.

La red eléctrica es una estructura que hasta el momento se ha empleado exclusivamente para el transporte de energía eléctrica. Sin embargo, es posible utilizarla en procesos de comunicación y transmisión de información, tales como: voz, datos y video, considerando que no había sido concebida para tal fin.

El rendimiento es, sin duda, uno de los aspectos de mayor interés dentro del análisis global en las redes LAN, debido al efecto que este produce sobre el usuario final. Básicamente, los parámetros más comunes para evaluar el rendimiento de una red son: *Throughput*<sup>1</sup>, utilización del canal y diversas medidas de retardo.

En este artículo se presenta un análisis simple del estándar *HomePlug 1.0* aplicado a la transmisión de información, utilizando la red eléctrica como medio físico de transmisión. El análisis considera la influencia del tamaño de los paquetes, número de estaciones, mecanismos de acceso al medio y tamaño de la ventana de contención inicial, entre otros aspectos importantes, con el objetivo de analizar teóricamente el comportamiento del *Throughput* sobre redes LAN, que usan la tecnología PLC para su implementación.

**Palabras clave:** canal, modelamiento, PLC, ruido, throughput

## ABSTRACT

*Power Line Communications (PLC) refers to a group of technologies that allow to establish communication processes under the use of the grid as a physical means of transmission. The use of the grid as a physical means of transmission of information is not a new idea. Until a few years ago, the use of PLC had been limited to the implementation of solutions of control, automation and monitoring of sensors; which did not require a high bandwidth for its operation.*

*During the late 1990s due to the new technological developments and the need to implement new alternatives for transfer of information, it was possible to reach speeds on the order of the Mbps, establishing the possibility of making use of the electricity network as a network of access.*

*The current state of technology PLC allows to reach speeds of up to 200Mbps, which has enabled the transformation of the grid in a true network of band wide, capable of supporting data, voice and video provided by a telecommunications operator. The use of PLC-based network adapters allow easily design LANs and broadband communications through the electrical network, making any outlet in a point of connection for the user, without the need for wiring additional to existing ones.*

*The electrical network is a structure which so far has been exclusively used for the transport of electrical energy. However, it is possible to make use of this network in processes of communication and transmission of information such as: voice, data and video; Bearing in mind that grid had not been designed for this purpose.*

*The performance is without doubt one of the aspects of greatest interest in the global analysis in networks LAN, due to the effect it produces on the end user. Basically, the most common parameters for evaluating the performance of a network are: Throughput, use of the canal and various measures of retardation.*

*In this article is presented a simple analysis of the HomePlug 1.0 standard applied to the transmission of information using the grid as a physical means of transmission. The analysis considers the influence of the size of the packages, number of stations, mechanisms of access to the medium, the window size of initial containment, among other important aspects; in order to analyze the behavior of the Throughput on LAN networks, making use of PLC technology for their implementation at the theoretical level.*

**Keywords:** channel, noise, modeling, PLC, throughput



---

<sup>1</sup>Throughput, es la capacidad de un enlace de transportar información útil. Representa a la cantidad de información útil que puede transmitirse por unidad de tiempo y puede variar en una misma conexión de red dependiendo del protocolo usado para la transmisión, el tipo de datos de tráfico, entre otros factores.

## I. INTRODUCCIÓN

*Power Line Communications* (PLC) hace referencia a un grupo de tecnologías que permiten establecer procesos de comunicación bajo el uso de la red eléctrica como medio físico de transmisión.

La red eléctrica no se diseñó para realizar procesos de comunicación, sino para el transporte de energía eléctrica. Aunque esta no se especifica para establecer procesos de comunicación a alta frecuencia, actualmente se considera objeto de estudio, debido a que ha sido subutilizada. Empresas de desarrollo tecnológico han visto en ella un gran potencial para ofertar servicios de telecomunicaciones tales como: telemetría, voz, datos y video, lo cual constituye una gran ventaja competitiva en comparación con otras soluciones alternativas existentes en el mercado.

De otra parte, la red eléctrica se considera un medio hostil para la transmisión de información, ya que se pueden presentar numerosos problemas: alto componente de ruido, impedancia variable y posibles atenuaciones significativas, retos que se deben afrontar debido a las diversas conexiones presentes en esta y a los cambios constantes en su topología, por la apertura o cierre de circuitos, lo que genera la aparición de transitorios, los cuales causan reflexiones de señal y con ello cambios característicos en la impedancia y atenuación de la misma. [1]. Esta situación de cambios constantes en la topología de las redes PLC se presenta comúnmente en las redes PLC hogareñas en donde cada interruptor puede generar cambios eventuales en su topología.

Básicamente los impedimentos que se pueden presentar en un proceso de comunicación bajo el uso de tecnología PLC obedecen a las características del canal de comunicaciones, las cuales afectan la calidad de las señales transmitidas y en general dificultan la prestación de un servicio de acceso eficaz.

## II. ACCESO AL MEDIO SOBRE PLC

El acceso al medio se controla mediante un mecanismo llamado IFS (Inter Frame Space / espaciado entre tramas). Este espacio corresponde con el intervalo de tiempo entre la transmisión de dos tramas. De hecho, los intervalos de IFS son períodos de inactividad en el medio de transmisión, usados para gestionar los accesos de las estaciones medianas y establecer un sistema de prioridades durante una transmisión. Los valores de los distintos IFS dependerán de la aplicación de la capa física. Hay tres tipos de IFS definidos por el estándar HomePlug 1.0:[4],[6].

CIFS (Contention Distributed Interframe Spacing). Las estaciones que deseen acceder al medio cuando está libre utilizan el CIFS, el cual tiene una duración de 35,84 $\mu$ s.

RIFS (Response Interframespacing). Corresponde al tiempo en que una estación espera una respuesta de la estación de destino; tiene una duración de 26 $\mu$ s antes de transmitir su respuesta. Las estaciones también utilizan este RIFS, para cambiar de modo de envío a modo de recepción.

EIFS (Extended Interframespacing). Corresponde con el tiempo máximo necesario para que una estación pueda transmitir; también se utiliza para determinar cuánto tiempo está ocupado el medio después de una colisión, y por el proceso FEC (Forward Error Control), se comprueba si hay o no errores en los datos recibidos. Este tiempo es de 1.695 $\mu$ s.

Para el caso particular del estándar HomePlug AV existe otro grupo de IFS adicionales. En la tabla 1 se realiza una comparación de los tiempos IFS en las dos versiones más utilizadas del estándar HomePlug:

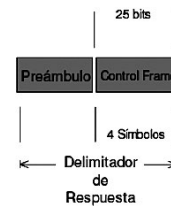
TABLA I.  
TIEMPOS DE IFS ACORDES CON LA CAPA  
FÍSICA DEL ESTÁNDAR HOMEPUG

	HomePlug 1.0	HomePlug AV
Slot de tiempo	35,84 $\mu$ s	35,84 $\mu$ s
CIFS	35,84 $\mu$ s	100 $\mu$ s
RIFS	26 $\mu$ s	30 a 160 $\mu$ s
EIFS	1,695 $\mu$ s	2,920 $\mu$ s
AIFS		30 $\mu$ s
B2BIFS		85 $\mu$ s
BIFS		20 $\mu$ s
CIFS AV		100 $\mu$ s
RGIFS		80 $\mu$ s

Fuente: CARCELE, Xavier. *Power Line Communications in practice*. P.41

El protocolo de capa MAC de PLC opera bajo el formato de *frame* (trama) IEEE 802.3, con lo cual se facilita su integración con *Ethernet*. Sin embargo, se incluyen algunos elementos adicionales de encriptación y otras características en el *frame* antes de ser enviadas a la red eléctrica.

La tecnología PLC usa dos formatos de *frame* básicos tales como los que se ilustran en la Fig. 1. El primero corresponde a un *frame* largo, el cual consiste de un delimitador de inicio de *frame* (SOF, *Start of Frame Delimiter*), carga útil (Payload) y un delimitador de fin de *frame* (EOF, *End of Frame Delimiter*). El segundo tipo corresponde a un *frame* corto, el cual consiste de un delimitador de respuesta y se usa como parte del proceso de parada y espera en una petición ARQ (*Automatic Repeat Request*). El ARQ es un mecanismo que causa retransmisión de paquetes dañados. [7],[8], [9].



Formato de Frame Corto

Fig. 1 Formatos de Frame básicos en redes PLC [10]

La tecnología PLC limita la longitud máxima de la carga útil a 160 símbolos OFDM (1.3 mseg). Si el paquete no puede ser ajustado en un *frame* largo, se utiliza un mecanismo de fragmentación y reensamble para enviar múltiples *frame* largos. En el encabezado del *frame* se incluye la información necesaria para que pueda reconstruir posteriormente el paquete segmentado y un FCS (*Frame Check Sequence*) que protege la carga útil y permite detectar errores en caso de que ocurran [11],[12].

### III. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN EN LA RED PLC

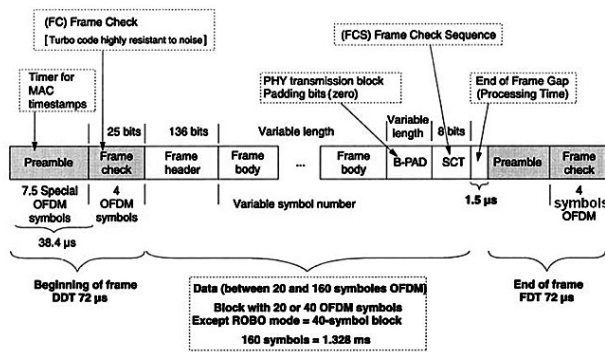
Además de las perturbaciones electromagnéticas, una red PLC está sujeta a limitaciones relacionadas con la tecnología utilizada. Estas limitaciones hacen referencia a la velocidad de transmisión, la cual en la mayoría de los casos, no corresponde a la tasa esperada.

La velocidad teórica en una red PLC bajo el estándar *HomePlug* 1.0 se encuentra entre 1 Mbit/s y 14Mbit/s. El valor de 14Mbit/s de velocidad de transmisión es sólo un valor teórico que corresponde aproximadamente a un *throughput* de 5 Mbit/s, es decir, 0,625 Mb/s. *HomePlug* Turbo y AV (versiones superiores al *HomePlug* 1.0), proporcionan una velocidad de datos teórica de 5 a 85 Mbit/s y de 10 a 200 Mbit/s respectivamente, para un *Throughput* que oscila desde 1 a 20 Mbit/s para *HomePlug* Turbo y de 5 a 60 Mbit/s, para *HomePlug* AV [1],[10].

Por definición, el Throughput (Thr) corresponde a la cantidad de información útil (Data) dividida por el tiempo total de transmisión (Tt) [4].

$$Thr = \frac{Data}{T_t} \quad (1)$$

A continuación se realizará una primera aproximación sobre el valor de *throughput* ( $T_{hr_1}$ ) estimado en un proceso de transmisión PLC bajo el estándar Homeplug 1.0.



Fuente: HRASNICA Halid, *Broadband Powerline Communications Networks*. P.45

**Fig. 2** Estructura general de una trama HomePlug 1.0 – OFDM [8]

En este caso se considera una red HomePlug 1.0 cuyos encabezados utilizan un preámbulo corto con una velocidad de transmisión de 14 Mbit/s para todas las estaciones, un PLCP-PDU de 1500 bytes de datos y un encabezado MAC de 34 bytes. Por otro lado, es necesario calcular el tiempo de transmisión, el cual equivale a la suma del tiempo de transmisión del encabezado PLCP-PDU y el tiempo de transmisión de datos MAC, que aún no se ha calculado.

Así, el tiempo de transmisión de la capa MAC está dado por la siguiente fórmula:

$$T_{tMAC} = \frac{1534 \text{ bytes} * 8 \text{ bit/byte}}{14 \text{ Mbit/s}} = 876,6\mu s \quad (2)$$

Los 120 bits del encabezado del PLCP-PDU son transmitidos a 1Mbit/s. Por lo tanto, este tiempo de transmisión es:

$$T_{tPLCP-PDU} = 72\mu s + 1,5\mu s + 72\mu s = 145,5\mu s \quad (3)$$

El tiempo total de transmisión sería:

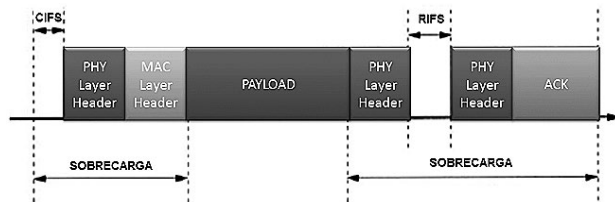
$$T_{t1} = T_{tMAC} + T_{tPLCP-PDU} = 876,6\mu s + 145,5\mu s = 1022,1\mu s \quad (4)$$

Considerando que el tamaño de información útil es de 1500 bytes y aplicando la expresión matemática para calcular el *throughput* se obtiene:

$$Thr_1 = \frac{1500 \text{ bytes} * 8 \text{ bit/byte}}{T_{t1}} \approx 11,74 \text{ Mbit/s} \quad (5)$$

Sin embargo, este tipo de datos no corresponde con la realidad. En PLC, el envío de los datos debe cumplir con algunas normas relacionadas con el CSMA/CA<sup>2</sup>.

En el caso ideal, cuando una estación transmite, el transmisor escucha el medio. Si el medio está libre, aplaza el inicio de su transmisión mientras espera un tiempo CIFS. Si ha transcurrido el tiempo CIFS y el medio se encuentra libre, se realiza la transmisión de los datos. Una vez que la transmisión de datos se ha completado, la estación espera un tiempo RIFS para saber si sus datos han sido recibidos satisfactoriamente. Como se ilustra en la Fig. 3, la sobrecarga mínima generada por el encabezado del ACK y los tiempos CIFS y RIFS no se pueden considerar despreciables [10].



**Fig. 3** Mínima sobrecarga cuando se transmiten datos sobre HomePlug 1.0

Fuente: HRASNICA Halid, *Broadband Powerline Communications Networks*. P.50

<sup>2</sup> Protocolo de acceso aleatorio múltiple con detección de portadora y evasión de colisiones (CSMA/CA: CarrierSenseMultiple Access withCollisionAvoidance)

En vista de lo anterior, es importante volver a calcular el valor de *Throughput* ( $Thr_2$ ) asociado con este caso ideal. CIFS y RIFS son valores de tiempo fijos; sin embargo, estos pueden variar de una tecnología a otra. Para el caso particular del estándar Homeplug 1.0, los tiempos para CIFS, RIFS,  $T_{tDATA-max}$  y  $T_{tACK}$  son de: 35,84  $\mu$ s, 26  $\mu$ s, 1489,5  $\mu$ s y 72  $\mu$ s, respectivamente. Por lo tanto, el tiempo total de transmisión sería:

$$T_{t2} = CIFS + T_{tDATA} + RIFS + T_{tACK} \quad (6)$$

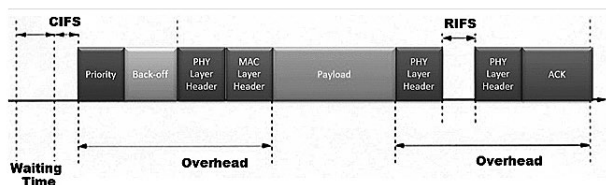
$$\begin{aligned} T_{t2} &= 35,84\mu s + 1489,5\mu s + 26\mu s + 72\mu s \\ &= 1623,43\mu s \end{aligned} \quad (7)$$

En este caso ideal, el valor del *throughput* sería:

$$Thr_2 = \frac{1500 \text{ bytes} * 8 \text{ bit/byte}}{T_{t2}} \approx 7,39 \text{ Mbit/s} \quad (8)$$

Obsérvese que a mayor tiempo de sobrecarga, disminuye el valor del *throughput*. El valor  $Thr_2$  corresponde al máximo valor de *throughput* cuando solo se encuentra una estación transmitiendo en la red. No obstante, esta situación se torna más complicada cuando existe más de una estación en la red PLC transmitiendo simultáneamente [8],[10].

Cuando una estación desea transmitir después de esperar un tiempo CIFS y se detecta que el medio se encuentra ocupado, el transmisor activa un tiempo de espera, el cual se calcula a través del algoritmo de back-off. Este tiempo de back-off aumenta el tiempo de sobrecarga, tal como se ilustra en la Fig. 4.



**Fig. 4** Máxima sobrecarga cuando se transmiten datos sobre HomePlug1.0 [10]

En vista de lo anterior y considerando el tiempo de back-off, es importante recalculer nuevamente el valor del *throughput*:

$$T_{t2} = T_{wait} + CIFS + T_{Backoff} + T_{tDATA} + RIFS + T_{tACK} \quad (9)$$

$$Thr_2 = \frac{Data}{T_{t2}} = \frac{Data}{T_{wait} + T_{Backoff} + T_{t2}} \quad (10)$$

Como el tiempo de espera y el tiempo de back-off no son fijos, se generan algunas complicaciones en el momento de realizar el cálculo correspondiente al tiempo total de transmisión. Sin embargo, en muchos casos se ha considerado que la suma del tiempo de espera y el tiempo de *back-off* es equivalente al tiempo de transmisión en un caso ideal. [8],[10] Consideran que este criterio, la expresión de *throughput* sería la siguiente:

$$\begin{aligned} T_{t2} &= T_{wait} + CIFS + T_{Backoff} + T_{tDATA} + RIFS \\ &\quad + T_{tACK} \end{aligned} \quad (9)$$

Esta sería la expresión correspondiente al *throughput* para dos estaciones. Luego, si se generaliza la expresión anterior para  $n$  estaciones, y considerando el hecho de que  $Thr_2$  sería el máximo valor de *throughput* dividido por el número de estaciones, el resultado sería: [8],[1].

$$Thr_2 \approx \frac{Thr_2}{n} \quad (12)$$

Es importante mencionar, que para el cálculo del *throughput* solo se han tomado en cuenta los elementos de la capa 2 del modelo OSI. Sin embargo, hay que incluir algunos bits adicionales correspondientes a la capa LLC la cual tiene un encabezado de 4 bytes; a esto se le deben agregar 20 bytes correspondientes al encabezado del paquete IP y con ello 24 bytes correspondientes al encabezado del segmento TCP en donde se guardan los datos del usuario. Lo anterior genera un aumento en 48 bytes de sobrecarga adicional. Sin tener en cuenta que debe incluirse un tiempo de procesamiento de la información en las capas 3 y 4 del modelo OSI, se generan tiempos adicionales y que no fueron tomados en cuenta [1].

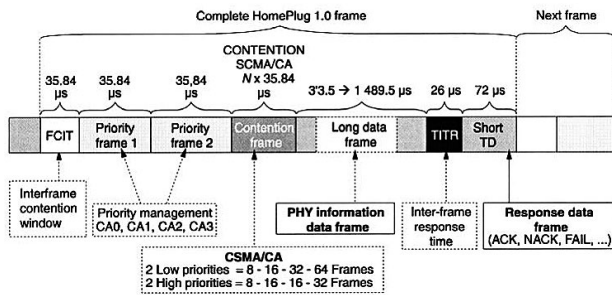


Fig. 5 Estructuras de tiempo para una trama HomePlug1.0[1]

TABLA II.  
ESTRUCTURAS DE TIEMPO PARA  
UNA TRAMA HOMEPLUG1.0[1]

	FIXED (HEADER)	VARIABLE (DATA)	CONTENTION (CSMA/CA)	TIME LENGTH
MIN	205.52 μs	+ 313.5 μs	+ N x 35.84 μs	= 519.02 μs + (N x 35.84 μs)
MAX	205.52 μs	+ 1,489.5 μs	+ N x 35.84 μs	= 1,692.02 μs + (N x 35.84 μs)

En términos de longitud, una trama HomePlug 1.0 puede ser cuantificada por valores mínimo y máximo, con partes fijas como lo son los encabezados y partes variables como los campos de información y los periodos de contención acordes con lo establecido por el protocolo CSMA/CA. El tiempo promedio de una trama bajo el estándar HomePlug 1.0 es de 1600μs.

De acuerdo con la Fig. 5, el rango para la transmisión de datos está entre 313,5μs y 1489,5μs; sin embargo, para transmitir 1500 bytes de carga útil (máximo valor de carga para tramas ethernet) se requieren 120 símbolos OFDM, en donde cada símbolo tiene una duración de 8,4μs equivalente a un tiempo de 1008μs, los cuales si les agregamos los bits correspondientes al encabezado de control (19 bytes), equivaldrían a un retardo de 1153,5μs, tal como se observa en la figura anterior [8],[1].

Por lo tanto, si se considera un tamaño de la ventana de contención en 8, equivalente a 3,5 ranuras de tiempo,, el tiempo correspondiente a la transmisión de una trama HomePlug 1.0 considerando una carga útil de 1500 bytes sería:

$$t = 35,84\mu s + 35,84\mu s + 35,84\mu s + (3,5 * 35,84\mu s)$$

$$+1153,5\mu s + 26\mu s + 72\mu s$$

$$t = 1484,46\mu s$$

Si se considera que la velocidad máxima de transmisión es de 14,18Mbps establecido para el estándar HomePlug 1.0, el valor del throughput máximo posible para una carga útil de 1500 bytes sería

$$Th_{MAX} = \frac{1500 \text{ bytes} * 8 \text{ bits}}{1484,46\mu s} = 8,08Mbps \quad (13)$$

En virtud de lo anterior, se podría decir que una red PLC no alcanza la capacidad deseada en el medio físico de transmisión. Si los datos se transmiten a la velocidad de 14 Mbit/s, el número de bits de datos para el usuario sólo representará aproximadamente la mitad de la capacidad bruta de la interfaz eléctrica. Adicionalmente, el throughput en una red PLC puede variar debido a los cambios que se presenten en un momento dado sobre la red eléctrica, aspecto que es muy común.

## IV. CONCLUSIONES

La red eléctrica representa un medio hostil para la transferencia de datos debido a que esta no ha sido diseñada para transmitir información. PLC al ser una tecnología emergente se enfrenta a varios inconvenientes, tales como: niveles excesivos de ruido, la atenuación de la señal a las frecuencias de interés, discontinuidades en la impedancia característica del canal, efecto multipath, afectando considerablemente su óptimo desempeño. Adicionalmente, es muy difícil obtener un modelo significativo de este canal, debido a la constante conexión y desconexión de dispositivos.

Una red PLC está sujeta a limitaciones relacionadas con la tecnología utilizada. Estas limitaciones se refieren a la velocidad de transmisión, la cual en la mayoría de los casos, no corresponde a la tasa esperada, debido a que la red PLC trabaja bajo el uso de un medio compartido, en donde el ancho de banda entre los usuarios disminuye a medida que aumenta la cantidad de estaciones activas en esta. Un aspecto importante es que las estaciones que forman parte de dicha red, deben estar en la misma fase de la red eléctrica.

La velocidad teórica en una red PLC bajo el estándar HomePlug 1.0 se encuentra entre 1 Mbit/s y 14Mbit/s. En una red PLC, el throughput máximo será aproximadamente la mitad de la capacidad bruta de la interfaz eléctrica. Adicionalmente, el throughput en una red PLC puede variar debido a los cambios topológicos que se presenten en un momento dado sobre la red eléctrica, aspecto muy común debido a la conexión y desconexión permanente de equipos eléctricos.

La expresión matemática que se obtuvo para la estimación del *throughput* acorde con la estructura de una trama en redes PLC, muestra que este es directamente proporcional al tamaño del paquete y disminuye considerablemente a medida que aumenta el número de estaciones activas en la red PLC, considerando que para su cálculo, solo se tomaron en cuenta los elementos de la capa 2 del modelo OSI.

El protocolo de capa MAC de PLC opera bajo el formato de *frame* IEEE 802.3 con lo cual se facilita su integración con *Ethernet*. Sin embargo, se incluyen algunos elementos adicionales de encriptación y otras características en el *frame* antes de ser enviadas a la red eléctrica, limitando la longitud máxima de la carga útil a 160 símbolos OFDM (1.3 mseg).

Al establecer un mecanismo para predicción de *Throughput* se busca evaluar el rendimiento de la red PLC implementada, considerando la influencia de cada uno de los siguientes factores: el número de estaciones activas en la red y el tamaño del paquete, bajo las condiciones de la red eléctrica existentes en ambientes corporativos y residenciales. Sin embargo, es importante considerar que los resultados obtenidos pueden estar sujetos a modificaciones y ajustes posteriores debido a las condiciones existentes en la red eléctrica.

Sería importante el desarrollo de un modelo empírico para predicción de *throughput* ajustado a las condiciones de la red eléctrica colombiana, el cual obedece a la necesidad de establecer una herramienta confiable y fácil de utilizar por parte de los diseñadores de redes LAN, frente a otros modelos existentes actualmente, centrados en el uso de expresiones matemáticas complejas y que no están acordes con las condiciones de la red eléctrica existente en Colombia, bajo el uso de la tecnología PLC.

La implementación de redes PLC no debe ser considerada como un reemplazo de las tecnologías existentes, sino como una solución complementaria que trabaja en conjunto con otras tecnologías de acceso. PLC ofrece una instalación simple y rápida en la cual solo es necesario conectar un adaptador o Módem PLC, convirtiendo cualquier toma de corriente en un punto de acceso a la red; permitiendo la transmisión simultánea de voz, datos y video sobre un mismo medio y originando la prestación de múltiples servicios, tales como: acceso a Internet de Banda Ancha, telefonía vocal con protocolo de IP, aplicaciones multimedia (videoconferencia, televisión interactiva, video y audio bajo demanda, juegos en red), entre otros servicios.





## REFERENCIAS

- [1] W. Grote., Fixed or adaptive rate maximum throughput análisis Ingeniare, Revista chilena de ingeniería, vol. 15 N° 3, pp. 320-327, 2007.
- [2] G. Bumiller., System architecture for power-line communication and consequences for modulation and multiple access, 7 th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (IS-PLC2003), Kyoto, Japan, March 26–28, 2003.
- [3] Y. Kaizawa and G. Marubayashi., “Needs for the power line communications,” Proceedings of International Symposium on Power-line Communications and its Applications, 1998, 153-157.
- [4] J. Lee Jongdae. And K. Tripathi., “Efficient High Speed Communications over electrical powerlines for a large number of users,Ninth IASTED”presented at 2007 International Conference Power and Energy System.
- [5] J. L. Devore., “Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias”, 5 Ed. México, Thomson Learning, p 753, 2002.
- [6] Y, Lin R., Newman and H. Latchman., “Power line Communication Network Infrastructure For Smart Homes”, IEEE Wireless Communications, Vol 9, No. 6, pp. 104-111, 2002.
- [7] HomePlug 1.0 Specification, HomePlugPowerline Alliance, June 2001.
- [8] X. Carcele, Xavier., “Power Line Communications in practice”, Paris, Artech House, p, 376, 2006.
- [9] M.K. Lee, R. Newman, H.A: Latchma, S. Katarr and L. Yonge. . HomePlug 1.0 Powerline Communication LANs –Protocol Description and Comparative Performance Results, accepted for publication in the Special Issue of the International Journal on Communication Systems on Powerline Communications, pages 447-473, May, 2003.
- [10] M Jung, M. CHhung and T. Lee. MAC “Throughput Analysis of HomePlug 1.0”. IEEE Communications Letters, vol. 9, no. 2, pp. 184–186, 2005.
- [11] S. Tachikawa, M. Nari and M., Hamamura. Power line data transmission using OFDM and DS/SS systems, 6 th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC2002), Athens, Greece, March 27–29, 2002.
- [12] L.T. Tang, P.L. So and Gunawane., “Performance analysis of OFDM systems for broadband power line communications under impulsive noise and multipath effects”, IEEE Transactions, vol. 20, No. 2, 2005.