

## **Análisis del cableado eléctrico como medio de transmisión para la implementación de redes de datos y soluciones domóticas e inmóticas.<sup>1</sup>**

Analysis of electrical wiring as a transmission medium for the implementation of data networks and home automation and building automation solutions.

Ariel Yezid Villarreal Solano<sup>2</sup>, Lizeth Dayane Cortés Hernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidades Tecnológicas de Santander, Sede principal Bucaramanga, Colombia.

Artículo recibido en mes XX de año; artículo aceptado en mes XX de año

---

### **RESUMEN**

Al evaluar una red de transmisión de información se debe tener en cuenta su rendimiento y fiabilidad. El presente artículo es basado en un trabajo de investigación que analiza el rendimiento y la fiabilidad de la transmisión de información sobre la red eléctrica en los laboratorios del programa de Ingeniería Electrónica de las Unidades tecnológicas de

---

<sup>1</sup> Artículo de investigación cuantitativo resultado de un proyecto de investigación terminado, perteneciente al área de Ingenierías, sub área de telecomunicaciones, desarrollado en el grupo de investigación CEAC y con la colaboración de las Unidades Tecnológicas de Santander de la ciudad de Bucaramanga (Colombia). Calle de los Estudiantes # 9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX (+57) 7 6917700. Fecha de inicio: Junio de 2015, fecha de terminación: Junio de 2016.

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico, Universidad Industrial de Santander. Magister en Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Industrial de Santander. Docente- investigador del grupo: CEAC. Unidades Tecnológicas de Santander de la ciudad de Bucaramanga (Colombia). Calle de los Estudiantes # 9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX (+57) 7 6917700. Correo electrónico institucional: avillarreal@correo.uts.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniera Electrónica, Unidades tecnológicas de Santander. Docente- investigador del grupo: CEAC. Unidades Tecnológicas de Santander de la ciudad de Bucaramanga (Colombia). Calle de los Estudiantes # 9-82 Ciudadela Real de Minas, PBX (+57) 7 6917700. Correo electrónico: lizethdayan@hotmail.com.

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

Santander, utilizando tecnologías analógicas con X.10 y tecnologías digitales bajo el estándar P1901.

Palabras clave: banda ancha, red de datos, transmisión de datos, red eléctrica, rendimiento.

### **ABSTRACT**

When evaluating a transmission network information must take into account their performance and reliability. This article is based on a research paper that analyzes the performance and reliability of the transmission of information on the electricity grid in the laboratories of the program Electronics Engineering Technology unit of Santander, using analog technology with X.10 and technologies digital under the standard P1901.

Keywords: broadband, data network, data transmission, powerline, performance.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las redes domóticas e inmóticas se pueden construir mediante muchas tecnologías, una opción es la comunicación a través de la red eléctrica.

Inicialmente se dan a conocer aspectos generales al tema de la transmisión de información a través de la red eléctrica. Después se presenta una metodología de trabajo para la medición de parámetros que permitan analizar el rendimiento y la fiabilidad de una transmisión sobre la red eléctrica un edificio, como ambiente de prueba se utiliza la red eléctrica de los laboratorios del programa de Ingeniería electrónica de las Unidades tecnológicas de Santander.

Al final se pretende saber si es posible la implementación de soluciones domóticas e inmóticas mediante el uso del cableado eléctrico como medio de transmisión sobre edificaciones locales, como punto de referencia se tomaron los laboratorios del programa de Ingeniería electrónica de las Unidades tecnológicas de Santander

## **2. TECNOLOGÍA PLC.**

PLC (Power Line Communication)[1] es una tecnología que utiliza la red eléctrica como medio de transmisión de datos. Ella utiliza el ancho de banda disponible del cableado eléctrico para la transmisión de datos. El tendido eléctrico está constituido por pares de cobre que permiten guiar señales eléctricas de hasta 300000 Hz [2]. Este dato puede variar dependiendo de la calidad y el calibre del cobre usado como conductor. En el caso colombiano solo es utilizado para transmitir 110 Voltios a una frecuencia de 60Hz.

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

Los primeros proyectos en PLC fueron desarrollados para la transmisión de banda angosta entre los años 1976 a 1978, en Glenrothes Escocia, por los ingenieros de Pico Electronics Ltda. y la empresa de sistemas de audio BSR[3]. El propósito era controlar un dispositivo electrónico de forma remota.

Como resultados de sus estudios y experimentación nació en 1978 el protocolo X-10 que se convirtió en un estándar internacional para transmisión de señales de control. Las señales de control de X10 se basan en la transmisión de ráfagas de pulsos de radiofrecuencia inferiores a 150KHz [3] que representan información digital utilizada esencialmente en la domótica para permitir el control remoto de dispositivos domésticos.

A partir de estos trabajos pioneros se empezó a experimentar en banda ancha y así en diciembre de 2010 la IEEE propone y aprueba el estándar P1901 (Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications) [4]. Esto establece las normas para transmisiones de datos con velocidades mayores a 100 Mbps por líneas eléctricas de potencia. El P1901 define la tecnología BPL (Broadband Power Line), y así actualmente se utilizan estas siglas (BPL) para referirse al PLC de banda ancha.

Este estándar se enfoca en [4]:

- El uso eficiente del canal de comunicaciones.
- Mecanismos de calidad de servicio y de ancho de banda.
- Mecanismos de seguridad.

**Interoperabilidad.** Uno de los principales logros del P1901 es que permite ser utilizado para toda clase de dispositivos BPL. Para lograr esto, se especifican los mecanismos para la coexistencia e interoperabilidad entre dispositivos BPLs. Así, el P1901 permite la interconexión de dispositivos tan variados como [4]:

- de primera milla
- de última milla (menor a 1500 m)
- para instalación en redes LAN en edificios con distancias cortas entre dispositivos (menores a 100 m).

**Modulación.** El estándar define cómo modular las señales en la capa física y la organización de tramas de la capa enlace de datos (MAC) del modelo de referencia OSI. En cuanto a la modulación, se define el uso de frecuencias de transmisión menores a 100 MHz. El equipo encargado de modular y demodular las señales para ser transportadas por la red eléctrica recibe el nombre de modem PLC.

**Módems PLC.** Uno de los principales problemas de la transmisión de datos por potencia es el alto y grave riesgo de averías causadas al ser conectados directamente a la toma de 110v,

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

razón por la cual se implementan filtros pasa altos configurados frecuencias superiores a los 60Hz como medida de precaución.

Durante el trayecto de la red eléctrica, la señal de datos puede tener atenuaciones por lo cual se requiere el uso de repetidores PLC que se encargan de repotenciar la señal

En la figura 1 se esquematiza los componentes básicos de una red PLC.

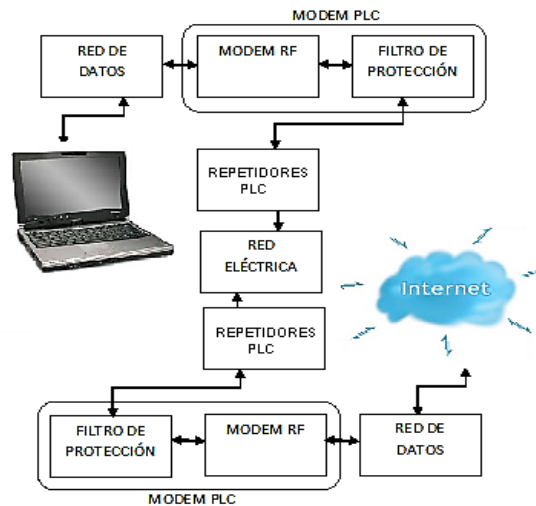


Figura 1. Acople entre equipos de redes con la red eléctrica mediante la tecnología PLC

Fuente: Autor

Las atenuaciones se presentan en muchos casos por la impedancia del cableado eléctrico, pueden existir pérdidas de paquetes de información provocado por ruido eléctrico y pueden presentarse pérdida total de conexión ante la presencia de dispositivos intermedios en la red como lo son generalmente los transformadores, que por efectos inductivos, se comportan como un filtro pasa bajas eliminado de esta manera las señales portadoras de datos.

### 3. ASPECTOS TÉCNICOS PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE LA RED ELÉCTRICA EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN.

**3.2. Medición del ruido en una línea de potencia eléctrica.** Para la medición del ruido se utiliza un analizador de espectros en la zona implicada.

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

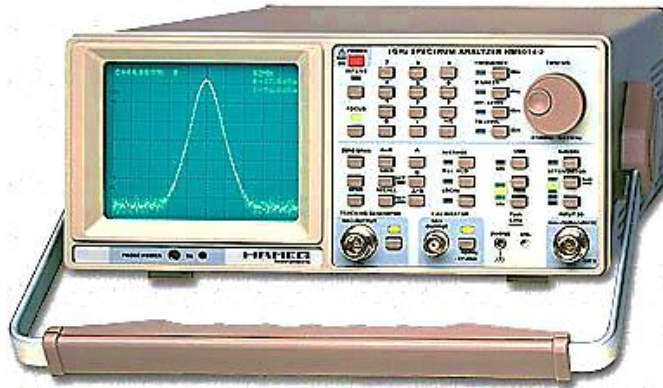


Figura 3. Analizador de espectros

Fuente: <http://www.sky-messtechnik.de/html/gebrauchtgerate.htm>

**3.1 Medición de impedancia.** Si se mide el comportamiento del voltaje y la corriente en este sistema haciendo un barrido en frecuencia podemos encontrar el valor de la impedancia (Z) de la red.[3]

$$Z = R + j\omega L = V(t)/I(t) \quad (1)$$

Se analiza la parte real se debe tener en cuenta la ecuación básica de la ley de ohm.

$$R = V/I \quad (2)$$

Donde remplazaremos puntualmente V por la diferencia de tensión entre una señal puesta por un generador de señales en un punto de inicio de transmisión y por el valor medido a una distancia determinada, la I será remplazada por el valor de corriente de la señal en el punto medido.

$$R(\text{red eléctrica}) = (V(\text{generador}) - V(\text{medido})) / I(\text{medida}) \quad (3)$$

Este proceso se debe realizar varias veces para diferentes frecuencias y diferentes distancias hasta conseguir como resultado de dichas tablas un diagrama de bode que me caracterice la respuesta en frecuencia de la red [4].

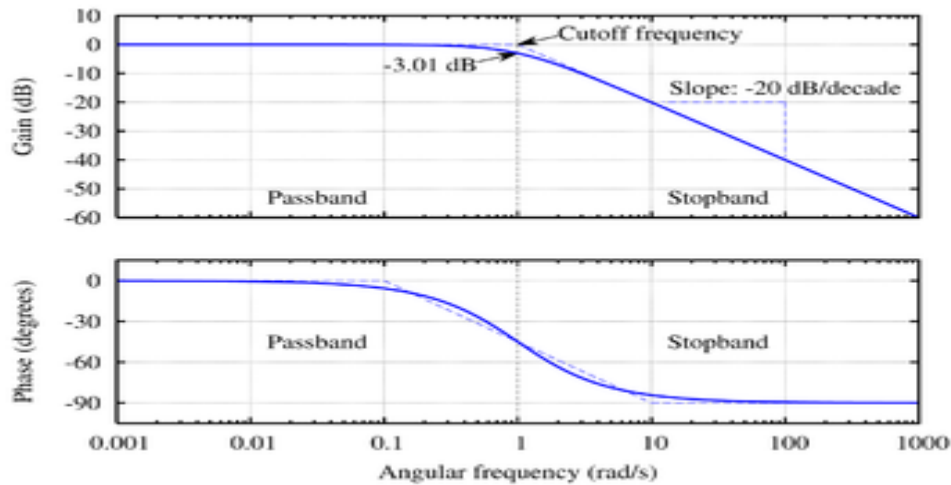


Figura 2. Diagrama de Bode

Fuente: autor

#### 4. ASPECTOS TÉCNICOS PARA EL ANÁLISIS DE UNA RED ELÉCTRICA PARA TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA

Para el análisis del rendimiento de una transmisión de datos se requiere tener claros conceptos como la capacidad de ancho de banda de un canal y la tasa de transferencia efectiva.

**4.1. Capacidad de Ancho de banda.** En electrónica, el ancho de banda representa el tamaño de una banda de frecuencia (frecuencia máxima – frecuencia mínima) con unidades de medida en Hz. El término fue adaptado en el área de las redes y comunicaciones para medir la capacidad máxima de transferencia de datos o bits que pueden viajar por un medio físico (cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, aire, entre otros.) de tal forma que entre mayor sea el ancho de banda más rápido se obtendrá la información de esta manera se tiene mayor posibilidad de transmisión de datos en un mismo periodo de tiempo. Esta medida es limitada por la capacidad de transferencia de los dispositivos de red. Las unidades para este tipo de parámetro están dadas en bits por segundo (bps) [5].

**4.2. Tasa de transferencia efectiva.** Si bien es cierto el ancho de banda representa la capacidad máxima de transferencia, esto no significa que siempre se mantenga dicha

velocidad. Los datos pueden presentar latencias dependiendo del tráfico de información que fluye por el medio de transmisión. La tasa de transferencia efectiva representa el ancho de banda real medido en un momento concreto normalmente es inferior a la capacidad del ancho de banda debido a varios aspectos como:

- Calidad de los dispositivos de red
- Tipos de datos que se van a transferir
- Topología de la red
- Número de usuarios en la red
- Equipos finales
- Tipos de servidores
- Condiciones de la energía
- Congestión
- Ruidos e impedancias en el medio de transmisión.

La tasa de transferencia efectiva trabaja con las mismas unidades que el ancho de banda (bits por segundo) o bytes por segundo [5] [6].

**4.3. Medición de capacidad de ancho de banda y tasa de transferencia efectiva.** Para tomar estas medidas se requiere implementar el enlace de datos dentro del edificio A de las Unidades tecnológicas de Santander, específicamente en la zona de los laboratorios del programa de Ingeniería Electrónica siguiendo el esquema mostrado en la figura 2; después se realiza la instalación de las herramientas de desempeño; en seguida, se ejecutan las rutinas de mediciones y por último, se analizan los resultados obtenidos. Con los anteriores pasos se realiza la evaluación del enlace de datos [7].

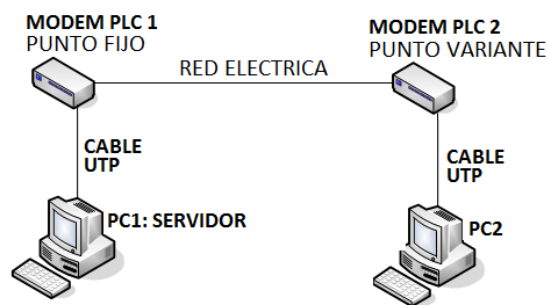


Figura 2. Esquema de implementación de un enlace de datos en las UTS  
Fuente: Autor

Se implementó una red con una transferencia de datos esperada de 100Mbps, velocidad que será punto de referencia para el análisis de rendimiento. Los módems PLC Utilizados cumplen con el estándar P1901 y permiten según sus especificaciones velocidades de

I+D Revista de Investigaciones ISSN 22561676 Volumen 1 Número 1 Año 01 Enero-Junio 2013 pp.xx-xx

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

transmisión superiores a los 100Mbps (específicamente 500Mbps<sup>4</sup> y 1Gbps<sup>5</sup>), los equipos de cómputo usados poseen una tarjeta de red que trabajan a 100Mbps los cuales marcaran el punto de referencia esperado, el cable UTP usado fue categoría 5E de longitud no mayor a un metro, y la red eléctrica sobre la que se hicieron las pruebas fue la del edificio A de las UTS

El estándar P1901 recomienda distancias inferiores a 100 metros, teniendo en cuenta esto, se escogió un punto fijo y cuatro puntos variantes, uno a aproximadamente a 10 metros, a 20 metros, a 50 metros y finalmente otro a 70 metros de distancia en cableado eléctrico.

Como herramienta de medición de desempeño, se implementó IPERF el cual entrega como resultado la tasa de transferencia promedio efectiva. La herramienta es configurada de tal forma que requiera un equipo en un punto fijo que actuará como servidor y otro equipo a la distancia sobre la cual se desea tomar los datos, ambos con IPs fijas. Para agilizar la toma de datos se realiza un script de comandos y de esta manera automatizar el proceso. Se configuran tramas de 64Kbps el cual es un tamaño sobre el cual se observan mejores resultados.

Se realizan medidas en los horarios de 9 de la mañana, a mediodía y a las 7 de la noche durante los 5 días hábiles de la semana por 2 semanas. Cada medida tomará muestras de información cada segundo durante un tiempo de 60 segundos y arrojará un resultado promedio.

Al final se analizan los resultados obtenidos mediante promedios y gráficas resultantes que comparan los parámetros de red para diferentes horarios y diferentes días.

## 5. MEDICIONES Y RESULTADOS

**5.1. Medición de ruido sobre la red eléctrica.** Se seleccionaron diferentes horas de un día laboral (mañana, tarde y noche) para detectar los diferentes ruidos en la red eléctrica durante el transcurrir de una jornada de trabajo en los laboratorios de las Unidades tecnológicas de Santander.

Con esto se pretende caracterizar el ruido dentro de las categorías mencionadas anteriormente y de esta manera saber si afectará las frecuencias a la cuales se pretende transmitir los datos sobre la red eléctrica.

---

<sup>4</sup> Modems PLC TPL – 401E de TRENDnet

<sup>5</sup> Modem PLC Gigabit Powerline HD de BELKIN



ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

Los resultados obtenidos durante la etapa de medición son tabulados para su respectivo análisis:

Los siguientes gráficos son resultado de la información tabulada adquirida de la red eléctrica de los laboratorios de las UTS

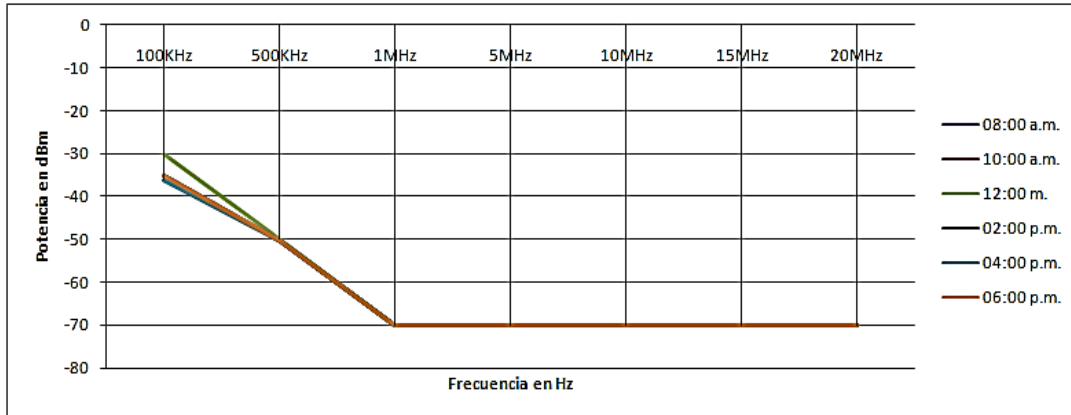


Figura 4. Grafica resultado de las Medidas sobre la red eléctrica de los laboratorios de Electrónica UTS

Se observa un común denominador y es el alto nivel de ruido para frecuencias inferiores a 1MHz. Entre 1MHz y 30MHz se encuentra niveles de ruido despreciables brindando muy buenas esperanzas de éxito en el uso de módems PLC

**5.2. Medición de ruido sobre la red eléctrica.** Para la medición de la impedancia se inyecta la señal en un punto denominado punto de transmisión y su ubica el receptor a diferentes distancias. Del experimento se toman los siguientes resultados:

Cálculo de la impedancia de la red eléctrica de los laboratorios de Electrónica UTS					
FREC.	VOLTAJE APLICADO [Vpico]	POTENCIA [dBm]	POTENCIA [W]	CORRIENTE CALCULADA [A]	IMPEDANCIA CALCULADA ( $\Omega$ )
100KHz	1,0	NA	NA	NA	NA
500KHz	1,0	NA	NA	NA	NA
1MHz	1,0	-40	0,1	0,1	10
5MHz	1,2	-40	0,1	0,08333333	14,4
10MHz	1,3	-40	0,1	0,07692307	16,9
15MHz	1,3	-40	0,1	0,07692307	16,9
20MHz	1,4	-40	0,1	0,07142851	19,6

Los valores son muy inferiores a  $1K\Omega$  son realmente pequeños por lo cual se puede garantizar que las pérdidas provocadas por las impedancias serán prácticamente improbables.

**5.2. Medición de anchos de banda y tasas de transferencia.** Se tomaron mediciones a 10, 20, 50 y 70 metros de distancia a diferentes horas durante diferentes días. A continuación, se muestran los promedios resultantes de mediciones hechas a 10 metros y a 70 metros físicos de distancia entre módems PLC.

Promediando los resultados de dos semanas seguidas para sacar un solo valor por cada día hábil de la semana se obtienen los siguientes gráficos para una distancia aproximada de 10 metros de distancia entre módems PLC

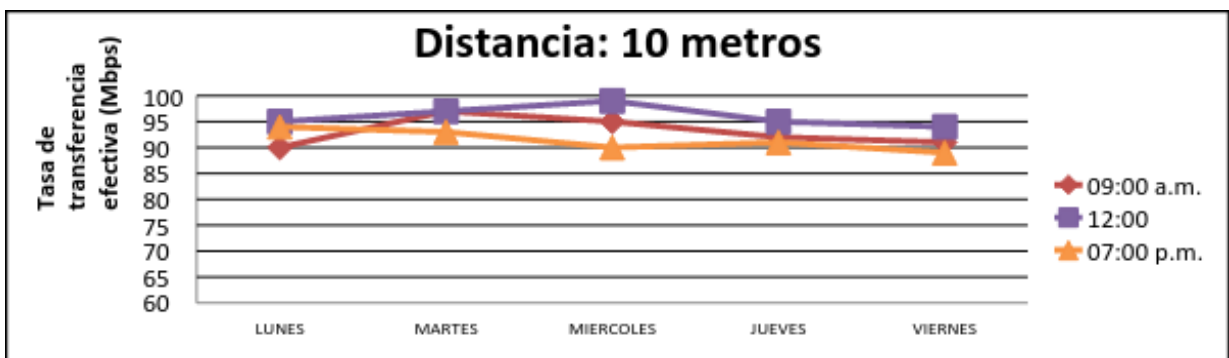


Figura 3. Toma de datos a 15 metros  
Fuente: Autor

Promediando los resultados de dos semanas seguidas para sacar un solo valor por cada día hábil de la semana se obtienen los siguientes gráficos para una distancia aproximada de 70 metros de distancia entre módems PLC

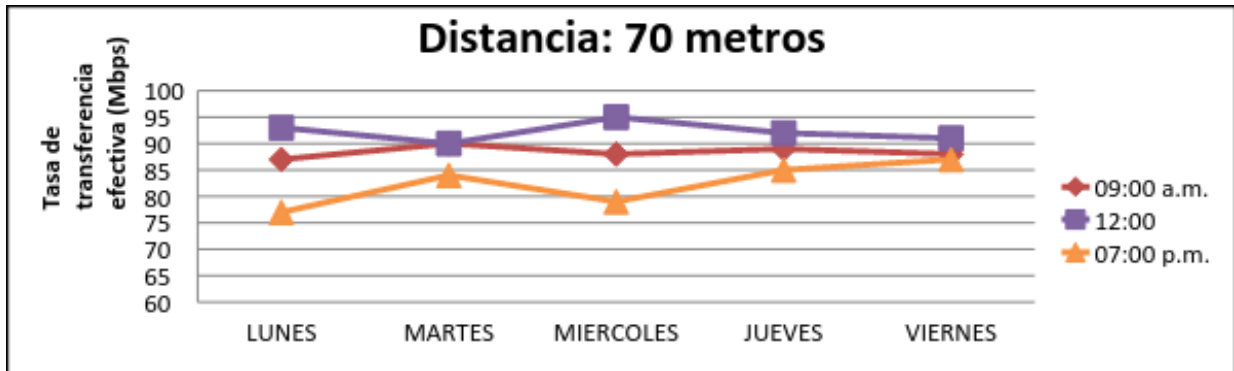


Figura 3. Toma de datos a 30 metros  
Fuente: Autor

La capacidad de ancho de banda esperada es de 100Mbps debido a las tarjetas de red utilizadas en los equipos en el peor de los casos sucede el lunes a la distancia de 70 metros con una tasa de transferencia igual a los 75Mbps la cual representa con una caída en rendimiento del 25%

El horario de las 7 de la noche es el que normalmente presenta menor tasa de transferencia, se puede explicar debido a que es una hora donde la energía eléctrica es más utilizada

Se escogieron puntos de conexión directos, ya que el usar extensiones o regletas hace reducir notablemente las tasas de transferencias.

Al medio día se encuentran las tasas de transferencias más altas debido a que el uso de equipos eléctricos en el edificio A de las UTS es bajo.

## 6. CONCLUSIONES

Si existe ancho de banda entre 1 Mhz y 30Mhz en las red eléctrica de los laboratorios de las UTS para la implementación de soluciones domóticas e inmóticas.

Demostrar el funcionamiento de esta tecnología en un ambiente de alta contaminación eléctrica abre grandes posibilidades para edificios domiciliarios y más aún en casos donde se dificulten las redes inalámbricas.

La metodología se utilizó en los laboratorios de electrónica de las UTS. Para este caso se determinó que el ancho de banda soportado por la red eléctrica para distancias inferiores a

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

80 metros, es suficiente para la implementación del servicio de Internet, el cual, en el contexto actual, posee anchos de banda reales inferiores a los 20Mbps.

Los ruidos eléctricos existentes en el edificio, producidos por equipos de cómputo, luz fluorescente, laboratorios de comunicaciones, de redes, de máquinas y sistemas de control no impiden el buen funcionamiento de una red PLC bajo el estándar P1901.

El funcionamiento y rendimiento real de una red de información analógica tiene un alto potencial según se demuestra en la medida del ruido eléctrico, todo depende de una buena implementación de módems PLC, es decir, que implementen un filtrado de señal adecuado.

Con este estudio se puede afirmar que si es posible realizar una buena transmisión de datos en banda ancha utilizando equipos bajo el estándar P1901

## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] CARCELLE, Xavier. Power Line Communications In Practice. Editorial : Artech House. 2009

[2] CENELEC EN 50065-1:2001 "Signaling on low voltage electrical installations in the frequency range 3kHz to 148.5kHz", Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances.

[3] ETSI. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);EMC network standards;Part 3: Wire-line telecommunications networks using power lines [Endorsed CENELEC pr50529-3: 2008]

[4] IEEE Communications Society. IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. . IEEE Std 1901™- 2010

[5] PINZON BARRIOS, S., “Predicción de la tasa de Throughput en una red inalámbrica (WLAN 802.11b)”, Tesis de Maestría en Ingeniería Área Electrónica, Colombia 2005.

[6] M.J. Álvarez, A. P. Flórez, and Y. A. Rodríguez, “Diseño e implementación de una metodología para la evaluación de una red inalámbrica (WLAN 802.11b).” Proyecto de pregrado de la universidad Industrial de Santander, 2004.

I+D Revista de Investigaciones ISSN 22561676 Volumen 1 Número 1 Año 01 Enero-Junio 2013 pp.xx-xx

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO, LIZETH DAYANE CORTÉS HERNÁNDEZ  
Análisis de redes de área local basadas en la transmisión de datos sobre las líneas de potencia eléctrica

[7] VELAZCO C Daniel A., Gualdrón Oscar y Rugeles José, “Evaluación De Desempeño De Un Enlace De Datos Empleando Cable Internet Access”, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 - Número 15 - Año 2010