

Ruido en un canal de comunicaciones a través de líneas eléctricas de potencia -PLC -

Pablo Emilio Rozo García¹
Johann Hernandez²
Sandro Bolaños³

Resumen

La comunicación por líneas de potencia -PLC (Power Line Communication) es una de las tecnologías que ha permitido evolucionar la comunicación de datos. Sin embargo, debido a los diversos tipos de ruido que se manejan en este canal, no ha alcanzado un amplio auge comparado con otras tecnologías como las comunicaciones por fibra óptica o inalámbrica. Si bien se ha mitigado en alguna medida el ruido de fondo, de banda estrecha y el impulsivo, hay un tipo de ruido impulsivo - aperiódico - que aún no se ha logrado mitigar, al punto que es el causante de las caídas de las comunicaciones haciendo que esta tecnología no sea la más atractiva para los usuarios. En este artículo se realiza una revisión sobre el ruido presente en el canal de comunicación por líneas de potencia, haciendo mayor énfasis sobre el ruido aperiódico, debido a que es el que más dificultades tiene para su detección y caracterización, dado que su presencia es muy aleatoria y fuertemente ligada a conmutación de cargas de tipo lineal y no lineal sobre la red eléctrica, y por esta misma razón, hasta el momento no se ha establecido una estrategia lo suficientemente satisfactoria que permita su mitigación. Este documento es un aporte para que futuros trabajos planteen estrategias para detectar, caracterizar, modelar y plantear un proceso para mitigar el ruido aperiódico.

Palabras claves: ruido, detección, caracterización, modelación, mitigación.

¹ perozog@udistrital.edu.co

² johann.hernandez@udistrital.edu.co

³ sbolano@udistrital.edu.co

Introducción

La comunicación por líneas eléctricas es una tecnología antigua en el contexto mundial para la transmisión de datos. Las mismas empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica la han utilizado en procesos de medición y control de carga, dado que la comunicación se realiza a través de un conductor eléctrico que está regulada por la FCC/CENELEC ARIB y comités en EE.UU. /Japón y la UE (ver figura 1 y cuadro adjunto) y el estándar IEEE 1901.2 y ITU-T G.hnem para las Smart Grid.

Las comunicaciones por Líneas eléctricas han ganado su espacio al punto que cada vez hay más regulación hacia las mismas, se ofrecen servicios IP y transmisión de datos de alta velocidad, siendo el protocolo X-10 el estándar internacional para sus comunicaciones.

El inconveniente de este tipo de redes de comunicación está en el ruido presente en el canal, donde no solo están los propios por su naturaleza, sino que están los generados por condiciones exógenas al medio. Estos ruidos están clasificados en ruido de fondo, de banda estrecha y ruido impulsivo, donde el aperiódico es el más problemático.

Son diversas las investigaciones que se han realizado sobre el ruido impulsivo aperiódico, logrando determinar mecanismos para evitar la atenuación de la señal mediante correlaciones, reducir los niveles de S/N mediante repeticiones automáticas, mejorando las técnicas de modulación mediante OFDM, usando técnicas de recorte y equalización con IFFT, etc.[1,2,3]

Finalmente, como el problema no se ha podido mitigar totalmente, se sugiere un metamodelo como un marco de referencia basado en el paradigma del proceso, que permita mitigar el ruido impulsivo aperiódico y así mejorar la confiabilidad de este sistema de comunicación.

Tecnología PLC (Power Line Communication)

La tecnología PLC es un conjunto de elementos y sistemas de transmisión que, basándose en una infraestructura de transporte y distribución eléctrica clásica, permite ofrecer a los clientes servicios clásicos de un operador de telecomunicaciones.

Esta tecnología puede alcanzar velocidades entre 1 y 1.5 Mbps por usuario particular, motivo por el cual se pueden ofrecer servicios IP y transmisión de datos de alta velocidad. [4]

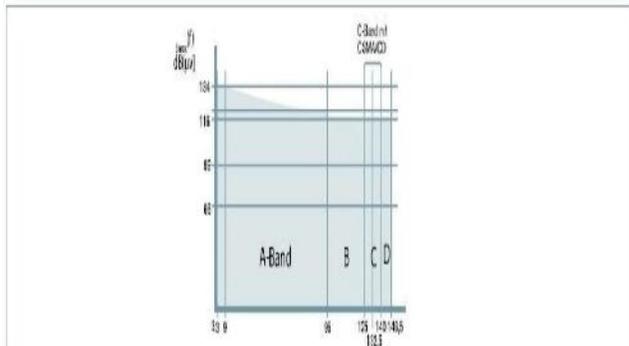
Lo requerido para lograrlo es acondicionar las infraestructuras eléctricas para que puedan transmitir los dos tipos de señal simultáneamente: por una parte, las de baja frecuencia (50 o 60 Hz) para la transmisión de energía y las de alta frecuencia (banda de 1 MHz) para la transmisión de datos [5,6], circulando ambas a través del hilo de cobre [7]. La red adaptada se denomina High Frequency Conditioned Power Network, HFCPN, permitiendo transmitir simultáneamente energía e información.

El protocolo de red IP se utiliza en las tres partes en que se compone la red eléctrica (tramos de baja, de media y de alta tensión), sin embargo, se utiliza con mayor interés en el tramo de baja tensión (o lo que en la red de telefonía se conoce como última milla [9]). En este Tramo se observa mayor utilidad para el usuario pues aquí se conectan las viviendas con las subestaciones transformadoras.

Las líneas de potencia son el medio más usado en los enlaces de las señales de onda portadora para los servicios de comunicación en plantas de generación y subestaciones de transformación y distribución.

Estas líneas ofrecen un mejor aislamiento y mayor fortaleza mecánica, así como también presentan bajos niveles de daño por condiciones atmosféricas. Por otra parte, corrientes de alta frecuencia deben ser enviadas por líneas de alta tensión a través de sistemas de acople, para evitar daños en equipos de transmisión y recepción, al igual que al personal técnico.

De igual manera, la frecuencia de transmisión ha de jugar un papel importante para aplicaciones tipo streaming (audio y video), de tal forma que para realizar multicast, PLC sería un excelente medio de transmisión. Pero además, considerando que diferentes flujos de tráfico (video, audio y e-mail, por ejemplo), podrían requerir diferentes prioridades en la red, la Calidad de Servicio (QoS) parece ser también la mejor alternativa [10]. Y si se piensa en la necesidad de escalar estas redes PLC, por su gran capilaridad y posibilidades de crecimiento, las capacidades de direccionamiento y, por ejemplo, de auto-configuración (entre otras) de IPv6, son la única forma de explotar las ventajas del conjunto de ambas tecnologías.



Banda	Frecuencia	Uso	Protocolo de acceso	Ejemplo
A	3-95 kHz	Reservado para suministradores de energía	No	
B	95-125 kHz	Para interiores sin protocolo de acceso	No	Interfonos
C	125-140 kHz		CSMA/CD	Línea blanca
D	140-148,5 kHz	Para alarmas y sistemas de seguridad	NO	

Fig. 1. Normas de regulación internacional del canal de comunicaciones PLC [8].

Esta tecnología es un medio para que los proveedores de electricidad puedan evaluar las ventajas de PLC y vislumbrar nuevos modelos de negocio y servicios que sean fácil y rápidamente implantados a gran escala. La banda ancha con PLC, IPv6 y QoS proporciona el medio para la creación de nuevos proveedores de servicios (las compañías eléctricas), en un mercado difícil, incrementando la percepción de calidad de servicio por parte del usuario e incrementando la competitividad. Al final, el usuario es el mayor beneficiario de estas tecnologías, que sin duda romperán las tendencias de la brecha digital.

Además, la tecnología PLC puede ser una solución muy sencilla y asequible para la implantación de las estaciones base y punto de acceso para redes de nuevas tecnologías como 3G y WLAN (entre otras) [11], dado que donde se instalan, es preciso el suministro eléctrico.

Los primeros proyectos de transmisión de energía y datos fueron desarrollados entre los años 1976 a 1978, en Glenrothes Escocia, por los ingenieros de Pico Electronics Ltda y la empresa de sistemas de audio BSR. El propósito era controlar un dispositivo electrónico de forma remota [12,13].

Como resultados de sus estudios y experimentación nació el protocolo X-10 que se ha convertido en un estándar internacional. Las principales características de Power Line Communication son:

Tabla I
Tabla de características de PLC

Características	Descripción
Infraestructura	No es necesario ningún tipo de obra adicional para poder disfrutar de esta tecnología de Banda Ancha, ya que se utiliza la propia red eléctrica para la transmisión de datos y voz.
Cobertura	No sufre de los inconvenientes de ADSL o cable que no llega en muchos casos al usuario final, ya que al estar implantada la red eléctrica permite llegar a cualquier punto geográfico [14].
Conectividad	Se dispone de una única toma a la cual se conecta un modem con tecnología PLC.
Acceso	La conexión es permanente durante las 24 horas del día.
Instalación	Su instalación por parte del cliente es sencilla y rápida.
Ancho de Banda	El ancho de banda es de 45 Mbps aunque actualmente ya se alcanzan velocidades de 135 Mbps y en breve se llegara a 200 Mbps, permitiendo la distribución de datos, voz y vídeo de manera rápida y confiable [15].
Servicios	Posibilidad de implementar servicios como Internet a altas velocidades, telefonía VoIP (Voz sobre IP), Videoconferencias, VPN's, Redes LAN, Games online, Teletrabajo y comercio electrónico [16].

Todo lo anterior, esta tecnología de comunicación puede ser una excelente realidad, sin embargo, uno de los problemas de las PLC -Power Line Communications- es el ruido, pues este genera inconvenientes como son alteración de la información, pérdida de información y en otros casos más graves la pérdida de la comunicación. Por esta razón se hace muy necesario que se pueda detectar, caracterizar y mitigar el ruido de fondo, el ruido de banda estrecha y el ruido impulsivo que se presenta en este canal de comunicación, donde el ruido impulsivo aperiódico es el más grave de ellos, pues genera continuas pérdidas de la comunicación.

Problemática de las líneas de potencia como canal de comunicaciones

La utilización de las redes eléctricas como canal de comunicación de banda ancha es una excelente alternativa en redes de área local en domicilios y oficinas, además de poseer una alta velocidad en redes de telecomunicaciones WAN, Domótica avanzada, etc., Sin embargo, el éxito de esta de tecnología de comunicación radica en que se adapte convenientemente a las técnicas de transmisión y recepción convencionales.

El canal de comunicaciones es eficiente en la medida que se puedan controlar varios factores puntuales, como los que se pueden observar en la figura 2.

El factor que centra este estudio corresponde a los medios físicos. Hay dos problemas que existen al interior de las redes eléctricas internas (residenciales): por una parte la privacidad de la información y por otra la interferencia electromagnética. Suele suceder que la señal se escapa de su propia instalación a

través de la acometida y por radiación ingresa en la de los vecinos. La atenuación que presentan los interruptores automáticos y diferenciales es muy pequeña, y los contadores introducen pérdidas muy pequeñas pero no proporcionan un buen aislamiento. Para mitigar y garantizar una buena privacidad se puede pensar en combinar Hardware (filtros) y Software (encriptación), y en cuanto a la interferencia electromagnética establecer mascarar de densidad espectral de potencia transmitida que proteja las bandas de frecuencia.

Una de las causas que no ha permitido que esta técnica de transmisión de datos haya alcanzado su auge es la radiación de señales, pues la regulación internacional [17] pensó en la prevención de interferencias, pero no garantizó la transmisión de información en sistemas de banda ancha. Posteriormente habilitó la banda entre 10 y 30 Mhz para comunicaciones interiores y de 1.6 a 10 Mhz para acceso a redes WAN, pero no se ha definido su emisión [18].

46

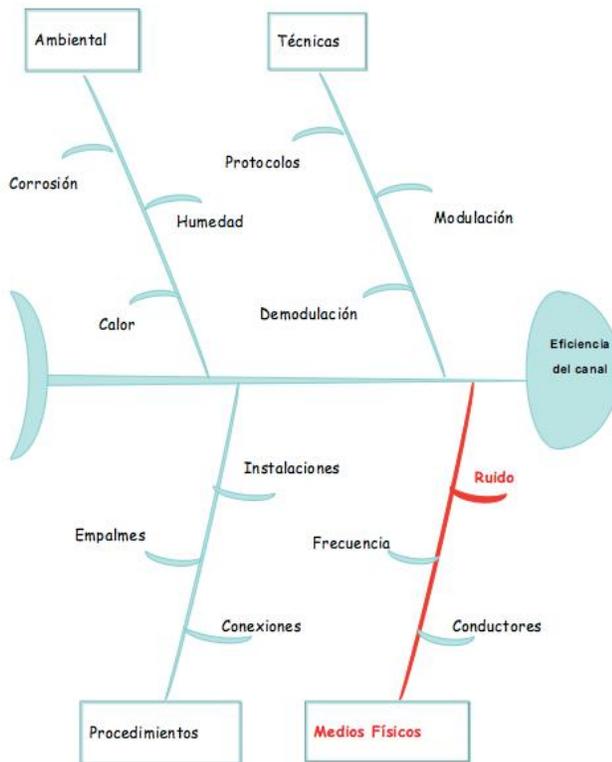


Fig. 2. Identificación del problema del canal de comunicaciones PLC.

Las limitaciones de potencia transmitida [19] se han tratado de mitigar con las técnicas de espectro ensanchado, sin embargo no son tan afectivas por la poca eficiencia espectral. Con esta técnica, la señal se reparte en la banda de frecuencias del canal y muy buena parte se pierde por las regiones

de alta atenuación. Por otra parte, se presenta el efecto cercano-lejos en entornos multiusuario donde la señal tiende a enmascarse cuando la señal proveniente de un transmisor cercano y alcanza un receptor de la red local.

Es necesario revisar el esquema en la monoportadora, por los regímenes binarios que demandan las nuevas aplicaciones sobre las redes eléctricas, se tendría que combatir un nivel de interferencia entre símbolos que difícilmente se podría reducir con igualación de banda ancha.

La distorsión del canal se puede mitigar con esquemas multiportadora que dividan el ancho de banda global en subcanales, de tal forma que se puedan considerar la respuesta plana en ellos. Por esta razón, se tienden a implementar los sistemas DMT (Discrete MultiTone) que utilizan un igualador en frecuencias de un coeficiente para cada subcanal FEQ, Frequency Equalizer [20]. En pruebas experimentales demuestra que se pueden transmitir varias decenas de Mb/s con estos esquemas [21,22]. Finalmente, siendo este el problema que se quiere tratar, aparece la incertidumbre sobre las propiedades del canal, por una parte debido a la ubicación de la misma, y por otra, los cambios provocados por la conexión y desconexión de los aparatos eléctricos. Esto indica que se deben incorporar técnicas de transmisión adaptativas para que el sistema sea eficiente y robusto. Estas pueden ser tratadas maximizando la capacidad mediante el ajuste de la velocidad de transmisión de cada subcanal según cambie su relación señal a ruido [23] o garantizando la velocidad de transferencia de información ajustando la calidad de la señal para aplicaciones de tiempo real. Teniendo en cuenta lo anterior, es que se hace necesario detectar el ruido presente sobre el canal de comunicaciones y de esta forma caracterizar el mismo para encontrar alguna técnica de mitigación.

En virtud a lo anteriormente señalado, se puede indicar que en las comunicaciones por líneas eléctricas - PLC -, al igual que en cualquier otro medio de comunicación, su rendimiento se ve afectado por tres factores: la atenuación, los trayectos múltiples y el ruido [24].

Ruido en el canal de comunicaciones PLC

En la figura 3 podemos ver una clasificación de los ruidos en este medio de comunicación.

Como se puede observar, el ruido en estos canales está clasificado en tres grupos: el ruido de fondo, el ruido de banda estrecha y el ruido impulsivo. En el

ruido impulsivo se encuentra otra clasificación: los ruidos impulsivos periódicos síncronos y asíncronos con la red eléctrica, y los ruidos aperiódicos, siendo estos últimos los más críticos en el canal, ya que son los que ocasionan pérdidas de la comunicación.

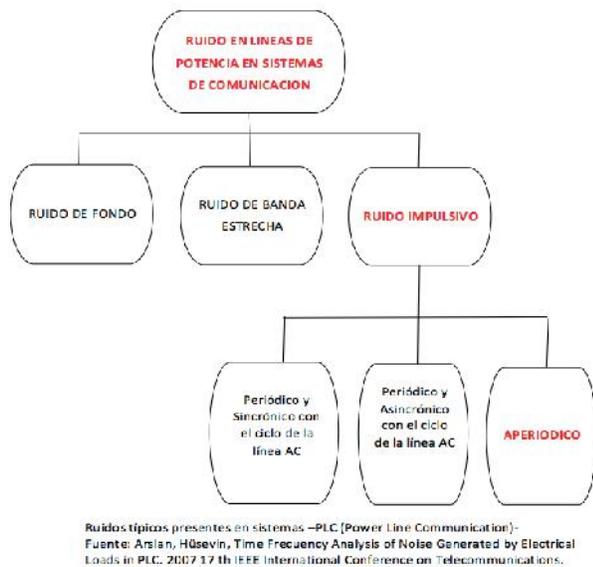


Fig. 3. Clasificación del ruido en el canal de comunicaciones por líneas de potencia - PLC -.

El ruido de fondo tiene una densidad espectral de potencia baja con la particularidad de presentar decrementos con la frecuencia, es decir que este ruido es fuertemente dependiente de la frecuencia.

En el ruido de Banda Angosta, la forma de onda es sinusoidal con amplitudes moduladas. La causa de este ruido es la radiodifusión como radio, televisión y transmisiones de onda corta.

El ruido impulsivo periódico, asíncrono a la frecuencia principal, tiene forma de impulsos con frecuencia de repetición entre 50 y 200 kHz. El ruido se presenta en el espectro como impulsos discretos espaciados de acuerdo con la frecuencia de repetición. Se genera con el encendido y apagado de fluido eléctrico.

El ruido impulsivo periódico, sincrónico a la frecuencia principal, se presenta como impulsos con frecuencia de repetición ente 50 y 100 Hz y son síncronos con la frecuencia principal del fluido eléctrico. Estos impulsos son de corta duración y tienen una densidad espectral que decrece con la frecuencia. Este ruido se genera por la operación de los convertidores de potencia.

En el ruido impulsivo asíncrono (Aperiódico), los impulsos son causados por las conmutaciones transientes en la red eléctrica, su duración va desde algunos microsegundos a varios milisegundos. La densidad espectral de potencia puede alcanzar los 50 dB por encima del ruido de fondo, siendo esta la principal causa de errores en las comunicaciones digitales.

De igual forma, estos ruidos se pueden separar en dos grandes grupos: el ruido impulsivo periódico asíncrono y aperiódico, pues son de corta duración entre milisegundos o microsegundos, mientras que los otros tienen una duración entre segundos, minutos e incluso horas, siendo estos últimos denominados, "Ruido de fondo generalizado" y los primeros, "Ruido impulsivo". En la figura 4 se muestra un modelo de densidad espectral del ruido de fondo generalizado. En la figura 5 se muestra un ejemplo de ruido impulsivo en el dominio del tiempo en una red PLC. De igual forma, para poder establecer las características estadísticas de los parámetros del ruido, es necesario tener una distribución de probabilidad del ancho del pulso y su distribución entre llegadas en función del tiempo. En la figura 6 se puede apreciar un ejemplo que representa el tiempo entre dos impulsos sucesivos.

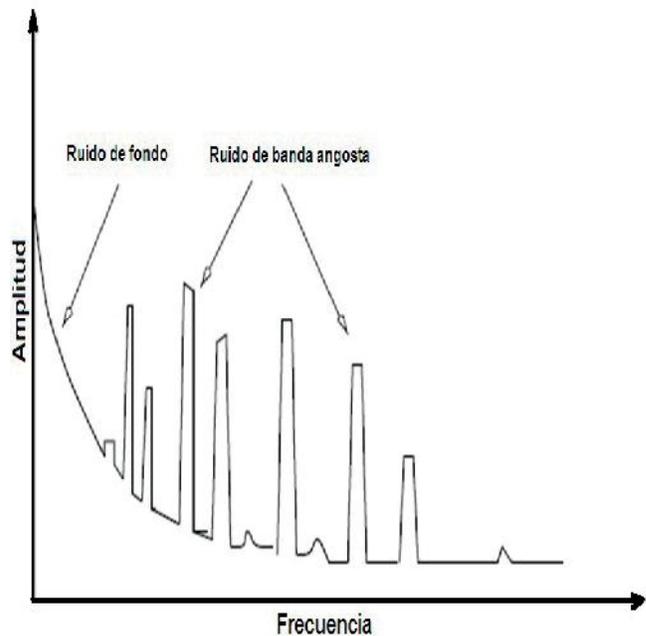


Fig. 4. Modelo de densidad espectral para ruido de fondo generalizado [25]

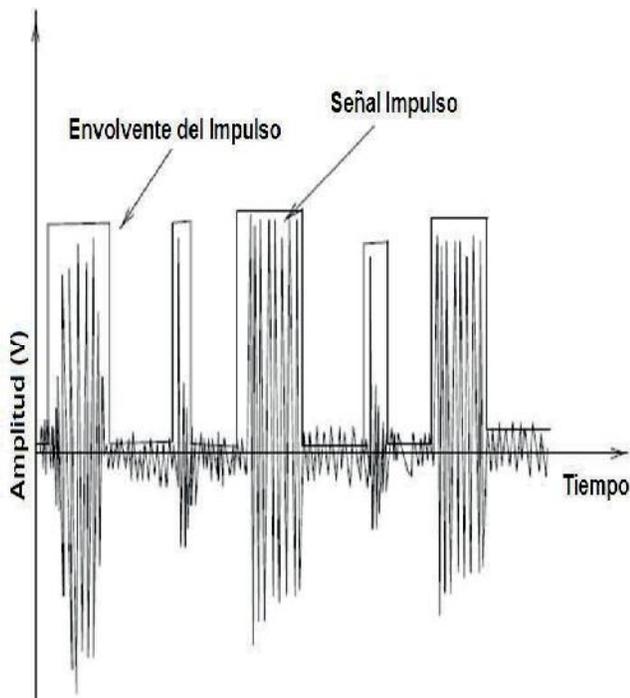


Fig. 5. Ejemplo de ruido impulsivo en el dominio del tiempo [26]

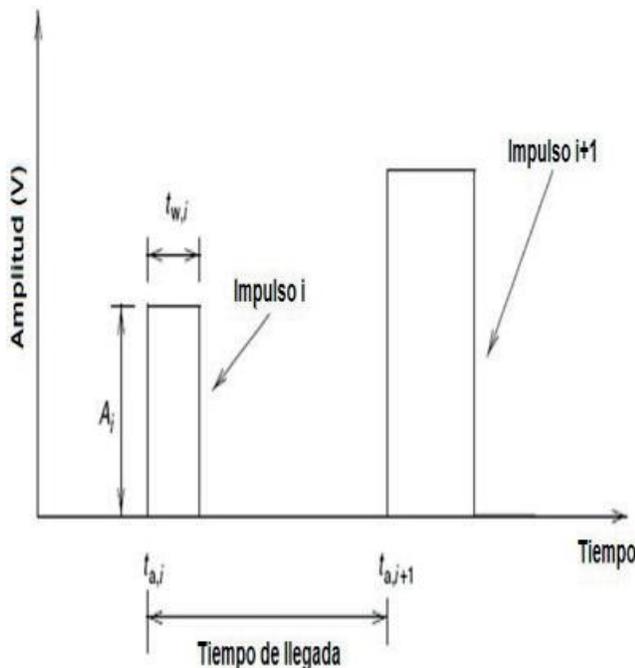


Fig. 6. Modelo del impulso para ser utilizado para establecer el ruido impulsivo [27]

Tratamiento del ruido aperiódico en el canal de comunicaciones PLC

Se han hecho varios estudios para reducir la incidencia del ruido en los canales de comunicación a través de líneas de potencia, obteniéndose buenos resultados con el ruido de

fondo y el ruido de banda angosta [1, 28, 29, 30, 31, 32]. Sin embargo, como el interés de estudio está alrededor del ruido impulsivo, y concretamente el aperiódico, se mencionan algunas investigaciones que se han realizado con referencia a los ruidos impulsivos.

En cuanto a los ruidos impulsivos periódicos (sincrónicos y asincrónicos) se han hecho varias investigaciones para mejorar los problemas de atenuación y ruido. Entre estas se destaca la estrategia de correlacionar los canales del sistema de comunicación a partir del log-normal combinada, utilizando el modelo de Bernoulli [33], con lo que se mejora la fiabilidad pero se cae el rendimiento con múltiples canales.

También se ha tratado el ruido impulsivo en el transmisor y no en el receptor con la técnica de PAPR (reducción del pico del cociente de potencia media) [34], con lo que se obtiene mayor robustez, se minimiza la probabilidad de error y la S/N aumenta a la salida, aunque sin embargo demanda una alta complejidad computacional.

Para mitigar el ruido impulsivo se ha planteado implementar la técnica de corrección de códigos de error, a partir de repeticiones automáticas, con el inconveniente que deteriora la velocidad del sistema o a partir de adaptar la decodificación de canal iterativa robusta con códigos de turbo (TC) y de comprobación de paridad de baja densidad códigos (LDPC) [35]. Sin embargo, esto aplica para una sola portadora. Dado lo anterior, se propone la estimación de parámetros de mezcla gaussiana para cierta ocurrencia de impulsos, y para ambientes muy fuertes de impulsos, se propone el método basado en la detección de impulsos sobre los portadores nulos.

Por otra parte, se ha tratado de minimizar el efecto del ruido impulsivo en el canal de comunicaciones a través de su compresión dentro del espectro de OFDM en el canal de banda ancha [1], obteniendo relativamente buenos resultados.

Otra opción para manejar el ruido impulsivo debido a las continuas variaciones de la impedancia es aumentando la relación señal ruido, y esto se logra aumentando en nivel de la señal (EMC). De igual forma, aumentando el nivel de la señal teniendo en cuenta la frecuencia de trabajo, pues la impedancia cambia dependiendo de esta, y se hace preferiblemente cuando se tengan niveles altos de la señal (50 dBV), donde se pueden manejar más de 30 MHz [2].

Dado que el ruido impulsivo es el responsable de degradar las comunicaciones, este tiene una tasa

de ocurrencia al azar, con densidad espectral de alta potencia (PSD) y una corta duración. Pero cuando la frecuencia excede la longitud de la señal del símbolo puede afectar seriamente a las comunicaciones de alta velocidad. Se ha aplicado la técnica de SCFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia con portadora única) con procesos de compresión y recorte, encontrando que es superior sobre los sistemas OFDMA convencionales, pues se aumenta la salida SNR entre 3dB y 4dB [36].

Otra posible forma para contrarrestar el efecto de la atenuación y ruido impulsivo es a partir de la técnica de recorte y ecualización. La secuencia de datos binarios se modula a través de un codificador convolucional y se aplica un sistema PSK. Cada dato se suma a través de la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT). Esta señal es convertida a analógica y se transmite a través de las líneas eléctricas. Ahora el ruido impulsivo se mitiga a través del recorte y el bloque del ecualizador. La señal recibida es recuperada como el flujo de datos original mediante FFT. [3]. Con esta técnica se puede obtener un buen nivel de BER lo que puede ser aplicado para reducir el ruido de impulso en sistema de PLC dentro de una red de datos.

Para efectos de modelar los ruidos impulsivos se han realizado algunos tratamientos como el modelo numérico variante en el tiempo, desarrollado mediante el uso de la dispersión parámetros en el dominio wavelet [37]. El método propuesto utiliza la descripción de N-puertos de los elementos que constituyen los distintos intervalos de tiempo del sistema PLC en términos de matrices reales con elementos constantes. Esto representa una alternativa válida a la descripción del dominio de tiempo, que por lo general es adoptado para el análisis de redes de tiempo variable. Los resultados obtenidos a partir de otros modelos numéricos y con datos experimentales han confirmado la exactitud y la eficiencia del método propuesto [37].

Se realizó un estudio de un sistema multitrayecto con el fin de comparar entre la modulación OFDM (Modulación por División de Frecuencia Ortogonal) con DWT (Transformada Discreta Wavelet) y con DFT (Transformada Discreta de Fourier). Los parámetros a comparar son la tasa de Error de Bit (BER), la densidad de potencia espectral (PSD) y el radio de potencia media (PAPR). El resultado de este estudio es que el BER y el PSD son mucho mejor en DWT-OFDM que los resultados obtenidos con DFT-OFDM [38].

En otro trabajo desarrollado en [39], se desarrolló un modelo estadístico del ruido asincrónico basado en las propiedades físicas de la red PLC. Para ello

se validó la distribución utilizando lo simulado y lo medido con datos de ruido PLC. La exactitud de los modelos estadísticos se establece mediante la comparación de las probabilidades de cola empíricas, basado en los datos simulados Montecarlo y la cola analítica de probabilidades predichas por modelos derivados. La comparación de las dos probabilidades de cola se realizó con un número de las fuentes de interferencia de 5 a 15. Con la comparación se llegó a que las curvas coincidían con muy poca desviación, y que a mayor número de clases de interferencias, la probabilidad se incrementaba. Se llegó a que los modelos que se pueden utilizar son: Mezcla de Gauss y Middleton Clase A [40]. Sin embargo, la escogencia de alguno de estos depende del tipo de red.

En otros análisis del ruido se combinan técnicas de dominio en frecuencia y tiempo en bandas de 25 MHz. Los análisis en el tiempo generan estadísticas entre llegadas, ancho de pulso y amplitud de pulso, pero no se analiza la mezcla de impulsos periódicos y no periódicos, no se distingue entre ruidos síncronos y asíncronos. Los análisis en la frecuencia permiten determinar la PSD (Densidad espectral de potencia) y en cada intervalo de tiempo los picos espectrales, la estimación de la tasa de repetición y las formas de onda del pulso. [41].

Por otra parte, se ha estudiado que los ruidos se pueden tratar con modelos cicloestacionarios basados en la adaptación de la PSD (Densidad espectral de potencia) y la caracterización de la PDF (Función de densidad de probabilidad). Se estima el rendimiento de la tasa de error BER en el sistema de comunicación utilizando modelos cicloestacionarios en redes interiores. Como el ruido es una combinación de varios procesos estadísticos, estos se pueden modelar como modelos basados en PDF y modelos basados en PSD [41].

Para poder mitigar el ruido aperiódico, se plantea un metamodelo que permita realizar una serie de actividades, que conlleven a atenuar el nivel de ruido en la señal en una comunicación digital por líneas de potencia.

Metamodelo sugerido desde la detección hasta la mitigación del ruido aperiódico en el canal de comunicaciones PLC

A continuación se presenta un metamodelo general para la experimentación de cada una de las fases que se pueden realizar para lograr el objetivo de detectar el ruido aperiódico, su posterior modelamiento y mitigación.

En la figura 7 se muestra el metamodelo planteado.

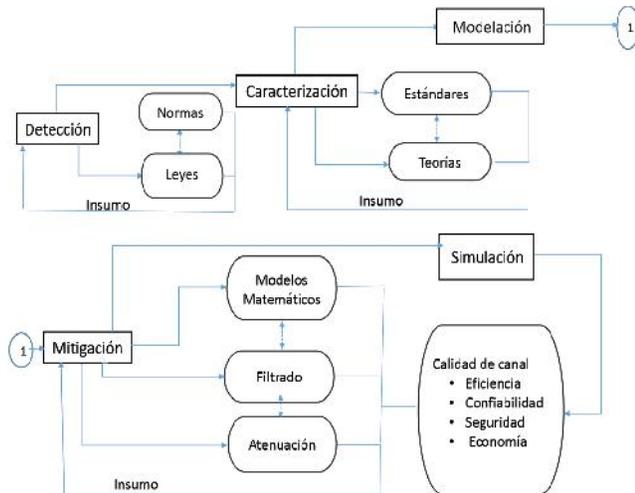


Fig. 7. Metamodelo para detección, caracterización, modelamiento y mitigación del aperiódico del canal de comunicaciones PLC.

En este metamodelo se puede apreciar que hay cinco (5) procesos: Detección, Caracterización, Modelación, Mitigación y Simulación. Cada proceso tiene sus características, como en el caso de la detección, donde hay unas normas y leyes que rigen este medio, bien sea por condiciones naturales del mismo, como por normativa estatal, y como todo sistema de control, la retroalimentación es clave para ajustar el proceso que va a dar paso a la caracterización del ruido. En este proceso se requiere de estándares y teorías que rigen el ruido. De igual forma este proceso da paso al modelamiento, el cual de estar bien definido, debe conducir a plantear una estrategia de mitigación del mismo, aplicando modelos matemáticos, filtrado y atenuación. Una vez se mitigue el ruido aperiódico se puede indicar que se logra un canal e calidad pues se empieza a brindar Eficiencia, Confiabilidad, Seguridad y Economía, entre otros.

Para desarrollar la detección del ruido aperiódico se propone lo siguiente:

A. Etapa de laboratorio:

Una primera etapa corresponde a nivel de laboratorio, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

1. Realizar la detección del ruido en forma individual de los diferentes componentes que se pueden conectar una red eléctrica de 60Hz,

es decir, cargas lineales y no lineales sin dejar de lado el ruido generado en cada estado de la carga.

2. Realizar la detección del ruido en forma colectiva de los diferentes componentes de una red eléctrica de 60 Hz, sin dejar de lado el ruido generado en diferentes estados de las cargas.
3. Generar una base de datos con los comportamientos de los componentes que se involucraron en la red eléctrica. Estos puede ser tomado en tiempo real, o si es el caso en procesos diferidos, de tal forma que se pueda realizar un análisis para situaciones instantáneas como de una tendencia en un lapso de tiempo.

Realizar la caracterización en forma individual de las diferentes cargas que se involucraron sobre la red eléctrica, es decir, las diferentes cargas lineales y no lineales que generaron un ruido representativo.

4. Realizar la caracterización en forma colectiva de los diferentes cargas incorporadas a la red eléctrica.
5. Generar una base de datos con los comportamientos de los componentes de la red. Estos puede ser tomado en tiempo real, o si es el caso en procesos diferidos, de tal forma que se pueda realizar un análisis para situaciones instantáneas como de una tendencia en un lapso de tiempo.

B. Etapa de caso real:

Una segunda etapa corresponde a nivel de etapa de caso real en un entorno residencial. A continuación, en las figuras 8 y 9 se presenta un metamodelo general, para la experimentación de cada una de las fases que se pueden realizar para detectar el ruido aperiódico a partir de los experimentos en una residencia en un entorno totalmente real para su posterior modelamiento y mitigación, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

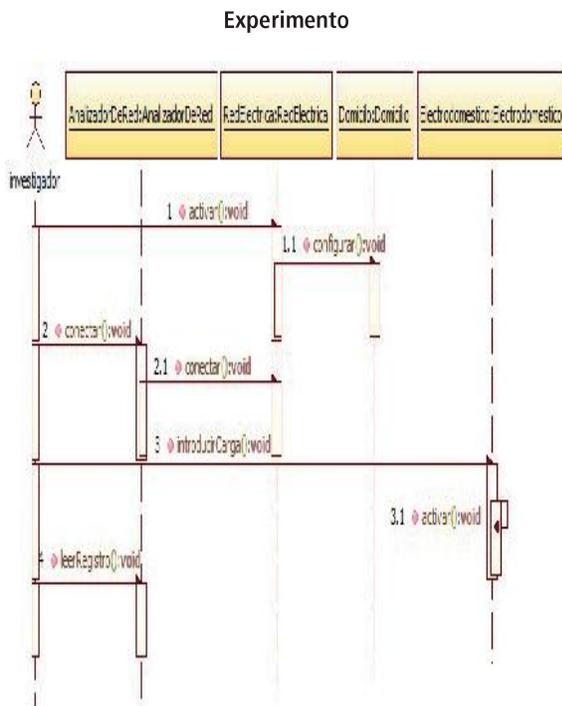


Fig. 8. Diagrama del experimento general para detección del ruido aperiódico (en secuencia de actividades).

1. El hogar seleccionado debe tener un amplio surtido de electrodomésticos, de tal forma que involucren cargas tanto lineales como no lineales. Como mínimo debe tener lavadora, nevera, licuadora, horno microondas, ducha eléctrica, estufa eléctrica, televisores, equipos de cómputo, sistemas de iluminación, aspiradora y otros.
2. Se realizara a través de un equipo de monitoreo un estudio de los ruidos que se presentan en las líneas de potencia, en condiciones cotidianas. Este monitoreo debe ser durante un tiempo prudencial (mínimo durante una semana), con lo que se puede obtener una buena muestra de lo sucedido en la red en cuanto a perturbaciones por las constantes conmutaciones de cargas que conllevan a la variación de la impedancia en el tiempo.

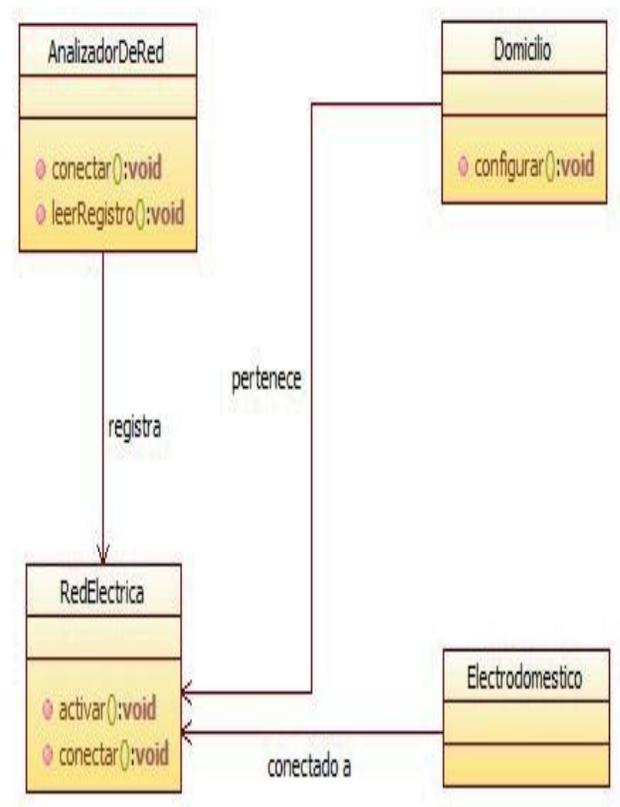


Fig. 9. Diagrama del experimento general para detección del ruido aperiódico (por acción).

3. Generar una base de datos con los comportamientos de los componentes de la red, de tal forma que se pueda realizar un análisis para situaciones instantáneas como de una tendencia en un lapso de tiempo.
4. Establecer una comunicación de datos permanente y monitorear el comportamiento de la misma en un entorno cotidiano, para determinar si la red se cae, y de ser así consolidar las condiciones en las que se presentó esta situación.
5. Realizar la caracterización de la red eléctrica junto con la red de datos. Se deben involucrar las perturbaciones que se presentan en las líneas eléctricas. Es importante manipular las comunicaciones a diferentes velocidades, con el fin de monitorear su comportamiento
6. Generar una base de datos con los comportamientos de la red a diferentes velocidades.

C. Análisis con respecto a las propuestas de detección del ruido.

1. Este trabajo denota varias fases como se

presentaron en el metamodelo tanto a nivel de laboratorio como en el entorno real, para el caso de este artículo. El objetivo es mostrar una metodología para obtener una información importante para la caracterización del ruido aperiódico.

2. Es necesario realizar los experimentos con cargas de diversos tipos, es decir, lineales y no lineales para tener una visión clara para las condiciones de una red.
3. Es importante tener en cuenta que si bien las cargas son lineales y no lineales, estas no siempre están solas en una red eléctrica, por lo que es clave tener un entorno real para ser comparado con los experimentos del laboratorio.
4. La base de datos es el insumo para desarrollar unos procesos matemáticos que permitan caracterizar una red de datos en un canal de comunicaciones en diferentes velocidades de comunicación.
5. El resultado obtenido en la caracterización permitirá generar un modelo del ruido aperiódico que al ser pasado por un instrumento computacional permita obtener estrategias de mitigación para reducir los niveles de ruido que se introducen a la red, que a la postre deterioran el desempeño de una red de datos por líneas de potencia.

Conclusiones

El presente trabajo presenta una revisión del estado de las comunicaciones a través de las líneas de potencia, donde se aprecia que es una tecnología que ha evolucionado como todos los otros medios de comunicación, cumpliendo tareas importantes que dan solución a las necesidades de los usuarios.

De igual forma, se puede ver que los sistemas PLC, a pesar de haber evolucionado, conviven con limitaciones como la variación de impedancia, naturaleza del canal, ruido blanco de la naturaleza, atenuación de acuerdo con la frecuencia de trabajo y cambios de fase entre arquitecturas interiores y exteriores. Con el fin de mejorar la confiabilidad de esta tecnología, se han atacado los ruidos presentes en el canal de comunicación. Sin embargo, el ruido aperiódico es el más complejo de todos, pues parte desde la misma detección, hasta el poder plantear algún modelo para mitigar el problema. Se han realizado una serie de estudios que han permitido avanzar en el problema del ruido impulsivo aperiódico, pero sin embargo no se tiene uno que

pueda dejar en mejores condiciones el medio. Con el fin de llegar a plantear una estrategia de mitigación, se sugiere un metamodelo que permita llevar una secuencia de actividades que conlleven a plantear alguna estrategia para este fin.

Referencias

- [1] J. Matanza, S. Alexandres, C. Rodríguez-Morcillo "Compressive Sensing Techniques Applied to Narrowband Power Line Communications", IEEE 2013.
- [2] P. A. C. Lopes, J. M. M. Pinto, and J. B. Gerald, "Dealing With Unknown Impedance and Impulsive Noise in the Power-Line Communications Channel", IEEE, 2013.
- [3] Y. Kim, J. N. Bae, and J. Y. Kim, "Performance of Power Line Communication Systems with Noise Reduction Scheme for Smart Grid Applications", IEEE, 2011.
- [4] F. Sandoval Cuervo, "PLC Como oportunidad para el desarrollo de las Ciudades Digitales", II Foro Ciudades Digitales. ENDESA NET FACTORY, Mayo 31 de 2005.
- [5] R. E. Abbott, "High Speed Power Line Communication", IEEE Power Ingeniering Society. Summer Meeting 2002. Vol 3
- [6] N. Pavlidou, "Power Line Communication: State of the art and future Trends", IEEE Communications Magazine. Abril 2003.
- [7] A. Veá Baró, "Evolución de la Tecnología de acceso a Internet", Mayo de 2002.
- [8] V. H. Serna. (2015, Diciembre). "Revista Técnica Industrial, "Comunicaciones a través de la red eléctrica", T5312.
- [9] K. Dostert, "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, New Jersey: 2001.
- [10] IEEE Std 802.1Q-199, "IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks", Mar, 1999.
- [11] J. Palet Consulintel, <http://www.6power.org>, 2005.
- [12] <http://www.domoticausuarios.es/historia-de-la-domotica//1123>.
- [13] <http://www.domoprac.com/protocolos-de-comunicacion-sistemas-domoticos/historia-de-la-domotica-pasado-presente-futuro.html>.
- [14] M. Torres. (2004, Febrero), "Revista de derecho informático". ISSN 1681-5726, No. 067.
- [15] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras", Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1997.
- [16] A. Sánchez Rodríguez, "Análisis comparado de la regulación de los mercados de electricidad y las telecomunicaciones". 2002.
- [17] CENELEC, "Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of information technology equipment". EN 50022, 1994.
- [18] ETSI, "Powerline telecommunications (PLT). Coexistence of

access and in-house powerline systems”, TS 101 867 V1.1.1, 2000.

[19] P.K. Van der Gracht y R.W. Donaldson, “Communication using pseudonoise modulation on electric power distribution circuits”. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, pag. 964974, septiembre 1985.

[20] J.A. Cortes, L. Díez, F.J. Cañete, y J.T. Entrambasaguas. “System parameters effect on DMT-based broadband indoor power line communications”. En International Symposium on Power-Line Communications and its Applications, pag. 4852. ISPLC 2002, Atenas (Grecia)

[21] F.J. Cañete, L. Díez, J.A. Cortes, y J.T. Entrambasaguas. “Broadband modelling of indoor power-line channels”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, pag.175183, febrero 2002.

[22] F.J. Cañete, J.A. Cortes, L. Díez, y J.T. Entrambasaguas, “Modeling and evaluation of the indoor power-line channel”, IEEE Communication Magazine, pag.4147, abril 2003.

[23] J.A. Cortes, L. Díez, F.J. Cañete, y J.T. Entrambasaguas. “Bitloading algorithm for DMT broadband indoor power line communications”, En International Association of Science and Technology for Development (IASTED) International Conference on Communication Systems and Networks, pag. 278282. IASTED 2002, Málaga.

[24] S. Guzelgoz, H. B. Celebi, T. Guzel, H. Arslan, and M. Kvanč Mhčak, “Time Frequency Analysis of Noise Generated by Electrical Loads in PLC”, 17 th International Conference of Telecommunications 2010.

[25] T. Banwell, S. Galli, “A new approach to the modelling of the transfer function of the power line channel”, Proceedings of the 5th International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC), Malmo, Sweden, 319324 April 46, 2001.

[26] E. P. Guillen, J. López, C. Barahona, “Analysis over Power Line Communication Channel in an Electric Noisy Scenario”. World Academy of Science, Engineering and Technology, Volume 33 September 2008 ISSN 2070-3740.

[27] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert, “Broadband Power line Communications Networks”. NJ USA: John Wiley & Sons Ltd, 2004. 273 p. ISBN 0-470-85741-2.

[28] J. Matanza, K. Sila, S. Alexandres, C. Rodríguez-Morcillo “Simulation of low-voltage Narrow Band Power Line Communications Networks to Propagate OpenADR Signals”, Journal of Communications and Networks, Vol 17, N0. 6. 2015.

[29] R. Aashmat, P. Pagani, T. Chanavel and A. Zeddami. “Analysis and Modeling of Background Noise for Inhome MIMO PLC Channels”, IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications 2012.

[30] M. Bogdanovic and S. Rupid. “Generalized Background Noise Modeling in Power Line Communication”, 20th Telecommunication Forum TELFOR 2012.

[31] M. Jani, P. Garg and A. Bansal. “Performance analysis of a PLC system over log-normal fading channel and impulsive noise”, International Conference on Computing and Network Communications, 2015.

[32] A. Mathur, M. Bhatnagar and B. Panigrahi. “Performance Evaluation of PLC Under the Combined Effect of Background and Impulsive Noises”, IEEE Communications Letters, Vol 19, N0. 7,

July 2015.

[33] A. Dubey, R. K. Mallik, R. Schober, “Performance analysis of a power line communication system employing selection combining in correlated log-normal channels and impulsive noise”, Published in IET Communications, Accepted on 9th January 2014, ISSN 1751-8628

[34] K. M. Rabie and E. Alsusa, “Efficient SLM Based Impulsive Noise Reduction in Powerline OFDM Communication Systems”, IEEE 2013.

[35] G. Ndo, P. Siohan, and M. Hamon, “Adaptive Noise Mitigation in Impulsive Environment: Application to Power-Line Communications”, IEEE, April 2010.

[36] K. M. Rabie and E. Alsusa, “Single-Carrier FDMA with Blanking/Clipping for Mitigating Impulsive Noise Over PLC Channels”, IEEE, 2014.

[37] S. Barmada, A. Musolino, M. Raugi, R. Rizzo, and M. Tucci, “A Wavelet Based Method for the Analysis of Impulsive Noise Due to Switch Commutations in Power Line Communication (PLC) Systems”, IEEE, 2011.

[38] S. Mousavi, A. Kiani, B. Zanj, G. Baghersalimi, “Performance Evaluation of DWT-OFDM in Multipath PLC Channel Under Impulsive and Narrowband Noise”, IEEE, 2012.

[39] M. Nassar, K. Gulati, Y. Mortazavi and B. L. Evans, “Statistical Modeling of Asynchronous Impulsive Noise in Powerline Communication Networks”, IEEE, 2011.

[40] J. A. Cortes, L. Díez, F. J. Cañete and J. L., “Analysis of the Periodic Impulsive Noise Asynchronous with the Mains in Indoor PLC Channels”, IEEE 2009.

[41] F. Gianaroli, F. Pancaldi and G. M. Vitetta, “The impact of statistical noise modeling on the Error-Rate performance of OFDM power line communications”, IEEE, 2009.

De los autores

Pablo Emilio Rozo García: Ingeniero electrónico – Universidad Antonio Nariño – Colombia. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones – Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia, Especialista en Pedagogía y docencia Universitaria – Universidad La Gran Colombia – Colombia y Especialista en Administración de Empresas – Fundación Universitaria Los Libertadores – Colombia. E-mail: perozog@udistrital.edu.co

Johann Alexander Hernández: Ingeniero eléctrico – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. Doctor en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia y Magister en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. E-mail: jhernandez@udistrital.edu.co

Sandro Javier Bolaños Castro: Ingeniero de sistemas, profesor de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magister en Teleinformática – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Informática – Universidad Pontificia de Salamanca – España. bsandrojavier@gmail.com