

MODELO EMPIRICO QUE PERMITE EVALUAR EL THROUGHPUT DE LA RED LAN BASADA EN EL ESTÁNDAR HOMEPLUG AV PARA LA TRANSMISIÓN DE VOZ SOBRE EL PROTOCOLO IP

PhD(c). Juan Carlos Vesga Ferreira
Docente, Universidad Autónoma de Bucaramanga

Esp. Gerardo Granados Acuña
Candidato a Magister en Telemática, Universidad Autónoma de Bucaramanga

RESUMEN: El *throughput*, definido como la tasa de paquetes exitosos entregados sobre un canal de comunicación, es sin duda uno de los aspectos de mayor interés dentro del análisis del rendimiento en las redes LAN, considerando el efecto que éste produce sobre el usuario final. El presente artículo permite obtener un modelo estadístico de evaluación del comportamiento del *throughput* para la transmisión digital de información de voz (tráfico VoIP), teniendo en cuenta la cantidad de equipos (A) y los codecs usados (B) en una red LAN, operando bajo el estándar Homeplug AV. Para el desarrollo del modelo empírico se plantearon escenarios de prueba considerando el uso de 1,2,5 y 10 estaciones en la red intercambiando paquetes VoIP. En las pruebas se utilizó el software generador de tráfico *Distributed Internet Traffic Generator* (D-ITG) versión 2.61 y se emplearon adaptadores *Homeplug* marca TP-LINK modelo TL-PA211. Se generó tráfico de tipo aleatorio para los codecs de audio más representativos (G711, G723.1, G729). Como conclusión, se encontró que los factores códec utilizado y número de estaciones en la red, así como su interacción, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la función estadística planteada para el *throughput* y en un porcentaje equivalente al 95% de confianza.

Palabras clave: Homeplug, Powerline communications, Análisis de Varianza, Modelo estadístico, Canal PLC, VoIP, Diseño experimental

ABSTRACT: Throughput, defined as the rate of successful packages delivered on a channel of communication, it is without doubt one of the aspects of greatest interest to the analysis of the performance in the LANS, considering the effect that it produces on the end user. This article allows to obtain a statistical model for assessing the behavior of the throughput for the digital transmission of voice information (VoIP traffic), taking into account the amount of host (A) and the codecs used (B) in a LAN network, operating under the Homeplug AV standard. For the development of the empirical model is raised test scenarios considering the use of 1,2,5 and 10 host in the network by exchanging VoIP packets. In the tests, was used the software *Distributed Internet Traffic Generator* (D-ITG) version 2.61 and were used *Homeplug* adapters brand TP-LINK TL-PA211. *RandomTraffic* was generated for the audio codecs more representative (G711, G723.1, G729). As a conclusion, it was found that the factors codec used and number of hosts on the network, as well as their interaction, have a statistically significant effect on the statistical function raised to the throughput and a percentage equivalent to 95% of confidence.

Key words: Homeplug, Powerline communications, ANOVA, Statistical model, PLC Channel, VoIP, Experimental Design

1. INTRODUCCIÓN

El área de las telecomunicaciones representa uno de los aspectos que mayor impacto ha generado y aportado para la evolución de la sociedad, ya que gracias a los innumerables desarrollos en plataformas de comunicación, dispositivos y programación, se ha logrado optimizar y potenciar el uso de los medios de transmisión tanto cableados como inalámbricos.

Uno de los medios de comunicación que hasta hace unas décadas no se había comenzado a explotar a plenitud son las líneas de potencia eléctrica, cuya función primaria ha sido la del transporte de electricidad (Anatory, J. & Theethayi 2010).

Las líneas de potencia, debido a sus características particulares y a los avances en tecnologías de comunicaciones, hoy representan un importante nicho de desarrollo para el transporte de información, debido a tecnologías emergentes como PLC (*Power Line Communications / Comunicaciones por línea de potencia*).

La implementación de una tecnología como PLC en un país en vías de desarrollo como Colombia, se convierte en un reto y la vez en una importante alternativa para la expansión de redes LAN en hogares y empresas donde se cuenten con las condiciones eléctricas adecuadas, se desee evitar cableado adicional, reducir costos y obtener los beneficios de banda ancha. Por ello, es necesario desarrollar estudios que permitan establecer la viabilidad de la tecnología PLC en el país, tomando como base la implementación de estándares de aceptación y reconocimiento a nivel mundial como *Homeplug AV*.

Una vez se implementa una red PLC bajo el estándar *Homeplug AV*, se genera múltiple tráfico en banda ancha proveniente de las aplicaciones de audio y video. Con referencia a las aplicaciones de audio, y en especial los sistemas de voz sobre IP, debido a sus exigencias de calidad del servicio, pueden generar consecuencias frustrantes para los usuarios finales si no operan adecuadamente y bajo condiciones óptimas de rendimiento.

El *Throughput*, parámetro clave del rendimiento de una red, es considerado como la capacidad de un enlace de transportar información útil, y por lo tanto representa la cantidad de información válida que puede transmitirse por unidad de tiempo. Este parámetro puede variar en una misma conexión de red dependiendo del protocolo usado para la transmisión y del tipo de tráfico (voz, video, datos, etc), entre otros factores. Actualmente los algoritmos más eficientes para maximizar el *throughput* de un sistema *Homeplug AV* y garantizar un BER (*Bit Error Rate / Tasa de bits erróneos*) mínimo se enfocan en el uso de turbo-códigos y en *bit loading* (Guerrini and Veronesi 2011).

Considerando que el interés de la investigación consiste en plantear un modelo empírico, el cual permitirá evaluar el valor de *Throughput* para una estación, en un ambiente de red bajo el uso de tecnología *Homeplug AV*, es importante partir de la expresión matemática que por definición describe éste parámetro: (Vesga F. 2011)

$$Thr = \frac{L_M - L_C}{[T_M + T_{ACC}]}$$

donde,

L_M	Longitud total del mensaje
L_C	Bits de control del mensaje
T_M	Tiempo de transmisión del mensaje
T_{ACC}	Tiempo de acceso al medio

La mayoría de los métodos empleados para la realización de mediciones se caracterizan por hacer muestreos de la conexión entre estaciones, enviando algún patrón de tráfico (voz, video, datos, etc.) para luego efectuar su evaluación. Obviamente estas mediciones se repiten varias veces y luego se promedian para llegar a una aproximación más exacta.

Considerando la situación problemática anteriormente expuesta, el objetivo principal de la presente investigación se enfoca en el desarrollo de un modelo empírico, que permita evaluar el *throughput* de una red LAN operando bajo el estándar *Homeplug AV* para la transmisión de voz sobre el protocolo IP, partiendo de los múltiples resultados obtenidos experimentalmente mediante el uso de adaptadores PLC y equipos VoIP, con base en las configuraciones de la red de acceso y las condiciones de la red de potencia.

2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Tomando como base lo expuesto en la introducción, a continuación se hará una descripción detallada de los principales elementos a tener en cuenta para el desarrollo experimental relacionado con la construcción del modelo de evaluación del *throughput* de la red *Homeplug AV* para tráfico de VoIP.

2.1 Dispositivos y especificaciones

Para el desarrollo experimental de la investigación planteada, se utilizarán dispositivos hardware como los siguientes: PCs, cables, y módems PLC.

- **PCs:** Los equipos utilizados correspondieron a un portátiles marca DELL con tarjeta de red marca Broadcom tipo Ethernet 1 Gbps y sistema operativo Windows 7.
- **Cableado:** El cableado eléctrico ubicado en las instalaciones donde se realizaron los experimentos, está instalado con alambre AWG (*American Wire Gauge* / Calibre de cable americano) número 12 con alimentación a 110 Voltios y operando en frecuencia de 60Hz. Con referencia a los cables UTP, se utilizaron *patch cords* certificados de acuerdo con la norma ANSI/TIA/EIA-568-A y operando en Categoría 5e.
- **Modems PLC:** Para la realización de la totalidad de las pruebas, se emplearon Modems PLC certificados para operar con el estándar *Homeplug AV*. Los módems usados son marca TP-LINK (TP-LINK Industries n.d.) modelo PA-211 (ver Figura 1). Un completo detalle de las especificaciones técnicas de los módems se presentan en la Tabla 1 (TP-LINK Industries n.d.).

2.2 Generador de Tráfico

Con la finalidad de obviar los procesos de generación de tráfico IP (especialmente VoIP) y a fin de reducir los tiempos de medición para cada una de las pruebas realizadas, se utilizó un software de generación de tráfico denominado Generador de Tráfico Distribuido de Internet v2.61 (D-ITG / *Distributed Internet Traffic Generator*) desarrollado en el Departamento de Informática y Sistemática de la Universidad “Federico II” de Italia (Avallone n.d.).

D-ITG es una herramienta de libre distribución (Figura 2), amplia aceptación y muy utilizada para generación y análisis de tráfico en todo tipo de redes de datos, operando sobre diversos medios de transmisión (Botta, Dainotti, and Pescapé 2012). Además incorpora las principales características que debe poseer un generador de tráfico como son:

- Adaptabilidad a redes heterogéneas multidimensionales.
- Manejo de tráfico multimedia (Video, Voz, etc).
- Incorporación de los principales codecs de audio (G711, G723 y G729).
- Soporte de múltiples protocolos (IPv4, IPv6, ICMP, TCP, UDP, SCTP, etc).
- Control distribuido remoto tanto para emisores como para receptores de tráfico.
- Generación de múltiples flujos de tráfico hacia diferentes receptores en la red.
- Configuración de cantidad y tamaño de paquetes emitidos, además de sus correspondientes tiempos de emisión.
- Medición de múltiples métricas de red, asociadas con el rendimiento, como *throughput*, *jitter*, retardos, porcentaje de paquetes perdidos, etc.

2.3 Desarrollo del experimento

Para el desarrollo del experimento se dispone la configuración de una red LAN operando sobre el cableado eléctrico y haciendo uso de adaptadores *Homeplug AV* marca TP-LINK, modelo TL-PA211 (ver Figura 1) en cuyos extremos se conectan los equipos de usuario final (PCs) con cables *ethernet*. Los equipos utilizados se configuran con direcciones de red tipo IP clase C y su esquema de conexión se aprecian en la Figura 3.

De los equipos seleccionados, uno se configura como servidor y los restantes como clientes. Los clientes tienen la función de generar tráfico tipo VoIP (paquetes UDP) en forma aleatoria y en el servidor se realiza la captura y el análisis de los paquetes que circulan por la red *Homeplug AV*. En el equipo servidor se habilita el software D-ITG bajo esquema *Receiver* y los en los equipos clientes se habilita el componente D-ITG bajo esquema *Sender*.

Los parámetros específicos para el desarrollo de las pruebas y la consecuente captura de datos se presentan en la Tabla 2.

Con la finalidad de considerar los codecs más utilizados en plataformas VoIP para redes LAN, se tuvieron en cuenta los codecs G.711, G.723 y G.729 respectivamente. El cuadro resumen con la cantidad de muestras tomadas para cada códec y número de estaciones clientes se presenta en la Tabla 3.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

En múltiples situaciones se presenta el estudio de los efectos de dos o más factores sobre una variable de estudio y por esta razón los diseños factoriales son los más eficientes para éste tipo de experimentos. En un diseño factorial, para cada ensayo del experimento, se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores (Montgomery 2004).

Para el caso de la presente investigación, se determina que existen dos factores a analizar (código VoIP usado y número de estaciones) para la variable de estudio (*throughput*). Por lo tanto, el factor A (Codec) tiene 5 tratamientos, el factor B (Nro. de estaciones) tiene 4 tratamientos (ver Figura 4) y cada réplica contiene todas las combinaciones de las pruebas.

El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor, y con frecuencia se le denomina “efecto principal” por que se refiere a los factores de interés primario en el experimento.

Un diseño factorial de dos (2) factores posee una respuesta (Y) que puede describirse mediante el modelo de efectos dado por la siguiente fórmula (Martinez & Martinez, 1997, p.191):

$$Y_{ijl} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijl}$$
$$i = 1,2,\dots,a; \quad j = 1,2,\dots,b; \quad l = 1,2 \dots n$$

donde,

a= Codec utilizado

b= número de estaciones en la red *Homeplug AV*

n= número de réplicas del experimento

Y_{ijl} = Throughput para un codec (i) con un número de estaciones en la red *Homeplug AV* (b), para la replicación (l).

μ =Media general del *Throughput* independiente de cualquiera de los factores considerados en el experimento.

A_i =Efecto del Codec usado (i)

B_j =Efecto del número de estaciones (j)

$(AB)_{ij}$ =Efecto de la interacción entre los factores Código y número de estaciones

ε_{ijkl} =Error aleatorio

El estudio factorial para dos (2) factores (A,B) permite analizar los efectos A,B,AB; donde el nivel de detalle con el que pueden estudiarse depende del número de niveles usados para cada factor. Para el experimento realizado, se tienen tres (3) efectos de interés con los cuales se plantean tres (3) hipótesis nulas (H_0) y cada una emparejada con una hipótesis alternativa (H_A) (Gutiérrez 2008).

Las hipótesis de interés para los dos (2) factores y sus interacciones son:

$$\begin{array}{ll} H_0: \text{Efecto } A = 0, & H_A: \text{Efecto } A \neq 0 \\ H_0: \text{Efecto } B = 0, & H_A: \text{Efecto } B \neq 0 \\ H_0: \text{Efecto } AB = 0, & H_A: \text{Efecto } AB \neq 0 \end{array}$$

Para casos en los que todos los factores del experimento son fijos, es posible formular y probar hipótesis acerca de los efectos principales y sus interacciones.

Para el caso de modelos de efectos fijos, las pruebas para probar las hipótesis sobre cada efecto principal y sus interacciones se pueden construir dividiendo el cuadrado medio (CM) correspondiente del efecto o la interacción por el CM_E .

Los grados de libertad para cada efecto principal son los niveles del factor menos uno y el número de grados de libertad para una interacción es el producto del número de grados de libertad asociados con los componentes individuales de esta (Moreno 2002).

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

Variable dependiente: *Throughput*

Factores: (A): Codec usado

(B): Número de estaciones en la red

Número de muestras experimentales: 100

En la Tabla 4 se presenta el resultado del análisis de varianza correspondiente al *throughput*.

De acuerdo con la Tabla 4, el efecto cuyo $p - Valor$ sea menor al valor especificado para α , se establece como estadísticamente significativo, lo que equivale a decir que se encuentra activo (Moreno, 2002, p.155). Por lo tanto, se tomarán como estadísticamente significativos los valores cuyo $p - Valor < 0,05$.

El ANOVA permite descomponer la variabilidad del *Throughput* en las contribuciones debidas a varios factores. Debido a que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III (valor por defecto), se ha realizado la medición de cada factor teniendo en cuenta la eliminación del resto de los factores. Los $p - Valor$ determinan la importancia estadística de cada uno de los factores. Considerando que en el análisis de varianza existen tres (3) efectos con $p - Valor$ inferiores a 0,05 (A, B y AB), se destaca que estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo del *Throughput* en un 95 % de confianza para los cuales la hipótesis H_o se rechaza.

4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA EXPERIMENTACIÓN

Por lo general, los resultados obtenidos a partir de un análisis de varianza están relacionados con que los supuestos del modelo se cumplan. Los supuestos del modelo ANOVA son: normalidad, varianza constante e independencia. Esto significa que la respuesta (Y) debe tener una distribución normal, con similar varianza en cada experimento y las mediciones deben ser independientes. Los supuestos sobre (Y), mencionados anteriormente, se aplican sobre el elemento error (ϵ) en los diversos modelos (Gutiérrez, 2008, p.100)

En los siguientes párrafos se presentan los respectivos análisis para cada uno de los supuestos mencionados:

4.1 Supuesto de Varianza Constante

Para verificar el supuesto de varianza constante o el que las pruebas tienen varianza similar, se realiza un gráfico entre los valores estimados y los residuos (\hat{Y}_{ij} versus ε_{ij}).

En la Figura 5 se aprecia que se cumple el supuesto de varianza constante ya que los datos se distribuyen aleatoriamente en la banda horizontal sin ningún patrón claro.

4.2 Supuesto de Normalidad

Un procedimiento usualmente utilizado para verificar el supuesto de normalidad de los residuos, se basa en ubicar los residuos en una gráfica de probabilidad normal.

En la Figura 6, correspondiente a la gráfica de probabilidad normal, se aprecia el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos, ya que estos se encuentran ajustados sobre una recta.

4.3 Supuesto de Independencia

Para comprobar el supuesto de independencia se grafica el orden en que se tomó un dato contra el residuo correspondiente.

En la Figura 7, en donde se presenta la relación entre los valores residuales y el orden en el que fueron ejecutadas las pruebas experimentalmente, se aprecia el cumplimiento del supuesto de independencia ya que los valores residuales se encuentran distribuidos de manera aleatoria sobre la franja horizontal.

5. CONCLUSIONES

El tema considerado en la presente investigación, se constituye en uno de los estudios pioneros acerca del rendimiento de la tecnología *Power Line Communications* usando el estándar *Homeplug AV* en el entorno Colombiano y con base en datos netamente experimentales, sobre escenarios contruidos a partir de la redes de datos de área local, operando en redes eléctricas del entorno empresarial y domiciliario.

El uso de la técnica ANOVA permitió estructurar una función objetivo el parámetro de estudio (*Throughput*). A partir de ello, se analizó el comportamiento de la función con respecto a las contribuciones (efectos) de los factores considerados (Codec utilizado, número de estaciones en la red), tanto de manera individual como de su respectiva interacción.

Con relación al *Throughput*, se encontró que los factores códec utilizado y número de estaciones en la red, así como su interacción, tienen un efecto estadísticamente significativo para un porcentaje equivalente al 95% de confianza, lo cual es coherente con la expresión matemática presentada para la función objetivo planteada.

La evaluación de los resultados obtenidos a partir de la experimentación, para el *Throughput* se realizó mediante la verificación de los supuestos para el modelo ANOVA como son normalidad, varianza constante e independencia. Con respecto al supuesto de varianza constante, en las gráficas de valores estimados versus residuos (\hat{Y}_{ij} vs. ε_{ij}), se cumplió con el argumento de que las pruebas

realizadas tienen varianza similar ya que los datos se distribuyeron aleatoriamente en la banda horizontal sin reflejar un patrón claro.

Para verificar el supuesto de normalidad, se ubicaron los valores residuales del *throughput* de cada muestra en una gráfica de probabilidad normal y se encontró que al dibujar los residuos en cada gráfica, estos siguieron una agrupación muy similar a una línea recta, con lo cual se comprobó la validez del supuesto.

La evaluación del modelo empírico con base en el supuesto de independencia para el *throughput* se realizó mediante los gráficos de los valores residuales versus el orden de ejecución de cada prueba. Debido a que en la totalidad de las gráficas se encontró una distribución aleatoria de los puntos en la franja horizontal, se consideró el cumplimiento del supuesto de independencia para el modelo.

BIBLIOGRAFÍA

Anatory, J. & Theethayi, N. 2010. *Broadband Power-Line Communication Systems: Theory and Applications*. 1a ed. Southampton, England: WIT Press.

Avallone, S.; Pescapé A. “D-ITG Distributed Internet Traffic Generator.” <http://traffic.comics.unina.it/software/ITG/> (November 2, 2013).

Botta, Alessio, Alberto Dainotti, and Antonio Pescapé. 2012. “A Tool for the Generation of Realistic Network Workload for Emerging Networking Scenarios.” *Computer Networks* 56(15): 3531–47. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128612000928> (November 18, 2013).

Guerrini, E, and D Veronesi. 2011. “Bit Loading Algorithm Based on a Probabilistic Approach for HomePlug AV.” In *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE*, 1–6.

Gutiérrez, Humberto. 2008. *Análisis y Diseño de Experimentos*. 1a ed. Mexico D.F., Mexico: McGraw Hill.

Martinez, Ricardo, and Nhora Martinez. 1997. *Diseño de Experimentos. Análisis de Datos Estándar y No Estándar*. 1 ed. ed. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.

Montgomery, Douglas. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos*. 2a ed. Mexico D.F., Mexico: Limusa Wiley.

Moreno, Wilfrido. 2002. *Aplicaciones Al Diseño y Análisis de Experimentos*. ed. Ediciones UIS. Bucaramanga.

TP-LINK Industries. “TP-LINK.” <http://www.tp-link.com/en/products/details/?model=TL-PA211#spec> (October 15, 2013).

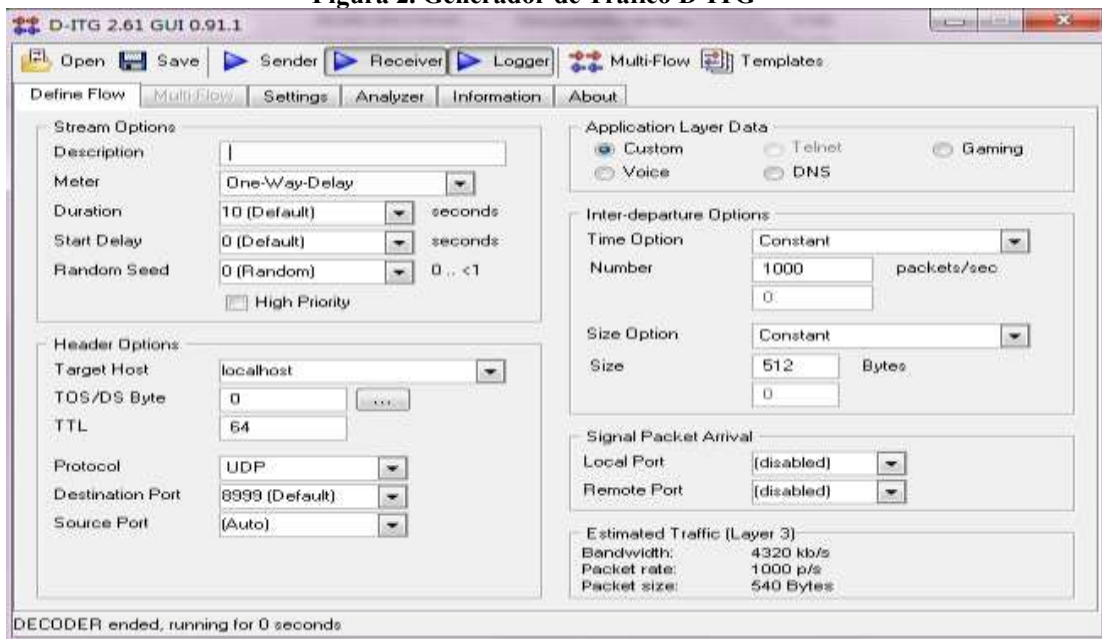
Vesga F., Juan Carlos. 2011. “Análisis Simple Del Estándar HomePlug 1.0 Aplicado a La Transmisión de Información Utilizando La Red Eléctrica Como Medio Físico de Transmisión.” *Generación Digital* 9(16).

Figura 1. Modem Homeplug AV marca TP-LINK modelo TL-PA211



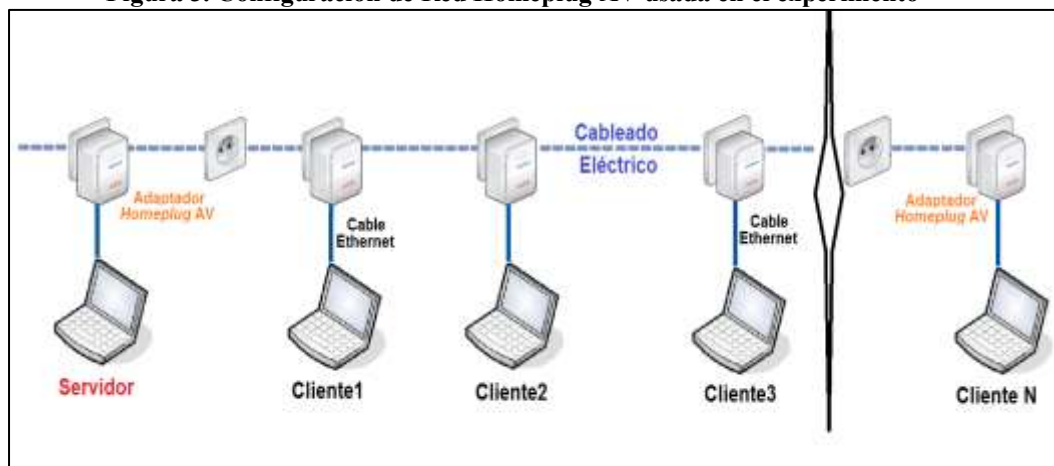
Fuente: <http://www.tp-link.com/co>

Figura 2. Generador de Tráfico D-ITG



Fuente: Autor

Figura 3. Configuración de Red Homeplug AV usada en el experimento



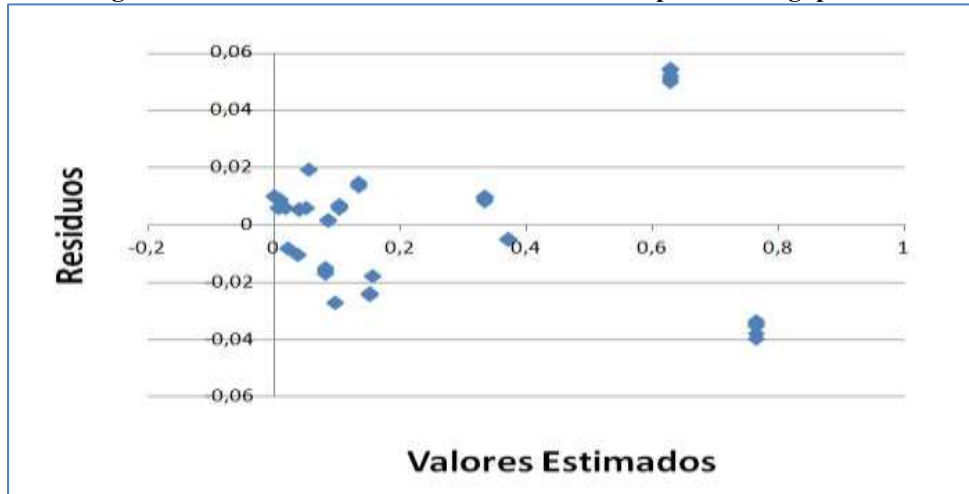
Fuente: Autor

Figura 4. Factores y Tratamientos de prueba

Factor A: Codec usado		Factor B: Número de Estaciones	
Tratamiento 1	G711 (1 muestra x paquete)	Tratamiento 1	1 PC
Tratamiento 2	G711 (2 muestras x paquete)	Tratamiento 2	2 PCs
Tratamiento 3	G723.1	Tratamiento 3	5 PCs
Tratamiento 4	G729 (2 muestras x paquete)	Tratamiento 4	10 PCs
Tratamiento 5	G729 (3 muestras x paquete)		

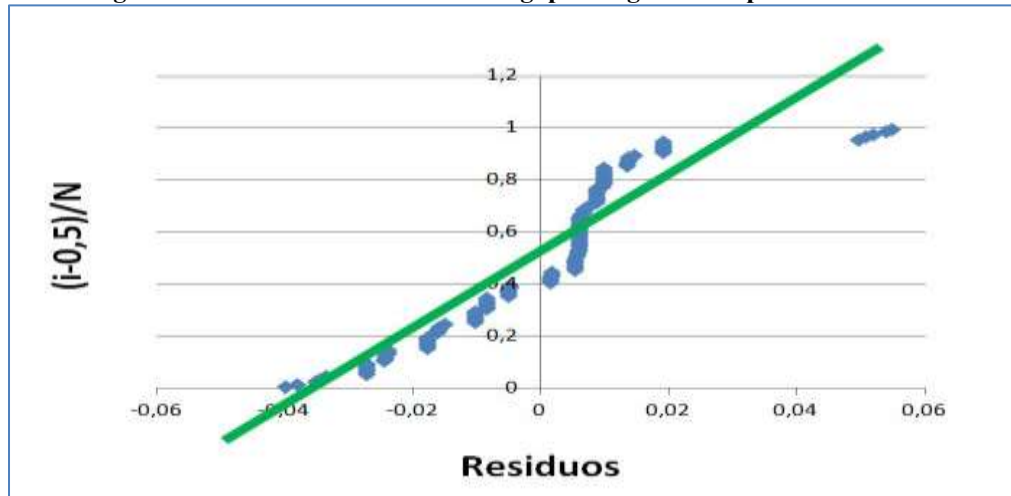
Fuente: Autor

Figura 5. Valores residuales vs Valores estimados para Throughput



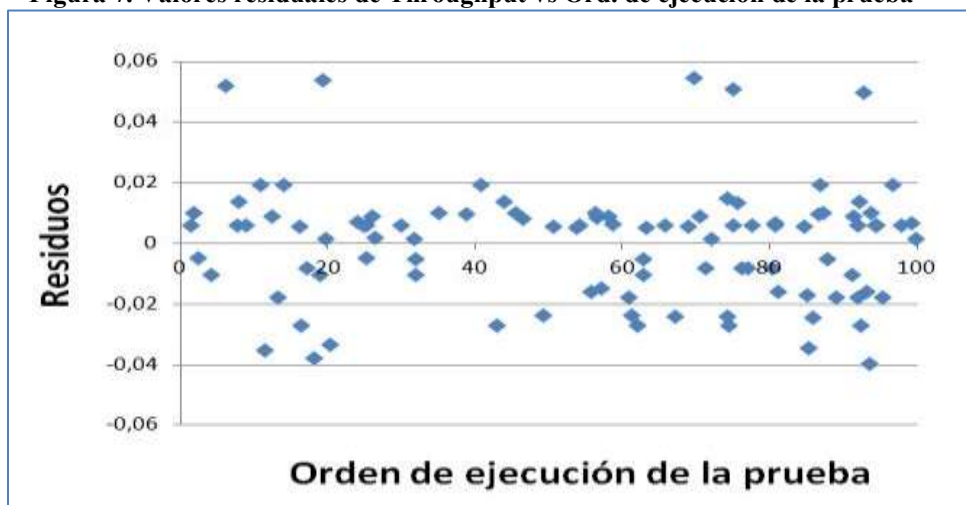
Fuente: Autor

Figura 6. Valores residuales de Throughput en gráfica de probabilidad



Fuente: Autor

Figura 7. Valores residuales de Throughput vs Ord. de ejecución de la prueba



Fuente: Autor

Tabla 1. Especificaciones técnicas del modem TP-LINK modelo TL-PA211

Característica	Detalle
Estándares y protocolos	HomePlug AV, IEEE802.3, IEEE802.3u
Interfaces	Puerto Ethernet a 10/100/1000 Mbps
Tipo de Enchufe	Unión Europea, Estados Unidos, Reino Unido, Australia
Botones	Botón de emparejamiento
Peso	103 Gramos
Indicador LED	PWR, PLC, ETH
Dimensiones (W X D X H)	3,6 x 2,2 x 1,2 pulgadas (93×56×30 mm)
Consumo de Potencia	< 3 W
Alcance	300 metros dentro de la casa/oficina
Tecnología de modulación	OFDM
Funciones Avanzadas	Función QoS (Calidad del Servicio), Selección inteligente de canal
Encriptación	Encriptación AES de 128 bits

Fuente: <http://www.tp-link.com/co>

Tabla 2. Parámetros para el desarrollo de las pruebas

Característica	Detalle
Adaptadores Usados	Homeplug AV marca TP-LINK modelo TL-PA211
Equipos servidor y clientes	Portátiles con tarjeta de red tipo Ethernet de 1 Gbps.
Cables Ethernet	Tipo UTP Categoría 5e
Tiempo de duración x Toma de datos	30 segundos
Cantidad de paquetes x Toma de datos	1000 paquetes
Direccionamiento usado en las estaciones	IP clase C
Tipo de paquetes generados	Paquetes VoIP para codecs G.711 (1 sample), G.711 (2 samples), G.723, G.729 (2 samples) y G.729 (3 samples).
Tamaño de paquete	Establecido por el Codec utilizado.

Cantidad de clientes x Toma de datos	1, 2, 5 y 10 estaciones
--------------------------------------	-------------------------

Fuente: Autor

Tabla 3. Muestras tomadas por Codec VoIP y cantidad de estaciones

Estaciones	G711 1 muestra x paquete	G711 2 muestras x paquete	G723.1	G729 2 muestras x paquete	G729 3 muestras x paquete
1	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras
2	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras
5	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras
10	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras	5 muestras

Fuente: Autor

Tabla 4. ANOVA completo para Throughput

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SC)	Gr. Lib	Cuadrado Medio (CM)	Cociente-F (Fo)	p-Valor
A: Códec	1,747249921	4	0,4368124802	669097,2272251370	<0,0001
B: Nro. de estaciones	1,458085884	3	0,4860286281	744485,1558449640	<0,0001
Interacción AxB	1,044965334	12	0,0870804445	133387,4067181610	<0,0001
Error	0,0000522310	80	0,0000006528		
TOTAL	4,25035337	99			

Fuente: Autor