



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Modelamiento de ruido impulsivo aperiódico con
cargas no lineales en redes PLC

ANDRÉS FELIPE ARENILLA CEPEDA
ANDRÉS MAURICIO HERNANDEZ FORERO

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2018

Modelamiento de ruido impulsivo aperiódico con
cargas no lineales en redes PLC

ANDRÉS FELIPE ARENILLA CEPEDA.

Código:20122005008

ANDRÉS MAURICIO HERNANDEZ FORERO.

Código:20122005022

Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director:

Ing. Pablo Emilio Rozo García

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electrónica

Bogotá, Colombia

Mayo de 2018

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

El presente trabajo de grado es en agradecimiento a Dios, quien puso a las personas e ideas correctas en el momento y el lugar preciso, quien nos iluminó en los momentos difíciles que se presentaron durante toda la carrera y quien nos tiene situados en esta universidad tan prestigiosa, rodeados de bendiciones.

A nuestras familias, que han sido un apoyo constante en nuestro desarrollo personal y académico, recordándonos día a día el valor de la perseverancia en una carrera tan ardua pero que nos convierte en profesionales íntegros y completos, totalmente preparados para entregar todo nuestro conocimiento al servicio de la sociedad.

En el plano estudiantil, agradecemos a cada uno de los profesores que contribuyeron a nuestro desarrollo intelectual, de los cuales aprendimos las bases que regirán nuestra vida de ahora en adelante y quienes nos convirtieron en ingenieros altamente competitivos que son capaces de entregar soluciones que mejoren la calidad de vida de nuestros compatriotas. En especial al profesor Pablo Rozo, un profesional comprometido con el desarrollo de sus estudiantes y exhorta a entregar lo mejor en cada tarea que se realice.

Resumen

El mundo de la tecnología avanza a gran escala, año tras año se ven avances en diferentes áreas del conocimiento que buscan mejorar la calidad de vida de las personas. Las comunicaciones no son la excepción, ya que los ingenieros tratan día a día de encontrar soluciones a la inmensa cantidad de dispositivos conectados e información transportada.

En este sentido entran las comunicaciones en líneas de potencia (PLC) a convertirse en un actor importante para ofrecer alternativas a la comunicación tradicional, enviando y recibiendo datos a través de la red eléctrica convencional.

Debido a que esta infraestructura no fue diseñada para el tráfico de información, y los niveles de tensión que se manejan son altos en comparación a los métodos tradicionales de comunicación, se evidencian algunos problemas para lograr la tarea de enviar y recibir datos en este escenario.

Entre otros problemas, se evidencia que los cables transportadores de la energía no tienen aislamiento en contra de una posible interferencia electromagnética. También se sabe que en el momento de intentar transmitir información, esta infraestructura es muy susceptible a las fluctuaciones que generan las diferentes cargas que se conectan en paralelo.

Entrando un poco en el tema del ruido en las PLC, este se divide en 5 grupos principales y el que más genera problemas en la comunicación se conoce como impulsivo aperiódico [12]. Este ruido es de naturaleza estocástica y de difícil predicción. Por este motivo no ha sido objeto de amplio estudio.

El presente trabajo pretende encontrar un modelo matemático y simular dicho modelo en un programa computacional, que permita determinar el ruido impulsivo aperiódico específicamente para las cargas no lineales.

Índice

Secciones	Página
1. Introducción	7
2. Justificación	9
3. Objetivos	11
3.1. Objetivo General	11
3.2. Objetivos Específicos	11
4. Marco Teórico	12
4.1. Power Line Communication	12
4.1.1. Definición	12
4.1.2. Topologías de red	14
4.1.3. Equipos PLC	14
4.1.3.1. Módem PLC	15
4.1.3.2. Repetidor PLC	15
4.1.3.3. Cabecera PLC	15
4.1.4. Desventajas	16
4.1.4.1. Atenuación	16
4.1.4.2. Seguridad	16
4.1.4.3. Ruido	17
4.1.4.3.1. Ruido de Fondo	17
4.1.4.3.2. Ruido de Banda estrecha	17
4.1.4.3.3. Ruido Impulsivo periódico asíncrono con la red	17
4.1.4.3.4. Ruido Impulsivo periódico síncrono con la red	17
4.1.4.3.5. Ruido Impulsivo Aperiódico	18
4.2. Modelo Matemático	18
4.2.1. Impulso Matemático	18
4.2.2. Modelo de Poisson	19
4.2.3. Modelo de Gauss-Poisson	19
4.2.4. Modelo de Gauss	20
4.2.5. Modelo de Markov	20
4.2.6. Cadenas Homogéneas	20
4.2.7. Modelo de Middleton Clase A	20
4.2.8. Modelo de Middleton Clase B	22
4.2.9. Modelo de Middleton Clase C	23
5. Resultados	24
5.1. Filtro pasa altas	24
5.1.1. Diseño	24
5.1.2. Simulación	26

5.1.3.	Resultados	27
5.2.	Obtención del ruido impulsivo asíncrono	28
5.2.1.	Escenarios	28
5.2.2.	Diagrama del circuito de medición de señales	29
5.2.3.	Muestras obtenidas en Osciloscopio	29
5.2.4.	Implementación práctica del circuito de medición	31
5.2.5.	Resultados de las pruebas en MatLab	31
6.	Análisis de Resultados	33
6.1.	Comparación y búsqueda del modelo matemático a simular	33
6.2.	Algoritmo para encontrar el modelo matemático	33
6.3.	Tratamiento computacional de las señales obtenidas	34
6.3.1.	Función RFI_EstMethofMoments	35
6.3.2.	Función RFI_MakeDataClassA	35
6.4.	Análisis estadístico de los parámetros A y K	36
6.5.	Comparación de señales	38
6.6.	Realimentación de resultados	40
6.6.1.	Comparación con cargas lineales	40
6.6.2.	Aportes finales	40
7.	Conclusiones	42
8.	Trabajos futuros	43
	Referencias	44
A.	Anexo 1: Enlaces a contenido digital del trabajo	46
B.	Anexo 2: Algoritmos utilizados	47
C.	Anexo 3: Funciones de Matlab para la generación del ruido	50

Índice de figuras

1.	Modelamiento de ruido en líneas PLC	7
2.	Sistema general de transmisión-recepción en redes PLC	13
3.	Diagrama de bloques de OFDM sobre PLC	13
4.	Sistema de suministro eléctrico	14
5.	División de los tramos PLC	15
6.	Impulso unitario(a), Funcion impulso(b), Espectro de frecuencia del impulso (c)[21].	18
7.	Esquema general de un canal de comunicaciones y aparición de las tres clases del Modelo Middleton [18]	23
8.	Diagrama de flujo del proceso de medición para la aproximación del modelo de Middleton.	24
9.	Circuito diseñado en la herramienta de simulación	26
10.	Circuito diseñado en la herramienta de simulación	26
11.	Barrido de frecuencia de la simulación con la herramienta Bode Plotter	27
12.	Respuesta del filtro a 200 Hz	27
13.	Respuesta del filtro a 600 Hz	28
14.	Respuesta del filtro a 1 KHz	28
15.	Diagrama de escenario de medida	29
16.	Señal de red (lila) y señal filtrada (azul), obtenida mediante prueba de conexión de nevera.	30
17.	Señal de red (lila) y señal filtrada (azul), obtenida mediante prueba de conexión de un computador personal.	30
18.	Señal de red (verde) y señal filtrada (naranja), obtenida mediante segunda prueba de conexión de un computador personal.	30
19.	Diagrama de la implementación del circuito de medida	31
20.	Señales de red (roja) y señal filtrada (azul), obtenidas en prueba. . .	31
21.	Señales de red (roja) y señal filtrada (azul), obtenidas en prueba. . .	32
22.	Señales de red (azul) y señal filtrada (roja), obtenidas en prueba. . .	32
23.	Diagrama de flujo para la obtención de ruido simulado	34
24.	Histograma de valores para el parámetro A	37
25.	Histograma de valores para el parámetro K	37
26.	Señal de la red y filtrada en la conexión de un Microondas tomada en un Osciloscopio Agilent	38
27.	Comparación de señales de red (azul) y señal filtrada (roja) en el gráfico superior y señal de ruido generado con el software (señal de gráfica inferior en azul).	38
28.	Señal de la red y filtrada en la desconexión de una carga no lineal, obtenida en un Osciloscopio Agilent	39
29.	Comparación de señales de red (azul) y señal filtrada (roja) en el gráfico superior y señal de ruido generado con el software (señal de gráfica inferior en azul).	39

Índice de tablas

1.	Valores de los componentes pasivos en el filtro pasa altas	26
2.	Parámetros A y K tomados de 30 iteraciones con diferentes señales. .	36
3.	Variables estadísticas de los parámetros.	37

1. Introducción

Al estudiar las líneas de transmisión de potencia, se pueden observar varios tipos de ruido generados en distintos puntos de la red; que al momento de intentar enviar información por dichas líneas, se verá perturbada o en el peor de los casos, no será transmitida[12].

El ruido en PLC (Power Line Communications) se clasifica en cinco clases como muestra la figura 1 :

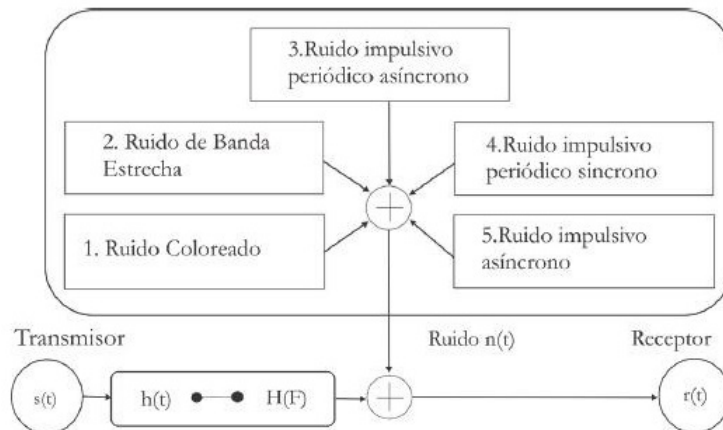


Figura 1: Modelamiento de ruido en líneas PLC [22]

El ruido se considera como tal una perturbación que se manifiesta como señales indeseables sin relación alguna con la señal de interés, las cuales se introducen y distorsionan la red de comunicación. A su vez, se distinguen cinco categorías de ruido, las cuales son:

- Ruido de fondo, coloreado y de banda ancha.
- Ruido de banda estrecha.
- Ruido impulsivo periódico asíncrono con la red.
- Ruido impulsivo periódico sincrónico con la red.
- *Ruido impulsivo aperiódico.*

El tipo de ruido que será objeto de estudio en el presente trabajo es el impulsivo aperiódico, este es un tipo de ruido que se genera al momento de hacer la conexión tanto de cargas lineales (licuadoras, estufas, neveras, bombillos, etc.), como no lineales (rectificadores, inversores, variadores de velocidad y en general la electrónica de control). Este proyecto se enfoca en el tipo de ruido que generan las cargas no lineales, el cual perturba la transmisión de información en las redes de potencia, debido a su consumo de corriente en formas no sinusoidales, y que por ende generan componentes armónicos no deseados.

El problema de las cargas no lineales se puede analizar desde dos puntos de vista. Primero, se debe tener en cuenta que son cargas muy utilizadas tanto en el hogar como en la industria, por esta razón es muy común encontrarlas y un deber enfrentarlas. Como segunda medida, entrando al análisis de su comportamiento como tal, al ser dispositivos que conmutan, se debe estudiar este escenario de trabajo que difiere de las cargas lineales, en las que la forma de tensión y corriente tienen una relación constante.

Las redes de transmisión no fueron diseñadas para el envío de datos, y por ende este estudio ayudará a la posible obtención de información desde algún punto en las redes eléctricas, si se asegura un correcto estudio y comprensión del ruido impulsivo.

El estudio de los impulsos al conectar cargas no lineales en líneas de transmisión de potencia es visible y analizable en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Estos impulsos tienen una duración promedio de algunos microsegundos.

Este proyecto pretende buscar un modelo matemático basado en la estadística, que nos ofrezca la posibilidad de caracterizar y modelar el ruido impulsivo aperiódico en las líneas de potencia.

¿Es posible modelar matemáticamente el ruido impulsivo aperiódico en las líneas de transmisión de potencia generada por cargas no lineales?

2. Justificación

Las redes de comunicación de potencia (PLC) consisten en la entrega de información a través de las líneas de transmisión eléctricas. Es muy conveniente la utilización de ellas para el envío de información ya que se podría aprovechar que la red de distribución eléctrica se encuentra en cada esquina de las ciudades, y es de fácil acceso para las personas.

En el caso de nuestro país, se ha evidenciado un crecimiento en la economía, que ha generado una gran expansión de la red eléctrica nacional, teniendo en cuenta este aspecto, se debe reconocer la importancia de tener claro su funcionamiento y cómo se pueden hacer nuevas aplicaciones sobre ellas, entre estas, una alternativa importante para suplir algunas necesidades en las redes convencionales de comunicaciones, como las PLCs.

Debido al aumento exponencial del número de usuarios que utilizan a diario los canales de comunicación convencionales como fibra óptica y cables coaxiales, aumenta proporcionalmente a su vez la cantidad de información transportada por estos medios. Esto genera inconvenientes en dichas redes como exceso de capacidad de canal, pérdida de datos y congestión. Las PLCs entrarían en escena para ofrecer una alternativa eficaz para estos problemas.

La habilidad de transmitir información sobre una red previamente establecida, como la eléctrica ha sido un avance muy importante para las comunicaciones. Los desarrollos en ciencias de computación y comunicaciones permiten el desarrollo de protocolos y estándares para transmitir información, estos generan un gran interés sobre las redes cableadas existentes. El correcto uso de estas redes nos pueden brindar un salto en la cantidad de información que se puede transportar además de todos los servicios que se pueden brindar con estas tecnologías[15].

Como se ha evidenciado en algunos estudios, las redes de comunicaciones sobre cables se ven seriamente afectadas por algunos problemas como la atenuación, radiación y el ruido. Otros trabajos han dado como resultado la solución a algunos de estos problemas pero ninguno se ha profundizado en el ruido impulsivo asincrónico. En los protocolos de transmisión, la presencia de este ruido genera la pérdida de información y por ende hace que los sistemas sean ineficientes y dependiendo de la aplicación inseguros[11].

Varios estudios han sido realizados tratando de obtener una caracterización de los diferentes tipos de ruido que afectan a estas líneas de comunicaciones [12] [6]. Entre ellos se destaca que la mayoría de trabajo realizado hasta el momento no se enfoca en modelar el ruido impulsivo aperiódico.

En el ámbito social el hecho de disponer de un modelo matemático que nos permita mejorar la eficiencia de las comunicaciones sobre líneas de potencia, conlleva a la facilidad de poder llevar información confiable a los sitios más apartados y/o poblaciones vulnerables del país. La gran ventaja de tener una infraestructura ya existente es que los habitantes de estos lugares se verían favorecidos con la comunicación por medio de esta.

Además, se puede decir que en el análisis y ejecución de este proyecto se reúnen todas las áreas en las cuales hemos desarrollado un interés por conocer un poco más

de lo que se ve en el aula de clase. Entre ellos los sistemas de potencia, comunicaciones y análisis estadístico. También es importante añadir que el modelamiento matemático del ruido impulsivo aperiódico que generan las cargas no lineales en las PLCs puede tener una extensión muy importante que daría cabida a futuros trabajos e investigaciones.

Por todo lo anterior, el problema particular que se va a atacar en este proyecto de grado, es el ruido impulsivo aperiódico que generan las cargas no lineales en las líneas de potencia.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Formular un modelo matemático que permita identificar y describir las características relevantes del ruido impulsivo aperiódico que generan las cargas no lineales en una red PLC. Este análisis debe estar acompañado por una caracterización tanto en tiempo como en frecuencia.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un montaje experimental con el fin de filtrar y obtener las diferentes variaciones del ruido impulsivo aperiódico que generan algunos tipos de cargas no lineales, este montaje debe permitir el análisis de este ruido.
- Hacer mediciones sobre líneas de potencia con cargas no lineales, que permitan tener una base de datos con la que se pueda modelar estadísticamente el ruido impulsivo asíncrono que se presenta en las PLC.
- Comparar diferentes métodos estadísticos, seleccionando el que más se acerque a nuestras mediciones y de esta manera modelar el ruido impulsivo aperiódico que generan las cargas no lineales.
- Simular mediante software el producto final obtenido para poder comprobar el funcionamiento del modelo.

4. Marco Teórico

4.1. Power Line Communication

Los sistemas de comunicaciones han evolucionado a lo largo de los años, de la mano con el desarrollo de la electrónica misma, pasando por la comunicación en radiofrecuencia, enlaces microondas, transmisión por luz y Power Line Communications, tema del cual hablaremos mostrando sus principales características, ventajas y desventajas.

4.1.1. Definición

Power Line Communication, es un mecanismo de transmisión y recepción de información, montada sobre la línea de distribución eléctrica tradicional. También se puede decir que PLC es una alternativa que surgió de las empresas que utilizaban la energía eléctrica, ya que utilizaban la red para enviar señales de control, es decir la comunicación básica entre un emisor y un receptor (El controlador y la máquina)[10]. Estas primeras pruebas de comunicación en la red eléctrica fueron atribuidas a la empresa Norte ubicada en el Reino Unido, quienes en 1997 lograron darle acceso a internet a 200 clientes en una red de baja tensión[14].

Otro de los motivos por los cuales se dispuso de esta nueva opción en comunicaciones, es que en algunas aplicaciones, por ejemplo conexiones de acceso local (LAN), se requería de un elevado precio en la instalación del equipo necesario y un gran despliegue para montar una nueva infraestructura.

Funcionamiento:

Como se explicaba anteriormente, la tecnología PLC usa la red eléctrica de media y baja tensión para transmitir información, para esto la primera tarea es separar la señal eléctrica que alimenta los dispositivos y la señal que contiene información.

Esto se realiza de forma parecida a la forma en que las líneas ADSL separan la señal de voz de la de datos: con un filtrado en frecuencia. Por una parte está la corriente eléctrica que se encuentra a 60 Hz y 110/220 Voltios, mientras que por la otra, está la información que posee una tensión de magnitud mucho menor y frecuencia en el orden de 1.2 a 40 MHz [24].

El modelo de transmisión-recepción es mostrado en la figura 2, en la cual se pueden ver las etapas generales de una comunicación sobre redes PLC. Cabe anotar que tanto el transmisor como el receptor tiene su impedancia característica, la cual debe ser acoplada con la impedancia del canal, tarea cumplida por el adaptador de Red.

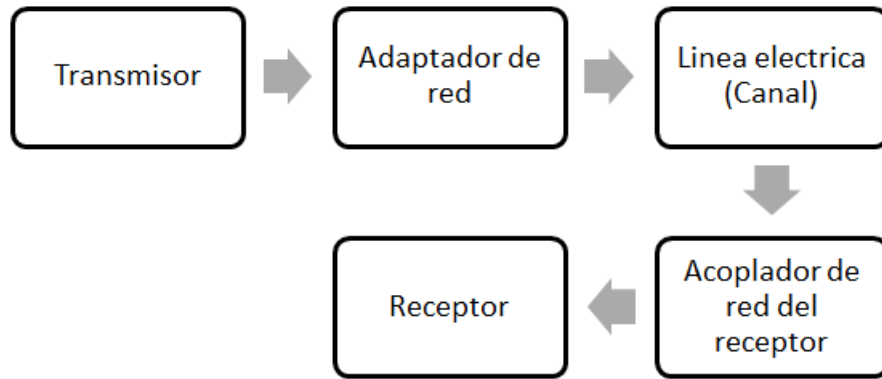


Figura 2: Sistema general de transmisión-recepción en redes PLC

Como cualquier otro modelo de comunicaciones, este tiene sus propios protocolos y tipos de modulación de sus señales. El presente trabajo no tiene como objetivo explicar a fondo dichos aspectos pero es necesario mostrar sus generalidades. Por ejemplo, la figura 3, muestra el diagrama de bloques de la modulación del tipo Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), el cual se utiliza en la comunicación PLC.

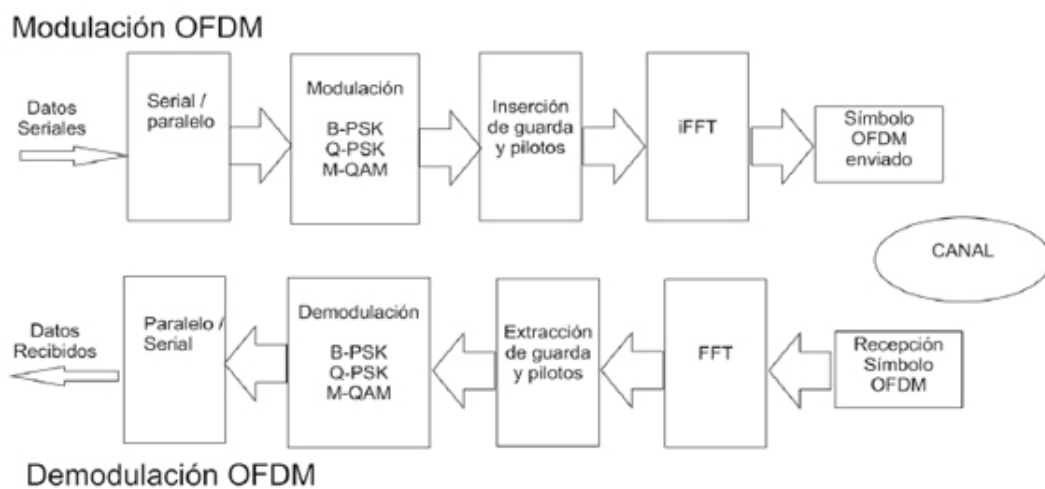


Figura 3: Diagrama de bloques de OFDM sobre PLC [22]

Este tipo de modulación se acomoda a las necesidades que presenta la línea y el tipo de comunicación que se está estudiando, puesto que posee una inmunidad considerable al ruido y puede operar a tasas de transmisión altas (mayores a 1 Megabit por segundo)[22]. También tienen sus estándares de funcionamiento propios, como el IEEE P1901.2 y bandas de frecuencia establecidas para trabajar, regulados por instituciones autorizadas[13].

4.1.2. Topologías de red

Ya se ha mencionado que las redes PLC operan en las líneas de media y baja tensión, pero no se ha explicado a qué hacen referencia dichas clasificaciones ni en que topología estamos trabajando.

Primero hay que aclarar que una red de distribución eléctrica, es el sistema que transporta la energía desde la subestación hasta el usuario en las casas o empresas.

Ahora bien, esta distribución se realiza en diferentes niveles de tensión, los cuales se clasifican así:

- *Alta Tensión*: Este tramo corresponde a las líneas que salen de las generadoras de energía. Manejan tensión en el orden de 36 kV.
- *Media Tensión*: Corresponde a las líneas encargadas de transportar la energía entre poblaciones y su tensión es aproximadamente entre 1 y 36 kV.
- *Baja Tensión*: Es el tramo en el cual se distribuye la energía al usuario final. Se trabaja en tensiones por debajo de 1kV.

La figura 4 muestra un esquema general de una red de energía que abarca desde la generación hasta el consumo, con sus diferentes niveles de tensión.

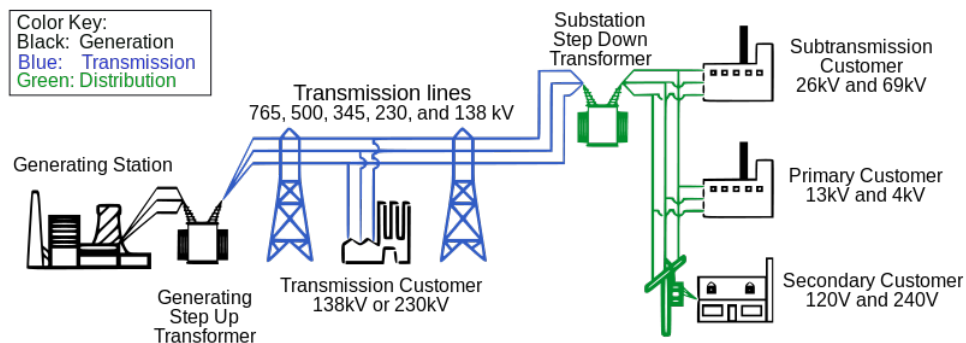


Figura 4: Sistema de suministro eléctrico [19]

4.1.3. Equipos PLC

Para explicar el funcionamiento y la clasificación de los equipos que conforman una red PLC, es necesario nombrar los dos tipos de redes que se encuentran en la actualidad.

- *Backbone*: Es la encargada de unir las dos redes en las que estamos trabajando, es decir la de energía eléctrica y la de telecomunicaciones, como fibra óptica, cable coaxial, etc. En otras palabras, su función es introducir a la red eléctrica la información que proviene de los canales convencionales.

- *PLC de exterior*: Es la encargada de manejar la infraestructura que va desde el transformador de distribución (De baja tensión), hasta el medidor de energía de cada una de las casas y empresas que lo utilizan.
- *PLC de interior*: Su función es hacerse cargo de todo el cableado que está dentro del establecimiento en el cual se va a trabajar[24].

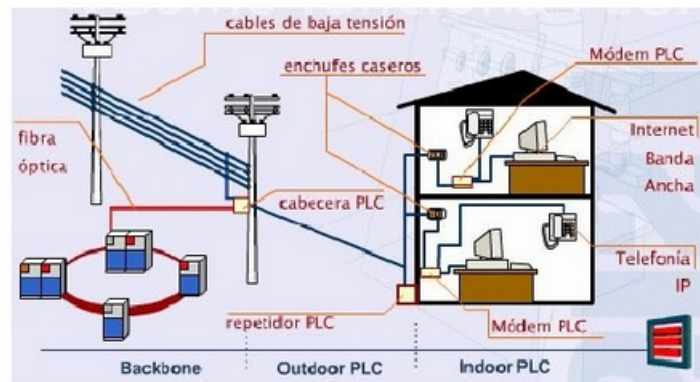


Figura 5: División de los tramos PLC [24]

Teniendo en cuenta esta distribución y la figura 5, se puede encontrar tres equipos principales para conformar una red PLC.

4.1.3.1 Módem PLC

Existen de dos tipos. Primero, los que están en el PLC de exterior, que se encargan de recoger la señal de quien del Backbone. Segundo, los que están en la edificación de la persona que desea instalar la red, que recogen la señal que proviene del enchufe y la distribuyen al dispositivo que sea necesario.

4.1.3.2 Repetidor PLC

Su función principal es mejorar la calidad de la conexión, tal como un repetidor de un sistema de comunicaciones común, puesto que amplifica la señal en el punto en el que se requiera. Adicionalmente, se instala con frecuencia en la frontera entre la instalación interior y exterior, es decir en el medidor de energía.

4.1.3.3 Cabecera PLC

Es el instrumento encargado de ejecutar la tarea del backbone, es decir que inyecta la señal a la red eléctrica. También se encarga de comunicar a la empresa prestadora del servicio con el cliente.

4.1.4. Desventajas

Como toda tecnología para enviar y recibir información, tiene sus ventajas y desventajas, en los siguientes numerales se nombrarán y explicarán algunos de ellos, para centrarnos en nuestro objeto de estudio.

4.1.4.1 Atenuación

La atenuación, definida en cualquier ámbito en el que se estudie, es la pérdida de potencia transmitida mientras que esta se aleja del emisor. Esta característica depende de muchos factores, pero el principal es la longitud de la línea de transmisión. Se puede calcular mediante la ecuación (1):

$$Atenuacion_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_{Transmitida}}{P_{Recibida}}\right) \quad (1)$$

En el caso de PLC, existen algunos otros factores que pueden atenuar la información que va entre transmisor y receptor, entre ellas:

- *Cargas conectadas a la red:* Ya que ninguna edificación conecta las mismas cargas ni en momentos iguales, se encuentran diferentes valores y comportamientos que pueden afectar la información que se envía.
- *Múltiples fases:* Cuando se transmiten señales que deben cambiar de fase a neutro o de fase a fase en el paso de la red de transporte a distribución, por ejemplo.
- *Elementos almacenadores de energía:* El más importante es el transformador, sobre todo el de distribución, ya que los equipos PLC de backbone se encuentran conectados a este.
- *Información Multitrayecto:* Este fenómeno se experimenta cuando hay reflexiones en la señal de comunicación, o cuando una señal se quiere enviar a diferentes receptores y hay desajustes en la impedancia de los puntos del multitrayecto[7].

4.1.4.2 Seguridad

La seguridad de la información que viaja por la red es un problema en cualquier tipo de comunicación. En el caso de las telecomunicaciones se ha optado por desarrollar técnicas de cifrado de la información para que sea muy difícil acceder a ella.

En el caso de comunicación sobre PLC, el problema más importante en el que nos enfocamos, es que en algunos casos se podría vulnerar la seguridad de los datos que se transmiten por eventos tales como la conexión y desconexión de equipos electrónicos en las casas y empresas, ya que estos enchufes y cables se convierten en potenciales antenas que pueden atraer la información que está en el dominio la red PLC de interior; como consecuencia, se puede reconstruir la información atraída por estas "antenas improvisadas" por alguna persona que no esté autorizada para tener acceso a ella[10].

4.1.4.3 Ruido

El ruido es el problema general a resolver en el presente trabajo, pero hay que conocer primero su naturaleza, su definición y los diferentes tipos de ruido que existen.

En el caso del ruido, la comunicación sobre líneas de energía se aparta notablemente del resto de canales de comunicación, donde el ruido blanco modela este problema y a partir de allí se buscan técnicas que lo eliminen. Esta diferencia se encuentra principalmente ya que el ancho de banda de nuestro modelo está por debajo de los 500 MHz, en el que existen los 5 tipos de ruido que se nombraron en el planteamiento del problema, pero que a continuación se van a explicar un poco más[1].

4.1.4.3.1 Ruido de Fondo

Puede tener su origen en la red eléctrica y se considera estacionario. Según la actividad de los usuarios varía su intensidad y la frecuencia con la que aparece. También presenta una densidad espectral de potencia baja[12][10].

Se le atribuye normalmente a la suma de cada una de las fuentes de ruido que presentan baja intensidad, por eso su clasificación como estacionario.

4.1.4.3.2 Ruido de Banda estrecha

Se atribuyen a señales de emitidas por radiación electromagnética, entre ellas la radio-navegación, radio móvil privada, entre otros. Por ejemplo, es típica la frecuencia intermedia a 10.7MHz usada en circuitos de televisores, teléfonos celulares o receptores de radio[12]. En general, es una perturbación aproximadamente estacionaria y una de sus características más notables es que su frecuencia central es mucho mayor que el ancho de banda[10].

4.1.4.3.3 Ruido Impulsivo periódico asíncrono con la red

Causado mayoritariamente por las fuentes de alimentación conmutadas (típicas en equipos electrónicos). Suele presentarse en la banda de frecuencias entre 50 y 200kHz. En realidad, la denominación de este tipo de ruido no es muy afortunada pues, además de esa temporización más rápida, también suelen presentar periodicidades con la frecuencia de red, en los 60Hz (probablemente debidas al circuito inicial de rectificación) por este motivo se le considera con carácter estacionario.

4.1.4.3.4 Ruido Impulsivo periódico síncrono con la red

Originado en buena medida por dispositivos no lineales que suelen integrar algunos circuitos de alimentación y de control de motores (por ejemplo tiristores y diodos). Se trata en realidad de un ruido ciclo estacionario sincronizado con la señal de 60Hz.

Tienen una similitud con el ruido coloreado en el sentido en que su densidad espectral de potencia también decrece con la frecuencia, y se le atribuye a los convertidores de potencia en buena medida[14].

4.1.4.3.5 Ruido Impulsivo Aperiódico

Nuestro objeto de estudio, es de ocurrencia aleatoria y se debe principalmente a transitorios en la red que suelen estar provocados por la conexión y desconexión de aparatos. Debido a su aleatoriedad, se le considera un tipo de ruido no estacionario, es importante anotar que es el único tipo de ruido con esta característica.

Varios autores lo consideran como el tipo de ruido más importante y uno de los principales culpables de que se caigan las comunicaciones o que se generen tasas de error muy altas [7][12].

4.2. Modelo Matemático

4.2.1. Impulso Matemático

Para algunos sistemas de comunicaciones, la función impulso unitario juega un papel determinante en su desarrollo y sobre todo en el teorema del muestreo. Matemáticamente hablando, un impulso analógico se define bajo la siguiente expresión [21]:

$$\delta(t) = \begin{cases} \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta}, & |t| \leq \frac{\Delta}{2} \\ 0, & |t| > \frac{\Delta}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Esta función es derivada de hacer tender a cero el ancho de un pulso rectangular de área 1, esto se ilustra en la figura 6.

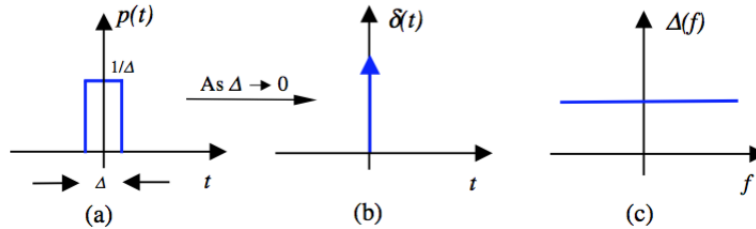


Figura 6: Impulso unitario(a), Funcion impulso(b), Espectro de frecuencia del impulso (c)[21].

La obtención del espectro de frecuencia del impulso se halla realizando la transformada de Fourier de la función impulso definida en (2), como se muestra a continuación:

$$\Delta(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-2\pi jft} dt \quad (3)$$

De igual forma la función impulso está definida en tiempo discreto como:

$$\delta(m) = \begin{cases} 1, & m = 0 \\ 0, & m \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

con su respectiva transformada de Fourier.

$$\Delta(f) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(m) e^{-2j\pi fm} = 1 \quad \forall f : [-\infty, \infty] \quad (5)$$

En la mayoría de los sistemas y en especial de comunicaciones, la señal impulso se usa constantemente para observar la respuesta del sistema. De esta manera se determina si el sistema es lineal, no lineal, invariante o variante en el tiempo.

Es de suma importancia considerar que el ruido impulsivo es visible en el dominio del tiempo y no tanto así en el dominio de la frecuencia[3].

4.2.2. Modelo de Poisson

Este proceso sirve para modelar eventos discretos en intervalos de tiempo y tiene un uso muy fuerte en modelamiento de ruido impulsivo.

En un proceso $X(t)$ donde se cuentan eventos, en el que su probabilidad de ocurrencia viene dada por una función $\lambda(t)$, la probabilidad de ocurrencia del intervalo en un espacio de tiempo $\Delta(t)$ está dada por:

$$P(\text{1 ocurrencia en intervalo } (t, t + \Delta t)) = \lambda(t) \Delta t \quad (6)$$

Y la probabilidad de no ocurrencia está dada por:

$$P(\text{no ocurrencia en intervalo } (t, t + \Delta t)) = 1 - \lambda(t) \Delta t \quad (7)$$

Si el parámetro $\lambda(t)$ es independiente del tiempo, se dice proceso homogéneo. En este caso, la función de probabilidad (FDP), vendrá dada por:

$$P(k, t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \times 10^{-\lambda t} \quad (8)$$

Con su respectiva media y varianza:

$$E[X(t)] = \lambda t \quad (9)$$

$$VAR[X(t)] = E[X^2(t)] - E^2[X(t)] = \lambda t \quad (10)$$

4.2.3. Modelo de Gauss-Poisson

Como ya se ha mencionado en las características del ruido impulsivo, se puede utilizar este modelo para obtener la posible ocurrencia de impulsos.

De acuerdo a Poisson, la amplitud del ruido impulsivo se puede modelar de acuerdo a una distribución de Gauss. Para modelar la respuesta finita en tiempo del ruido impulsivo, se efectúa por la respuesta al impulso de un filtro lineal mediante la siguiente expresión:

$$x(m) = \sum_{-\infty}^{\infty} A_k h(m - \tau_k) \quad (11)$$

Donde:

$h(m)$ es la respuesta al impulso del filtro.

A_k representa un proceso Gaussiano de media = 0 con varianza = σ^2

4.2.4. Modelo de Gauss

Este proceso se caracteriza porque la mayoría de sus sucesos acontecen alrededor de la media, y la probabilidad de ocurrencia decrece exponencialmente a medida que el resultado se aleja de la ella. Se modela con la siguiente función:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x - \mu_x)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (12)$$

4.2.5. Modelo de Markov

Este modelo es usado para modelar la trayectoria de procesos aleatorios, en donde se puede predecir la dependencia del estado actual con el anterior. Un proceso de Markov discreto de primer orden se define como el estado o valor del proceso para un tiempo m , el cual depende solamente del valor de proceso en el estado anterior $(m - 1)$ y es independiente de los estados antes de $(m - 1)$. En términos probabilísticos, un proceso de Markov se define como:

$$\begin{aligned} f(x)[x(m)] &= x_m | x(m-1) = x_{m-1}, \dots, x(m-N) = X_{n-N} \\ &= f_x[x(m) = x_m | x(m-1) = x_{m-1}] \end{aligned} \quad (13)$$

Un proceso discreto de Markov $x(m)$ con N posibles estados, son modelados por una cadena de Markov de N estados, en donde cada estado está asociado con los N valores que $x(m)$ puede tomar. En estas cadenas la propiedad Markoviana está definida como:

$$a_{ij}(m-1, m) = Prob[x(m) = j | x(m-1) = i] \quad (14)$$

Donde a_{ij} es la probabilidad en el tiempo $(m - 1)$

4.2.6. Cadenas Homogéneas

Una cadena de Markov es homogénea si las probabilidades de que cambie de estado no varían en el tiempo. Para este tipo de cadenas, la probabilidad de transición de estado no depende del tiempo en que ocurre m .

4.2.7. Modelo de Middleton Clase A

El estudio del ruido impulsivo fue propuesto por David Middleton, [2, 16] quien dividió el ruido impulsivo e identificó que este es causado por, primero interferencia del hombre cuando son conectados dispositivos a la red eléctrica y segundo de origen natural, en eventos como tormentas eléctricas, radiación solar, fenómenos atmosféricos, entre otros. Su modelo estadístico más conocido es el Middleton clase A, el cual fue de particular interés en el desarrollo de este trabajo, ya que este modelo permite de una manera sencilla y práctica, describir satisfactoriamente el ruido impulsivo y todos sus componentes.

Este modelo proporciona una FDP (Funcion de Probabilidad) de una muestra aleatoria de ruido n_k de la siguiente forma:

$$F_M(n_k) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m N(n_k, 0, \sigma_m^2) \quad (15)$$

Donde $N(x_k, \mu, \sigma^2)$ representa una función de densidad Gaussiana de media μ y varianza σ^2 donde la n-ésima muestra n_k es tomada.

Las ventajas de este modelo son:

- Brinda descripciones cualitativas y cuantitativas acerca del ruido impulsivo generado por el humano o por causas naturales.
- Proporciona un marco de referencia en donde se puedan medir correctamente las características de este tipo de ruido.
- Genera una solución matemática que se puede implementar de manera sencilla computacionalmente hablando.
- Ha sido estudiado e implementado desde los años 70, facilitando así el trabajo de caracterización y análisis de muestras, puesto que los algoritmos que lo usan ya están realizados.

A partir de este estudio, se obtuvo el modelo canónico de Middleton para la interferencias clase A . El ruido tipo A es el que más a fondo se va a estudiar en el presente trabajo, y se define como aquel que tiene un ancho de banda más angosto que el ancho de banda del receptor, esto genera cambios despreciables (físicamente hablando) en el punto de medida.

Middleton también clasificó los tipos de ruidos que pueden interferir en un canal, los cuales se dividen por dos tipos de fuentes emisoras de ruido:

- Ruido inteligente, el cual se genera debido a los humanos (transporta información).
- Ruido no inteligente el cual puede ser emitido por fenómenos naturales como ruido atmosférico o a ruido hecho por el hombre como sucede con las líneas de potencia.

La ecuación característica y función de densidad de probabilidad del ruido tipo A se definen en las ecuaciones 16 y 17 respectivamente:

$$\widehat{F_1}(ia\lambda)_A = e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_A^m}{m!} e^{\frac{\gamma_{mA}^2 a^2 \lambda^2}{2}} \left| a^2 = [2\Omega_{2A} (1 - \Upsilon'_A)]^{-1} 2\widehat{\sigma}_{mA}^2 \right| = \frac{\frac{m}{A_A} + \Upsilon'_A}{1 + \Upsilon'_A} \quad (16)$$

Donde:

A_A es el índice impulsivo y se define como la cantidad promedio de eventos impulsivos que suceden durante la duración del ruido, cuando este valor se hace más pequeño la cantidad de eventos durante el periodo de la muestra disminuyen, a medida que este valor se incrementa, el número de eventos (Poisson) se incrementa y el evento pasa de ser impulsivo a aproximarse a Gaussiano.

Υ'_A es la razón de intensidad entre la componente Gaussiana contra la intensidad de la componente impulsiva del ruido, matemáticamente se define como $\frac{\sigma_G^2}{\Omega_{2A}}$.

Ω_{2A} es la intensidad de componente impulsiva

$$P_1(\epsilon > \epsilon_0) \cong e^{-A_A} \sum_{m=0}^{\infty} A_A^m e^{-\frac{\epsilon_0^2}{2\theta m A^2}} | (0 < \epsilon_0 < \infty) \quad (17)$$

Donde ϵ, ϵ_0 un nivel mínimo de tensión.

4.2.8. Modelo de Middleton Clase B

Este tipo de ruido también describe un comportamiento no Gaussiano. Su uso es limitado debido a la función de densidad de probabilidad, ya que se presenta de una manera robusta. Es un modelo analíticamente más complejo, ya que son necesarias dos funciones para aproximar la función característica. Estas dos funciones se muestran en las ecuaciones 18 y 19; son denominadas envolvente corta y larga respectivamente :

$$\omega(\epsilon)_{B-I} = 2\epsilon \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!} A_\alpha^m \tau_B \left(1 + \frac{m\alpha}{2}\right) F_1\left(1 + \frac{m\alpha}{2}; 1; -\epsilon^2\right), (0 \leq \epsilon \leq \epsilon_B) \quad (18)$$

$$\omega(\epsilon)_{B-II} = \frac{-e^{A_B}}{4c_B^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A_B \epsilon e^{-\epsilon^2/2\sigma_m}}{m! \sigma_m^2}, (\epsilon \leq \epsilon_B) \quad (19)$$

$$\text{donde, } \epsilon = \frac{\epsilon N_1}{2G_B}; A_\sigma = \frac{A_\sigma}{2^\sigma G^\sigma}; G_B^2 = \frac{1}{4(1 + \tau_B)} \left(\frac{4 - \sigma}{2 - \sigma} + \tau_B\right)$$

en donde:

- A_B es el índice impulsivo comprendido en el rango: $10^{-2} \leq A_B \leq 1$.
- τ_B es el radio $\frac{\sigma_G^2}{\omega_{2B}}$ en donde σ_G^2 es la intensidad de el componente Gaussiano independiente, ω_{2B} es la intensidad del componente impulsivo no Gaussiano y en donde τ_B esta comprendido entre $10^{-6} \leq A_B \leq 1$.
- α es la densidad espacial de propagación
- A_α es un índice de eficiencia que depende de α , en donde A_α esta comprendido en el rango ($10^{-1} \leq A_\alpha \leq 1$)
- N_1 es el factor de escalamiento usado en la normalización del proceso de medida de intensidad del proceso, en donde ($10^{-1} \leq A_\alpha \leq 10^2$)

4.2.9. Modelo de Middleton Clase C

Este modelo es una mezcla aditiva de la clase A y B, por lo tanto las derivaciones del modelo de clase C son requeridas. La importancia de este modelo radica en que Middleton probó que el modelo de clase C puede aproximarse al modelo de clase B en muchos casos [18]. Por lo expuesto anteriormente, en este documento solo se hará énfasis en los modelos de Clase A y B de Middleton.

La principal ventaja de los modelos de Middleton es que son canónicos, es decir, sus expresiones analíticas son invariables de los mecanismos de fuente física particulares; en efecto, se espera que se comporte de la misma manera frente a cualquier tipo de interferencia.

Una aproximación gráfica de la relación entre los tres modelos explicados por Middleton se muestra en la figura 7

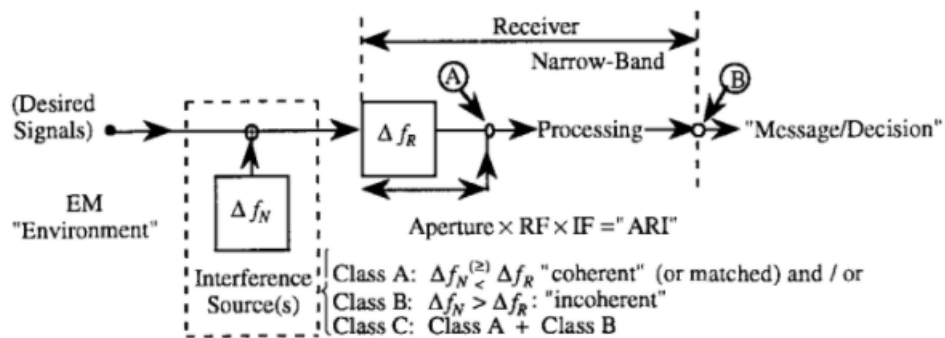


Figura 7: Esquema general de un canal de comunicaciones y aparición de las tres clases del Modelo Middleton [18]

5. Resultados

En la figura 8 se muestra el proceso que se realizó con el fin de encontrar el ruido descrito por el modelo de Middleton clase A. El algoritmo para encontrar el modelo matemático se explica mas adelante en la figura 8.

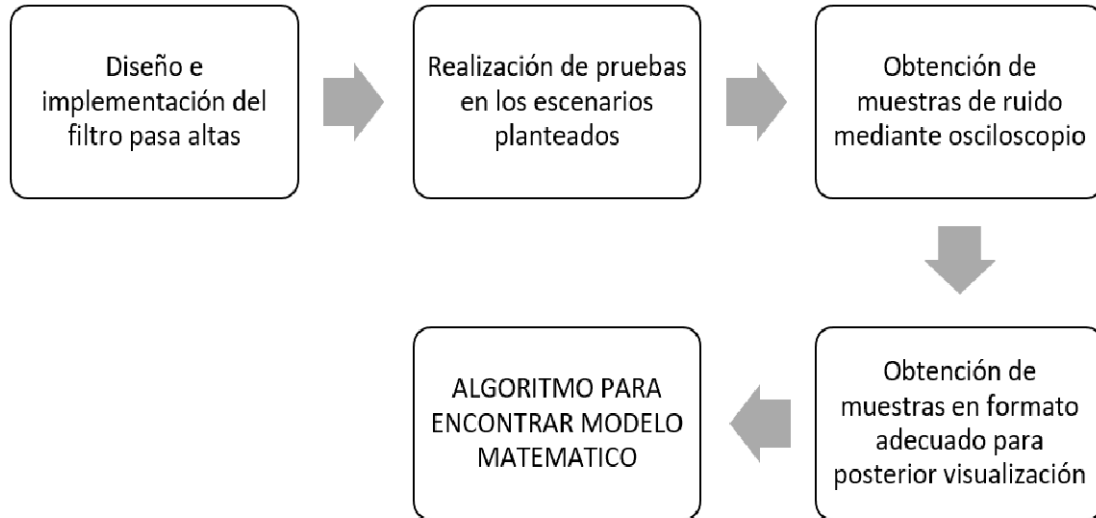


Figura 8: Diagrama de flujo del proceso de medición para la aproximación del modelo de Middleton.

5.1. Filtro pasa altas

Según [12] [14], el ruido impulsivo asíncrono aparece por encima de 1KHz. Por esta razón es necesario eliminar todas las frecuencias de la red que estén por debajo de este umbral con un filtro pasa altas de cuarto orden con frecuencia de corte $f_0 = 1KHz$

5.1.1. Diseño

El filtro que se pretende diseñar es de tipo Butterworth de cuarto orden, esto con el fin de tener suficiente grado de rechazo a las frecuencias menores a 1 KHz y una alta selectividad.

Según [20], la ecuación de transferencia de este tipo de filtro, y sus respectivos coeficientes se definen en la ecuación 20

$$H(s) = \frac{s^4}{(s^2 + 0,765s + 1)(s^2 + 1,897s + 1)} \quad (20)$$

El primer paso es encontrar una relación entre las resistencias para luego obtener el valor de los condensadores en función de ellas. Esta tarea se realiza despejando la

ecuación 21, la cual relaciona el factor de calidad (Q) con los componentes pasivos del filtro.

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{(C_1 + C_2) R_1} \quad (21)$$

Según [20], el factor de calidad (Q) se relaciona con los coeficientes de la ecuación 20 de una manera inversamente proporcional, es decir:

$$Q_1 = \frac{1}{0,765} = 1,3071 \quad (22)$$

$$Q_2 = \frac{1}{1,897} = 0,5271 \quad (23)$$

A partir de 21, se asumen C_1 y C_2 de igual valor, por simplicidad del diseño. A continuación se cancelan dichos términos y despejando la ecuación resultante se obtiene:

Para Q_1 ,

$$6,834 * R_1 = R_2 \quad (24)$$

Para Q_2 ,

$$1,1113 * R_1 = R_2 \quad (25)$$

Con la relación de resistencias hallada para cada etapa del filtro se procede a reemplazarla en la ecuación de la frecuencia de corte, la cual está definida en la ecuación 26

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C^2}} \quad (26)$$

Se reemplazan 24 y 25 en 26. Posteriormente se despejan dichos valores y se obtiene una expresión que permite hallar el valor de las resistencias.

$$R_{1,etapa1} = \frac{1}{\sqrt{6,834 * 2\pi f_c C}} \quad (27)$$

$$R_{1,etapa2} = \frac{1}{\sqrt{1,1113 * 2\pi f_c C}} \quad (28)$$

Es importante anotar que se podría asumir el valor de cualquier componente pasivo (R-C), pero se decide calcular la resistencia por simplicidad en el momento de la obtención de valores no comerciales.

El resultado de este diseño se resume en la tabla 1 y se muestra de manera gráfica en la figura 9.

Etapa	C	R_1	R_2
Primera	33 nF	18K Ω	2,2K Ω
Segunda	10 nF	24K Ω	22K Ω

Tabla 1: Valores de los componentes pasivos en el filtro pasa altas

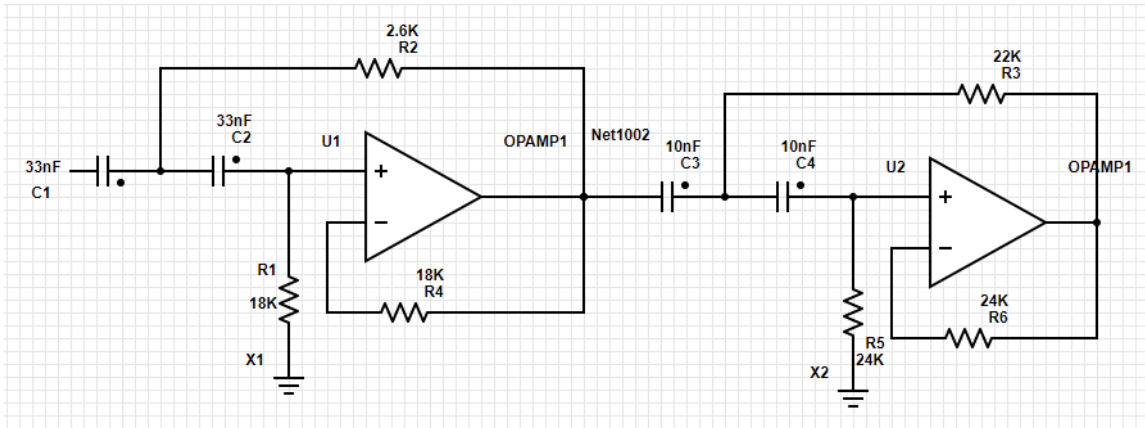


Figura 9: Circuito diseñado en la herramienta de simulación

5.1.2. Simulación

Para la simulación del filtro, se utilizó el Software NI Multisim 14.1, cuyos resultados se pueden ver en las figuras 10 y 11, las cuales muestran los valores de componentes pasivos utilizados y la referencia de los amplificadores operacionales, en este caso es un integrado LF353, que dispone de dos OPAMP cumpliendo con las especificaciones que se solicitan en el diseño.

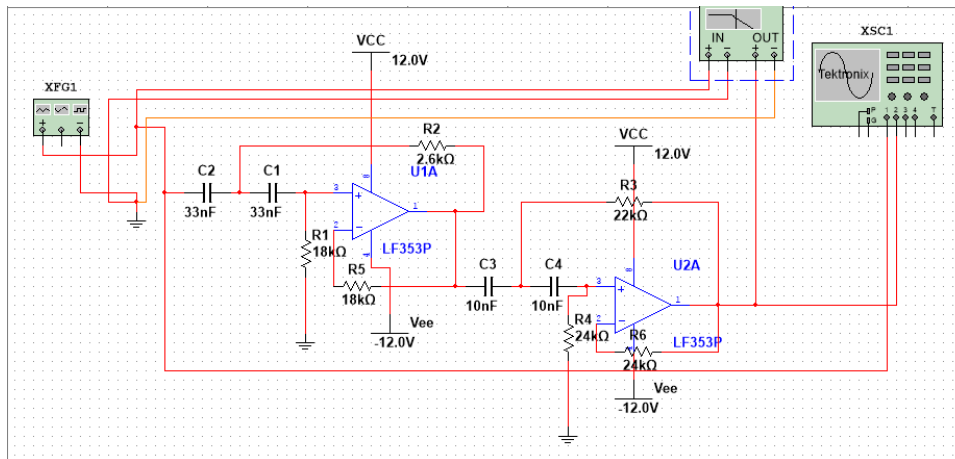


Figura 10: Circuito diseñado en la herramienta de simulación

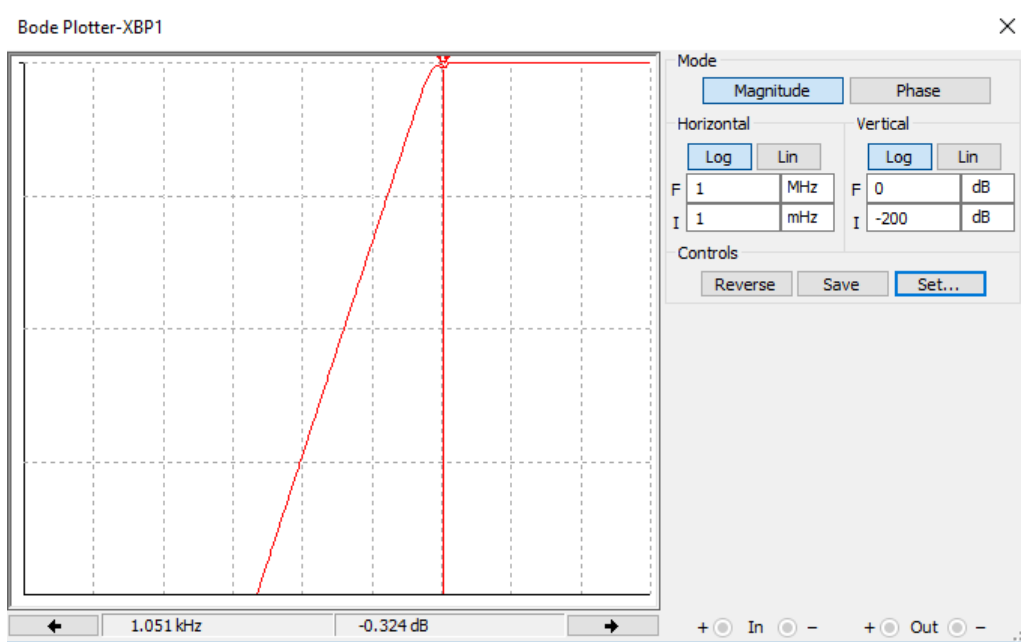


Figura 11: Barrido de frecuencia de la simulación con la herramienta Bode Plotter

5.1.3. Resultados

El circuito diseñado y simulado se montó físicamente con los valores comerciales que más se acercaban, realizando en algunos casos arreglos para mayor precisión. Las figuras 12, 13 y 15 muestran las respuestas del filtro en varias frecuencias para comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

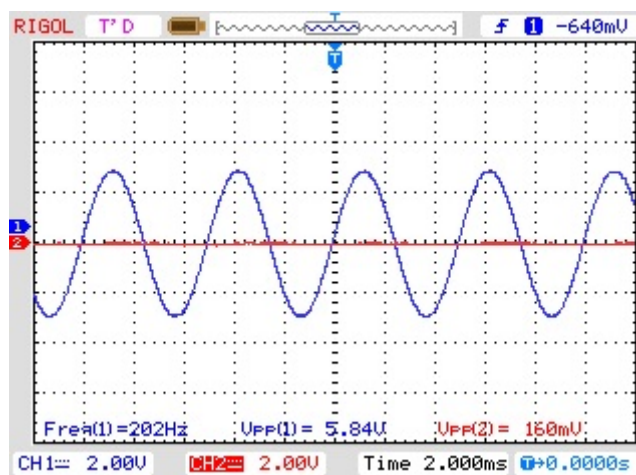


Figura 12: Respuesta del filtro a 200 Hz

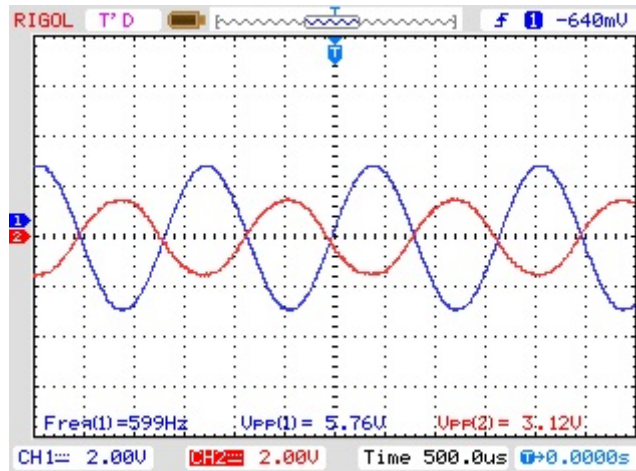


Figura 13: Respuesta del filtro a 600 Hz

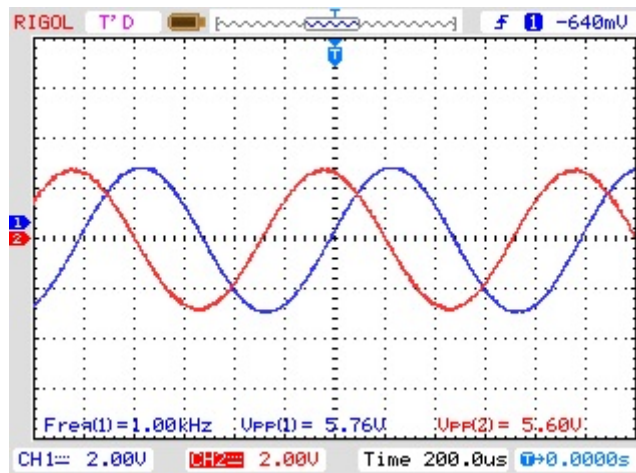


Figura 14: Respuesta del filtro a 1 KHz

5.2. Obtención del ruido impulsivo asíncrono

5.2.1. Escenarios

Las pruebas realizadas para obtener el ruido impulsivo fueron desarrolladas en tres escenarios diferentes con el fin de tener una base de datos sólida. Para cumplir este objetivo se optó por utilizar los siguientes lugares:

- Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Casa familiar estrato tres.
- Casa familiar estrato cuatro.

En cada uno se probaron cinco dispositivos electrónico distintos que actuaban como cargas no lineales. Los dispositivos fueron:

- Computador portátil.

- Consola de videojuegos Xbox 360.
- Reproductor DVD.
- Nevera.
- Lavadora.
- Horno Microondas.
- Fuente DC.

5.2.2. Diagrama del circuito de medición de señales

En cada uno de los escenarios explicados en la sección anterior, se realizó una prueba en la que se utilizaron todos los dispositivos en paralelo por medio de una multitoma. En el osciloscopio se pretendía ver en un canal la señal de la red y en el otro la salida del filtro, para de esta manera en el momento de encontrar el ruido impulsivo, se vea reflejado en la distorsión de la señal de la red. El diagrama del montaje de dicho circuito se ve en la figura 15,

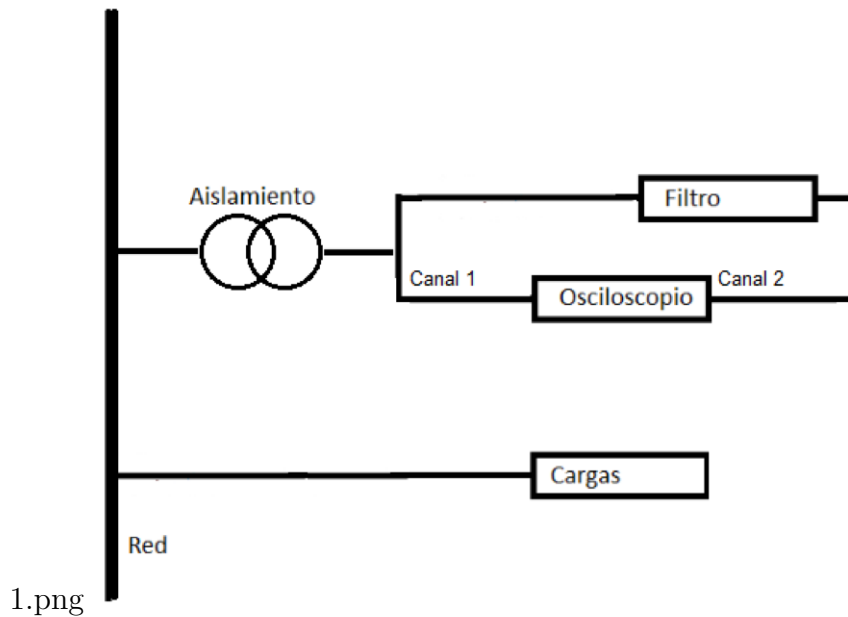


Figura 15: Diagrama de escenario de medida

5.2.3. Muestras obtenidas en Osciloscopio

A continuación se puede apreciar en las figuras 16,17,18, en las cuales se puede apreciar el ruido producido producido por la conexión de una nevera, de un computador y de un Xbox respectivamente.

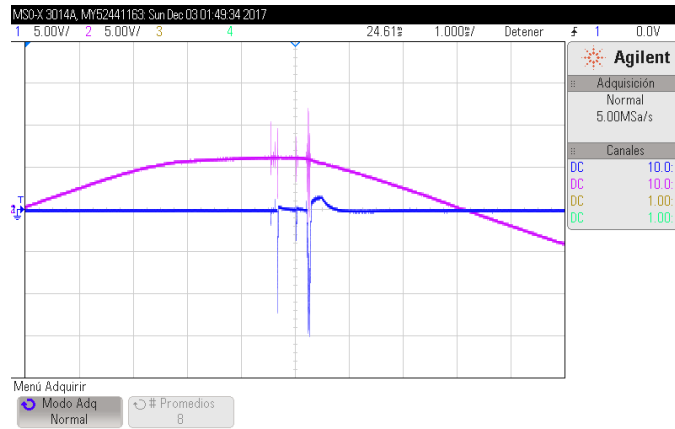


Figura 16: Señal de red (lila) y señal filtrada (azul), obtenida mediante prueba de conexión de nevera.

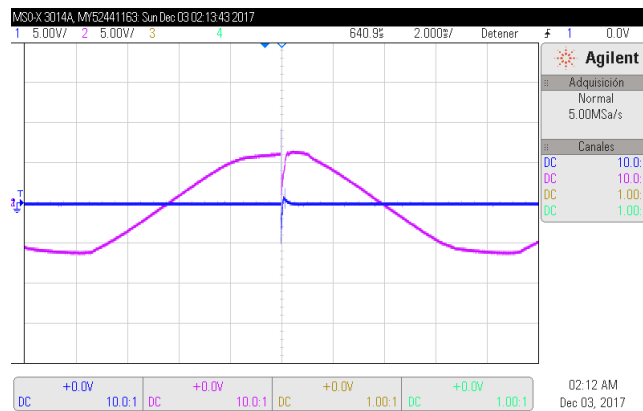


Figura 17: Señal de red (lila) y señal filtrada (azul), obtenida mediante prueba de conexión de un computador personal.

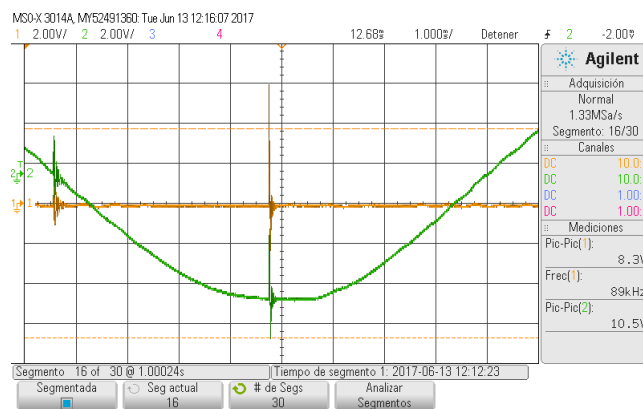


Figura 18: Señal de red (verde) y señal filtrada (naranja), obtenida mediante segunda prueba de conexión de un computador personal.

5.2.4. Implementación práctica del circuito de medición

Según lo descrito teóricamente en la figura 15, la implementación real de dicho circuito se muestra en la figura 19. Esta figura fue tomada en una vivienda de estrato 3 y como se explicó anteriormente se replicó exactamente igual en los dos escenarios adicionales (Vivienda estrato 4 y Universidad)

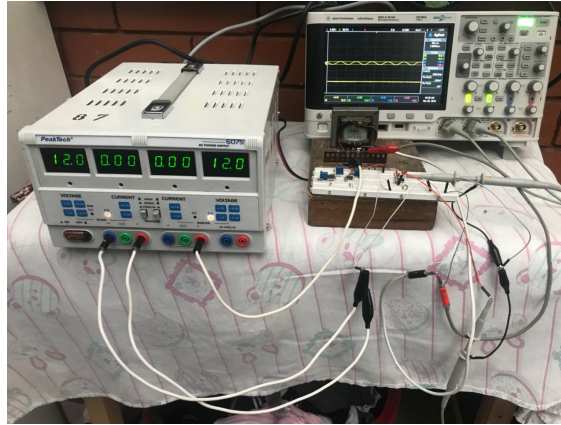


Figura 19: Diagrama de la implementación del circuito de medida

5.2.5. Resultados de las pruebas en MatLab

En las imágenes 20, 21 y 22 se puede apreciar la obtención de los respectivos gráficos en el software MatLab.

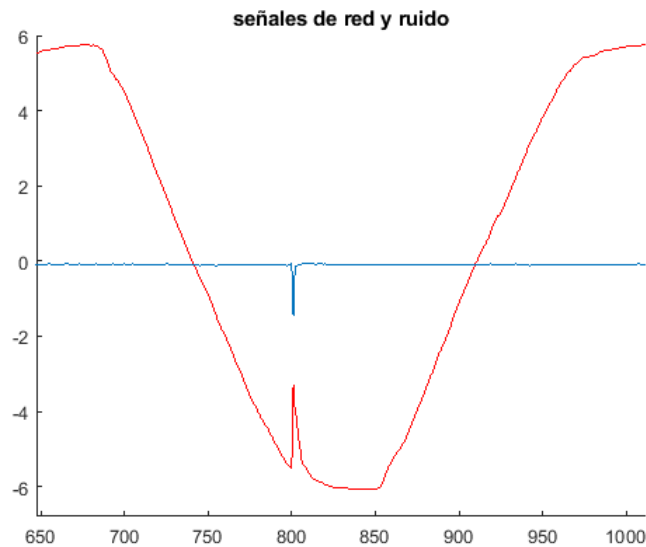


Figura 20: Señales de red (roja) y señal filtrada (azul), obtenidas en prueba.

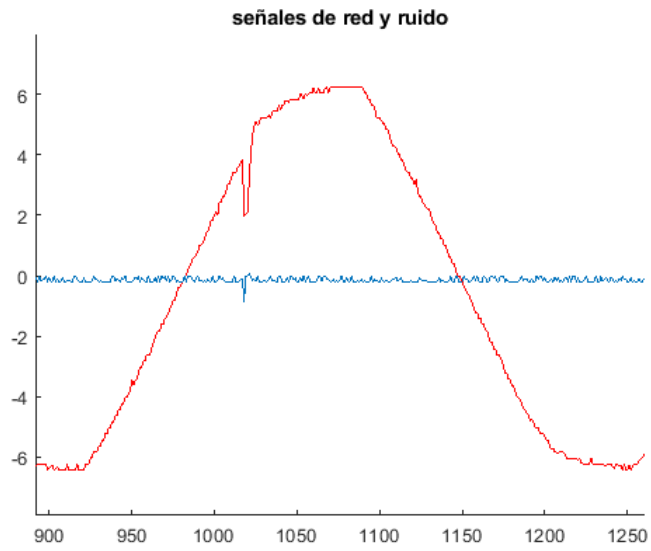


Figura 21: Señales de red (roja) y señal filtrada (azul), obtenidas en prueba.

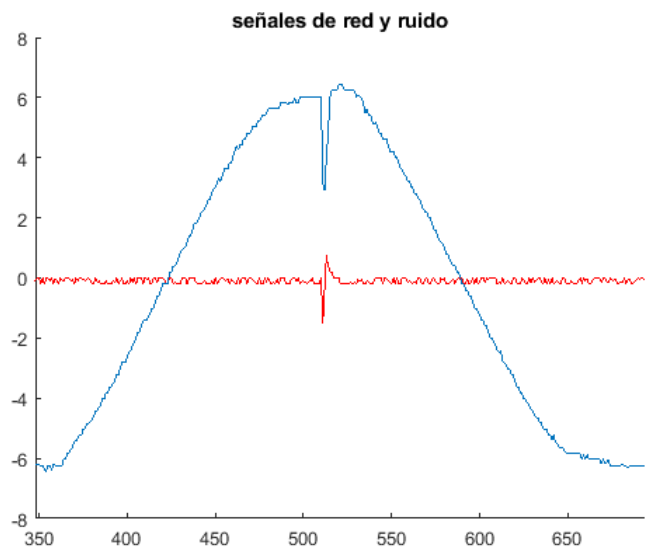


Figura 22: Señales de red (azul) y señal filtrada (roja), obtenidas en prueba.

6. Análisis de Resultados

Teniendo en cuenta las muestras tomadas en la sección anterior, a continuación se procede a darle un tratamiento a estas para obtener el modelo matemático.

6.1. Comparación y búsqueda del modelo matemático a simular

Después de analizar los diferentes modelos mencionados en el marco teórico y teniendo en cuenta los resultados vistos en [14] [16], se pretende acotar la comparación entre modelos al propuesto por Middleton y sus tres clases. Esto se debe a que es el modelo más completo de los desarrollados, ya que el modelo de Middleton se representa por el producto de una distribución de Poisson y una distribución de Gauss [16][9], lo cual representa una solución más robusta.

Según [8], el ruido se puede caracterizar de manera física y estadística, con ayuda del modelo Middleton, el cual está dividido en tres clases dependiendo el espectro de la interferencia:

- Clase A: Cuando el espectro del ruido es menor al ancho de banda del receptor.
- Clase B: Cuando el espectro del ruido es mayor al ancho de banda del receptor.
- Clase C: La suma algebraica de los dos anteriores.

El modelo clase B no será tenido en cuenta para realizar el estudio porque se centra en impulsos cuyo espectro es mayor que el ancho de banda del receptor de PLC, en los estudios previos se detalla que este ruido alcanza hasta 250 KHz o en algunos casos los 500 KHz [12] [23] mientras un receptor de PLC, y en general, los equipos que operan con este sistema de comunicaciones opera a frecuencias entre 2 MHz y 34 MHz [4] [5].

El modelo clase C tampoco será analizado debido a que Middleton probó en [18] que en la mayoría de los casos (Como fueron las muestras tomadas en este trabajo) el ruido clase C se puede aproximar de manera precisa al clase B, anteriormente descartado.

6.2. Algoritmo para encontrar el modelo matemático

- Como primera medida se verifica la cantidad de muestras generadas en el osciloscopio Agilent. La medición se hizo generalmente alrededor de un periodo de la señal de 60Hz puesto que el ruido no sobrepasa los 0.0001s.
- Acto seguido se extraen los datos del archivo en formato “*comma-separated values*” .CSV, en el cual se encuentran las muestras tanto de la red como del ruido generado por las cargas no lineales, guardándolos en vectores.
- A continuación se extraen los momentos de la muestra donde existen picos de ruido. Para lograr esta tarea, se crea un vector de la misma dimensión de los vectores de la red y el ruido.

- El siguiente paso es eliminar el ruido que no va a ser de interés (ruido de fondo) mediante el software Matlab, esto se realiza desechando los datos de la muestra de ruido que sean menores a 0,5 en magnitud.
- Posteriormente, las muestras de ruido se envían a tratamiento para lograr la obtención de los parámetros fundamentales A y K del modelo Middleton con el algoritmo desarrollado por la Universidad de Texas en Matlab.
- Este algoritmo realiza un análisis estadístico de la señal de ruido a partir de los parámetros A y K, para generar una simulación aproximada.

Este algoritmo, puede ser identificado de una mejor manera en la figura 23.

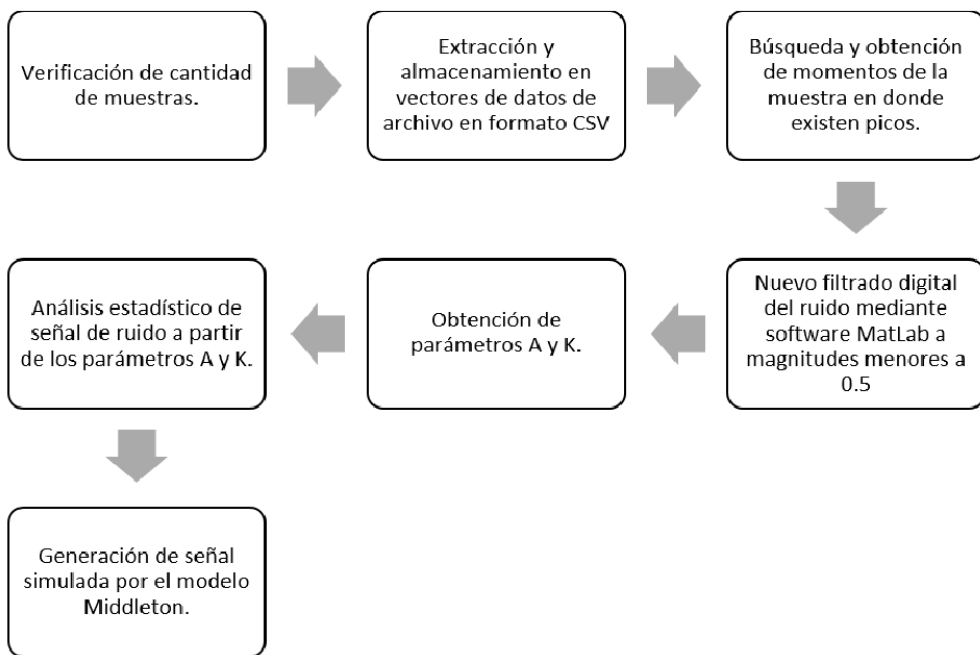


Figura 23: Diagrama de flujo para la obtención de ruido simulado

6.3. Tratamiento computacional de las señales obtenidas

El Toolbox de la universidad de Texas se utiliza para generar diferentes parámetros y generadores de varios escenarios, entre los cuales se encuentra el modelo Middleton clase A, B y C. En este caso, acorde con el marco teórico y la consulta previa realizada, se tomará como referencia el modelo clase A.

Teniendo en cuenta lo anterior, el proceso que se realizó fue obtener una muestra de ruido por cada escenario y dispositivo, el cual fue enviado a a la función RFI_EstMETHodofMoments”.

6.3.1. Función RFI_EstMethodofMoments

Esta función genera los parámetros estimados A y K, a partir de los momentos de orden par de la señal de ruido. Dicha generación se hace basada en el método de momentos de Middleton explicado en [17].

Recibe como parámetro el vector donde se guarda la muestra de la señal de la red cuando ocurren los impulsos. De este vector se obtienen los momentos de orden 2, 4 y 6.

Teniendo los momentos calculados, se obtienen los parámetros acorde a la ecuación 29 y 30

$$A_{param} = \frac{3(m_4 - (2m_2)^2)^3}{(2(m_6 + (12m_2)^3 - 9m_2m_4)^2)} \quad (29)$$

$$K_{param} = \frac{3m_2(m_4 - (2m_2)^2)}{m_6 - 9m_4m_2 + (12m_2)^3} - \frac{9(m_4 - (2m_2)^2)^3}{2(m_6 - 9m_4m_2 + (12m_2)^3)^2} \quad (30)$$

6.3.2. Función RFI_MakeDataClassA

Cuando se obtienen los dos parámetros explicados en el numeral anterior, se genera una muestra sintética del ruido obtenido. Esta función recibe como parámetros: A, Γ , M, N, Ndim, los cuales están explicados en el marco teórico (Sección 4.2.7). El parámetro Ndim no está especificado en el marco teórico puesto que es la dimensión de los datos a generar; en este caso se deja el valor por defecto (1).

Cuando se comprueba que la dimensión de los datos es de valor 1, se halla la ecuación característica del modelo, referenciada en 31.

$$F_M(n_k) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m N(n_k, 0, \sigma_m^2) \quad (31)$$

Donde,

$$P_m = e^{-A_A} \frac{A_A^m}{m!},$$

$$\sigma_m^2 = \frac{\frac{m}{A_A} + \Upsilon'_A}{1 + \Upsilon'_A}$$

Y relacionando con los parámetros obtenidos en la sección 6.3.1,

A_A : Índice impulsivo (Parámetro A)

Υ'_A : Relación de componente Gaussiana contra componente impulsiva o varianza de Middleton (Parámetro K)

Cabe aclarar que la sumatoria de la ecuación 31 va de 0 a infinito, pero en el Software se realizó hasta $n - 1$ cantidad de muestras.

6.4. Análisis estadístico de los parámetros A y K

Esta sección se enfoca en analizar y hallar la media, desviación estándar, varianza, rango, mínimo y máximo de cada parámetro, con el fin de encontrar una relación entre las iteraciones. Dichos análisis y resultados, se encuentran en las tablas 2 y 3.

Parámetros				
A	K	Carga	Evento	Escenario
-0,199	-4,045	Microondas	Desconexion	Estrato 4
-0,199	-4,045	Microondas	Desconexion	Estrato 4
-0,199	-4,045	Microondas	Desconexion	Estrato 4
-0,1976	-4,0411	Microondas	Conexión	Estrato 3
-0,1976	-4,0411	Microondas	Conexión	Estrato 3
-0,1976	-4,0411	Microondas	Conexión	Estrato 3
-0,2058	-4,1389	Nevera	Desconexion	Estrato 3
-0,2058	-4,1389	Nevera	Desconexion	Estrato 3
-0,2058	-4,1389	Nevera	Desconexion	Estrato 3
-0,2139	-4,1067	Fuente DC	Conexion	Universidad
-0,2139	-4,1067	Fuente DC	Conexion	Universidad
-0,2139	-4,1067	Fuente DC	Conexion	Universidad
-0,2126	-4,2221	Todo	Conexion	Estrato 4
-0,2126	-4,2221	Todo	Conexion	Estrato 4
-0,2126	-4,2221	Todo	Conexion	Estrato 4
-0,2003	-4,0453	Nevera	Conexion	Estrato 3
-0,2003	-4,0453	Nevera	Conexion	Estrato 3
-0,2003	-4,0453	Nevera	Conexion	Estrato 3
-0,2016	-4,0886	Computador	Conexion	Estrato 3
-0,2016	-4,0886	Computador	Conexion	Estrato 3
-0,2016	-4,0886	Computador	Conexion	Estrato 3
-0,2028	-4,1031	Microondas	Desconexión	Estrato 4
-0,2028	-4,1031	Microondas	Desconexión	Estrato 4
-0,2028	-4,1031	Microondas	Desconexión	Estrato 4
-0,2055	-4,1464	Computador	Conexion	Estrato 4
-0,2055	-4,1464	Computador	Conexion	Estrato 4
-0,2055	-4,1464	Computador	Conexion	Estrato 4
-0,2002	-4,0624	Xbox	Conexion	Estrato 3
-0,2002	-4,0624	Xbox	Conexion	Estrato 3
-0,2002	-4,0624	Xbox	Conexion	Estrato 3

Tabla 2: Parámetros A y K tomados de 30 iteraciones con diferentes señales.

	Medida					
	Media	Desviación Estándar	Varianza	Rango	Mínimo	Máximo
A	-0,204256667	0,005869247	0,0000344481	0,0157	-0,2133	-0,1976
K	-4,112236667	0,069699223	0,004857982	0,181	-4,2221	-4,0411

Tabla 3: Variables estadísticas de los parámetros.

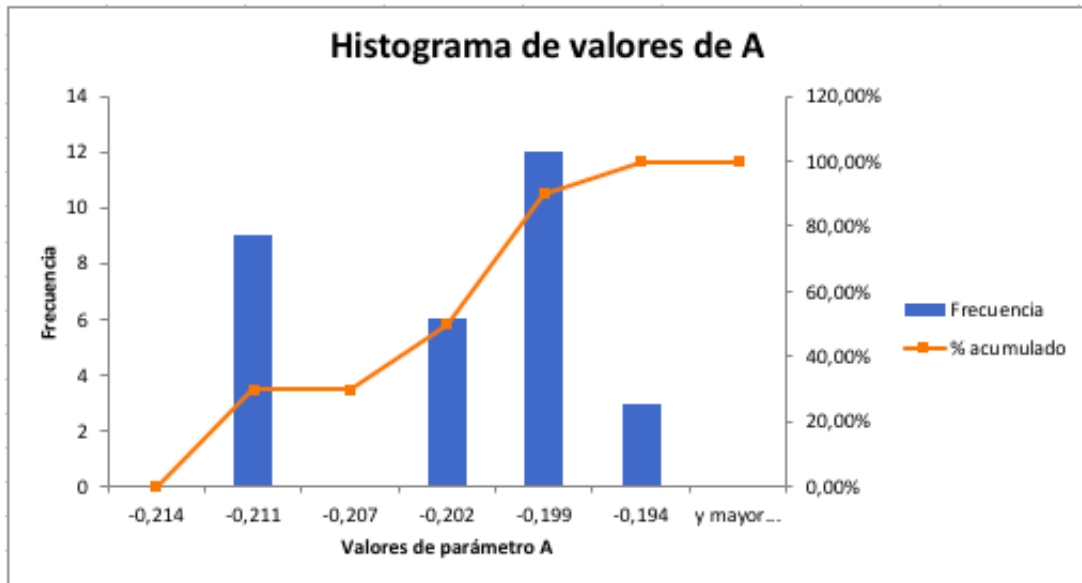


Figura 24: Histograma de valores para el parámetro A

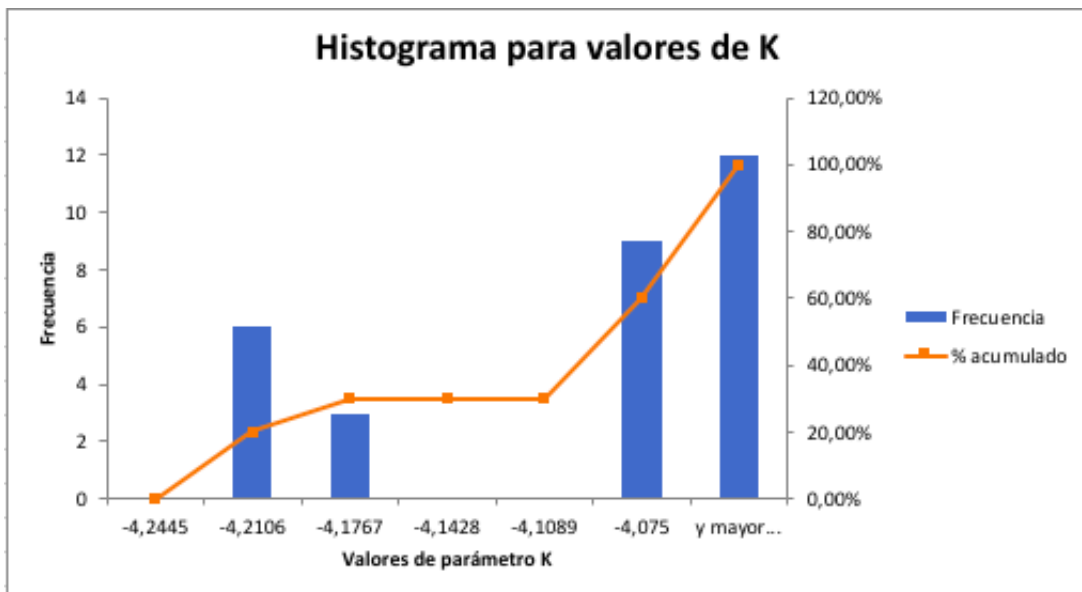


Figura 25: Histograma de valores para el parámetro K

6.5. Comparación de señales

Para tener una mayor claridad en la generación del ruido por medio del algoritmo descrito en la figura 23, y su posterior desarrollo en la sección 6.3, se muestran en las figuras 26, 27, 28 y 29 la señal que se obtiene del osciloscopio, la señal que grafica el software y el ruido que se genera luego del tratamiento computacional.

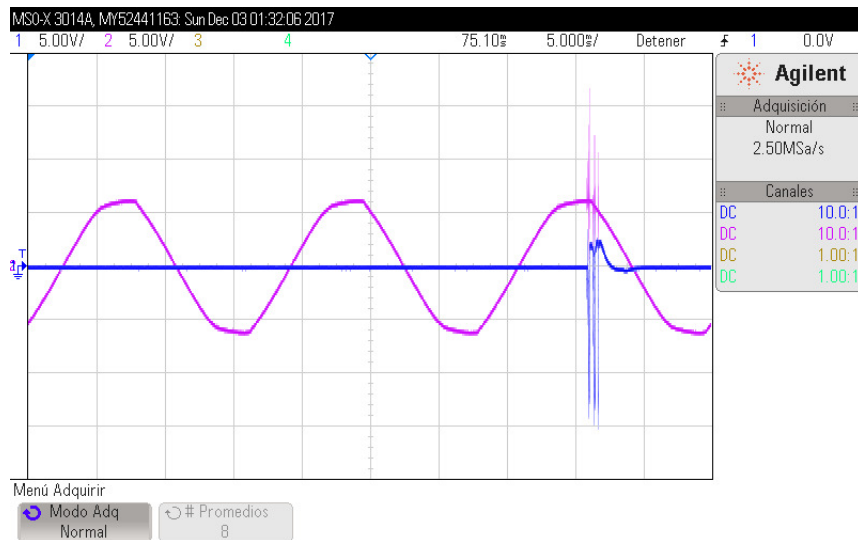


Figura 26: Señal de la red y filtrada en la conexión de un Microondas tomada en un Osciloscopio Agilent

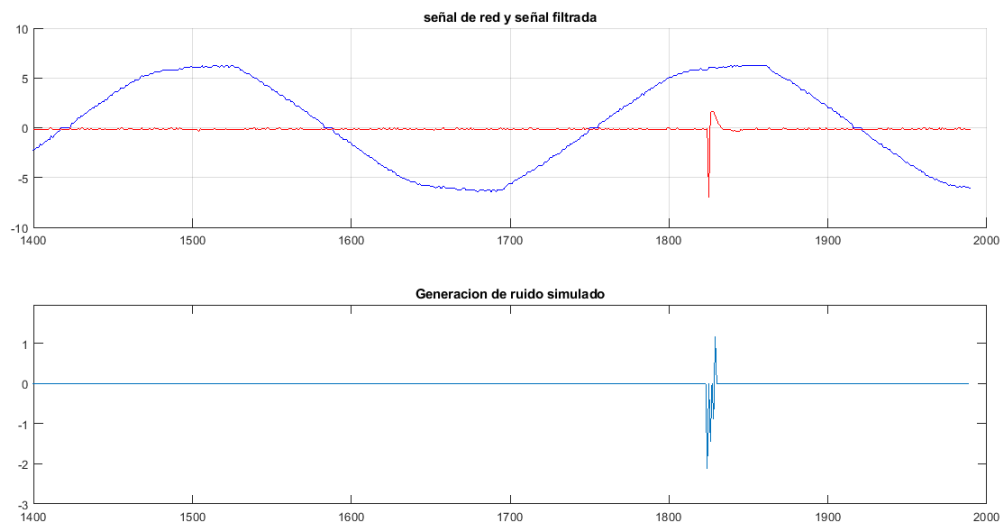


Figura 27: Comparación de señales de red (azul) y señal filtrada (roja) en el gráfico superior y señal de ruido generado con el software (señal de gráfica inferior en azul).

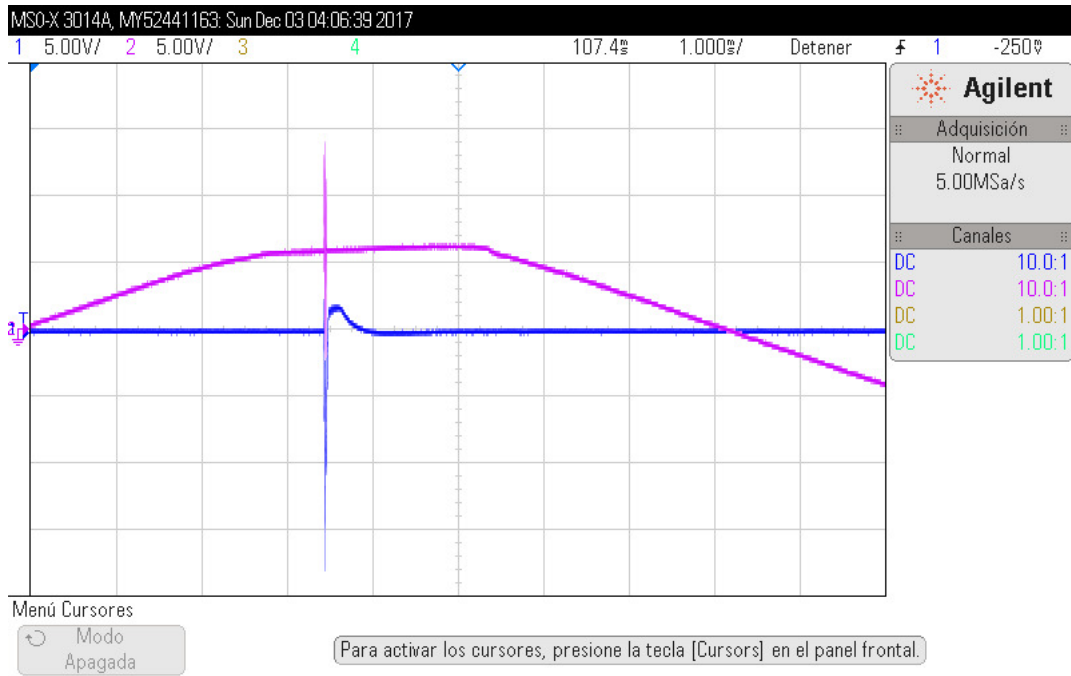


Figura 28: Señal de la red y filtrada en la desconexión de una carga no lineal, obtenida en un Osciloscopio Agilent

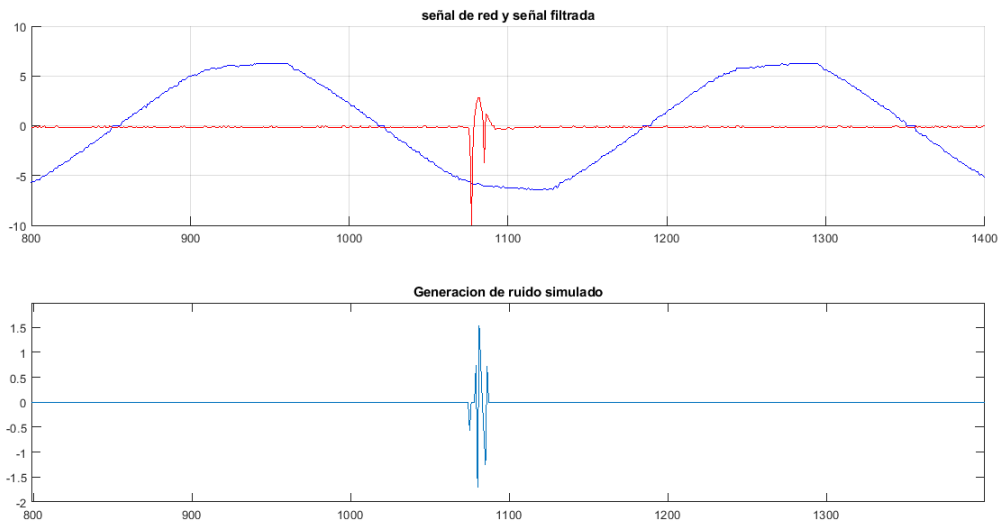


Figura 29: Comparación de señales de red (azul) y señal filtrada (roja) en el gráfico superior y señal de ruido generado con el software (señal de gráfica inferior en azul).

6.6. Realimentación de resultados

6.6.1. Comparación con cargas lineales

El trabajo realizado en el 2016 en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas obtuvo un modelo matemático para las cargas lineales en redes PLC [14].

Hay tres apreciaciones puntuales en las cuales este trabajo se aparta del anterior, los cuales son:

- El modelo de cargas no lineales se estudia en dos eventos específicos, ellos son conexión y desconexión (referenciados en la tabla 2), mientras que el modelo de cargas lineales evidenció que el ruido aparece en los anteriormente mencionados y en algunos más como el prendido, el apagado, la variación de velocidad en los motores, entre otros. Esto da como resultado que el ruido encontrado y posteriormente modelado en el presente trabajo solo aparece una vez en la toma de datos, mientras que en el trabajo anterior puede aparecer varias veces en una misma captura. Por esta razón es muy importante encontrar el momento exacto de aparición ya que, a diferencia del anterior, pueden haber varios de estos momentos y consecuentemente, simular por medio de su modelo estadísticamente dicha aparición.
- El trabajo realizado con cargas lineales encontró un comportamiento parecido en los impulsos al modelo de cargas no lineales. Adicionalmente, el modelo de cargas lineales encontró un tipo de ruido que en este caso no se ve en ningún momento. Este es el ruido Burst, el cual aparta completamente el estudio y el modelo con cargas no lineales.
- Se realizó un cambio en el modelo matemático para simular el ruido impulsivo aperiódico, específicamente en la reducción de los coeficientes que acompañan los momentos en el parámetro A utilizado en el Toolbox de la Universidad de Texas. Esto se debe a que teóricamente el rango de este parámetro debe estar entre $-1,5$ y $1,5$, y con los coeficientes que se habían generado en el trabajo con cargas lineales, los resultados salían de dicho rango. La consecuencia es que no se podía simular satisfactoriamente el ruido y se incurrían en resultados alejados de lo esperado.

6.6.2. Aportes finales

Teniendo en cuenta las apreciaciones hechas en la sección 6.6.1 es correcto afirmar, que si bien hay una relación en las señales que se obtuvo en las pruebas con respecto al trabajo realizado con cargas lineales, el modelo es diferente y se realiza un aporte significativo estableciendo un modelo propio para este escenario, con sus respectivas diferencias demostradas en los resultados.

También se puede afirmar, que basado en las figuras 27 y 29, las cuales generan una señal de ruido basado en el modelo de Middleton clase A, dichas simulaciones son una aproximación muy cercana a las muestras obtenidas en la implementación de la figura 15 en términos de amplitud, duración de impulso y tiempo entre impulsos.

Por último, el modelo matemático encontrado en el presente trabajo se detalla en la ecuación 32

$$F_M(n_k) = \sum_{m=0}^{\infty} P_m N(n_k, 0, \sigma_m^2) \quad (32)$$

Donde,

$$P_m = e^{-A} * \frac{A^m}{m!} ,$$

$$\sigma_m^2 = \frac{m+K}{1+K}$$

Y relacionando con los parámetros obtenidos en la sección 6.3.1,

A : Índice impulsivo (Parámetro A)

K : Relación de componente Gaussiana contra componente impulsiva o varianza de Middleton (Parámetro K)

7. Conclusiones

- Se diseñó, simuló e implementó un filtro pasa altos con frecuencia de corte de 1 KHz, el cual aisló el ruido impulsivo asíncrono encontrado en los eventos de conexión y desconexión de cargas no lineales a la red. Aunque fue necesario implementar otra limpieza de la señal en el programa computacional para eliminar cualquier rastro de ruido o señal que no fuera el objeto de estudio.
- Se realizaron una serie de medidas en diferentes ambientes (Universidad, residencia estrato 3 y estrato 4), con el fin de determinar cambios o comportamientos diferentes en las señales estudiadas, dando como resultado una variación mínima de estas. Dicha variación se ve reflejada en las medidas de tendencia central de la tabla 3. A partir de esta tabla se concluye que los datos tomados fueron uniformes y confiables al momento de realizar un estudio matemático.
- Los datos obtenidos en las pruebas de cada escenario, fueron tratados con el fin de analizar sus componentes en frecuencia. Esto permitió acotar el modelo a utilizar hasta el Middleton clase A, el cual era el que más se acercaba a las observaciones realizadas y de esta manera realizar las respectivas simulaciones del ruido.
- El modelo matemático de Middleton clase A sufrió una serie de modificaciones, específicamente a la función que genera los parámetros A y K, los cuales son usados en la sumatoria. De esta manera se verificó mediante la simulación por Software que el modelo es aproximable a la señal obtenida en las distintas pruebas.

8. Trabajos futuros

El trabajo realizado en este documento sirve como base para unificar todos los tipos de cargas que se conectan a la red y encontrar un modelo generalizado del ruido impulsivo aperiódico, ya que se evidencia una relación y se especifican las diferencias con el modelamiento de las cargas lineales realizado anteriormente [14].

También se sugiere seguir con el estudio de estos modelos, de manera que se pueda plantear y desarrollar algún prototipo que permita mitigar el ruido a partir de la determinación de su origen y naturaleza, nuevamente aclarando que es importante realizar estas sugerencias de la mano del análisis de los resultados encontrados en las cargas lineales, para poder obtener un prototipo completo y confiable.

Si se logra hallar un modelo matemático que unifique los obtenidos con los dos tipos de cargas, se podría sugerir una estrategia para mitigar el ruido aperiódico en redes de comunicaciones con tecnología PLC (Power Line Communications), lo que significa convertirlo en un sistema de comunicaciones confiable y de gran impacto tanto en la sociedad como en la academia.

Referencias

- [1] ANA LUIZA SIQUEIRA FERREIRA, M. V. R. *A discussion about the suitability of UWB modulation for outdoor power line communication*. IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2010.
- [2] BERRY, L. *Understanding Middleton's Canonical Formula for Class a Noise*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1981.
- [3] CALDERA, PETER Y SCHWINGSHACK, D. *On noise modeling for power line communications*. Di Bert, Luca., 2011.
- [4] CONNECTIVITY, C. G. *AV200 Powerline Ethernet Adapter*. Datasheet de un Adaptador Ethernet para PLC, 2017.
- [5] CONNECTIVITY, C. G. *Corinex Low Voltage Gateway*. Datasheet de un Gateway de Comunicaciones para PLC, 2017.
- [6] D. PYDA, M. HABRYCH, K. R., AND MIEDZINSKI., B. *Analysis of narrow band PLC technology performance in low-voltage network*. Kaunas University of Technology, Faculty of Telecommunications and Electronics, 2014.
- [7] DE ANTONIO, Y. C. *Estudio de la Factibilidad Técnica de la implementación de PLC (Power Line Communication) en la red de distribución eléctrica de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Tesis de Maestría, 2016.
- [8] EVANS, B. *In-Platform Radio Frequency Interference Mitigation for Wireless Communications*. Embedded Signal Processing Laboratory. The University of Texas at Austin, 2007.
- [9] FERNÁNDEZ, W. *Análisis y estudio del desempeño de los entrelazadores de bits de bloque, dorado y dorado relativo en un canal de línea eléctrica de baja tensión*. Revista Chilena de Ingeniería, Volumen 16. Ed 3, 2008.
- [10] GERARDO, S. S. *Medición del ruido en la línea de transmisión eléctrica generado por electrodomésticos, para aplicaciones de PLC*. Tesis Licenciatura. Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla., 2009.
- [11] J. KREJCI, T. Z., AND HRAD., J. *Impulse noise considerations related to data transmission over high-voltage lines*. Kaunas University of Technology, Faculty of Telecommunications and Electronics, 2014.
- [12] JAVIER, C. C. F. *Caracterización y modelado de redes eléctricas interiores como medio de transmisión de banda ancha*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, 2013.

- [13] JIM LECLARE, A. N., AND LEVI, V. *An Overview, History, and Formation of IEEE P1901.2 for Narrowband OFDM PLC*. Application Note 5676. Maxim Integrated., 2013.
- [14] LEÓN, J. J. R. *MODELAMIENTO DE RUIDO IMPULSIVO ASINCRÓNICO CON CARGAS LINEALES EN REDES PLC*. Tesis Pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2015.
- [15] MELIKE YIGITA, V. CAGRI GUNGORA, G. T. M. R. E. F. *Power line communication technologies for smart grid applications: A review of advances and challenges*. Computer Networks, Volume 70, 2014.
- [16] MIDDLETON, D. *Statistical-physical models of man-made and natural radio noise. Part 2: First order probability models of the envelope and phase*. US department o commerce, 1974.
- [17] MIDDLETON, D. *Procedures for determining the properties of the first-order canonical models of Class A and Class B*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1979.
- [18] MIDDLETON, D. *Non-Gaussian noise models in signal processing for telecommunications: New methods and results for Class A and Class B noise models*. IEEE Transactions on Information Theory, vol. 45, no. 4, pp. 1129-1149, 1999.
- [19] OF ENERGY, U. S., AND OF NATURAL RESOURCES CANADA, M. *Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada. Causes and Recommendations*. U.S.-Canada Power System Outage Task Force, 2003.
- [20] THOMAS F. SCHUBERT, E. M. K. *Fundamentals of Electronics, Book 3: Active Filters and Amplifier Frequency Response*. Morgan Claypool Publishers, 2016.
- [21] WILEY, E. J. *Advanced Signal Processing and Digital Noise Reduction*. VASEGHI, Saeed., 2006.
- [22] Y GARCÍA-UGALDE FRANCISCO JAVIER, B.-C. C. A. *Performance of an Error Control System with Turbo Codes in Powerline Communications*. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XV, 2013.
- [23] Y R.B. DONALDSON., M. C. *Attenuation of communication signals on residential and commercial intrabuildings power-distribution circuits*. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, pag. 220–230, 1986.
- [24] YOSÉLÍ OROZCO, M. U. *TECNOLOGÍA PLC: ANÁLISIS DE SISTEMAS Y TOPOLOGÍAS ELÉCTRICAS COMO CANALES DE ACCESO A REDES IP*. Universidad Católica Andrés Bello. Facultad de ingeniería. Trabajo de Grado, 2006.

A. Anexo 1: Enlaces a contenido digital del trabajo

En el siguiente enlace se encuentra la base de datos de las medidas tomadas en cada uno de los escenarios, las referencias y demás material de apoyo que no es posible condensar en el trabajo. Este se encuentra en:

<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/0B1NvUT2DALtsM1U3cHFnX1NXU3c>

B. Anexo 2: Algoritmos utilizados

A continuación se muestra el tratamiento que se le realizó a los archivos .csv con el fin de manipularlos en el software MatLab; de esta manera se preparan los datos que serán utilizados por la herramienta desarrollada por la Universidad de Texas.

```
close all;
clear all;
data = csvread ('nevdes11.csv',4,0);
tiempo = data(1:1990,1);
canal2 = data(1:1990,2);%
canal1 = data(1:1990,3);%
temp= 0:1:length(tiempo)-1; % se crea un vector fila de tiempos de la dimension adecuada
figure;
title('señales de red y ruido');
hold on
plot(temp,canal1,'r'); % se dibuja tiempo contra señal de red canal 1
plot(temp,canal2); % se dibuja tiempo contra señal de ruido canal 2

espectro=fft(canal1);
figure;
title('espectro');
hold on
axis ([-1000 19900 0 5000]);
frecuencias = linspace(1,1990,1990)';
%plot(abs(fft(canal1)));
plot(frecuencias, abs(espectro));
legend('espectro');

tiempoquedura=length(1:1990);

legend('espectro');

tiempoquedura=length(1:1990);

for i=1:length(temp)
    if abs(canal2(i))> 0.5
        tiempoquedura(i)=1;
    else
        tiempoquedura(i)=0;
    end
end

figure;
title('tiempoderuido');
hold on
plot(temp,tiempoquedura,'r'); % se dibuja tiempo contra señal de red canal 1
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tabulate(canal1);
% Se van a quitar los valores que no son relevantes para la muestra,
% en este caso el ruido de fondo que se obtiene valores entre +0.4 y -0.4
% se eliminan
tiempodelruido= length(canal1);% tiempo que dura el ruido impulsivo.
for i=1:tiempodelruido
```

```

tiempodelruido= length(canall);% tiempo que dura el ruido impulsivo.
for i=1:tiempodelruido
    if abs(canall(i))< 0.4
        canallsinRFondo(i)=0;
    else
        canallsinRFondo(i)=canall(i);
    end
end

tabulate(canallsinRFondo);
muestrasderuido = 1:1:tiempodelruido;

figure;    %señal sin ruido de fondo
subplot(2,1,1);
plot(muestrasderuido,canallsinRFondo,'b');
title('señal sin ruido de fondo');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(frecuencias, abs(fft(canallsinRFondo)));
%plot(abs(fft(canallsinRFondo)));
title('Espectro de señal sin ruido de fondo');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Estimacion de parametros
[A K]= RFI_EstMethodofMoments(canall);    % se estiman los parametros del

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Estimacion de parametros
[A K]= RFI_EstMethodofMoments(canall);    % se estiman los parametros del
                                        % ruido clase A
                                        A
                                        K

Ruido= RFI_MakeDataClassA (A, abs(K), length(canall), length(canall)); % se hace muestra sintetica
                                        % del ruido clase A

for i=1:length(Ruido)
    if (abs(Ruido(i))< 0.5 || tiempoquedura(i)==0)
        Ruido(i)=0;
    % elseif(tiempodelruido(i)==0)
    %     Ruidol(i)=0;
    else
        Ruido(i)=Ruido(i);
    end
end

[A1 K1]= RFI_EstMethodofMoments(canallsinRFondo);    % se estiman los parametros del
                                        % ruido clase A
Ruidol= RFI_MakeDataClassA (A1, abs(K1), length(canall), length(canall)); % se hace muestra sintetica
                                        % del ruido clase A

for i=1:length(Ruidol)
    if (abs(Ruidol(i))< 0.5 || tiempoquedura(i)==0)
        Ruidol(i)=0;
    % elseif(tiempodelruido(i)==0)
    %     Ruidol(i)=0;
    else
        Ruidol(i)=Ruidol(i);
    end
end

```

```

figure; %%%%% señal estimada con ruido de fondo
subplot(2,1,1);
hold on
plot(muestrasderuido,canal1sinRFondo,'b');
plot(muestrasderuido,canal2,'r');
title('señal de red y señal filtrada');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(temp,Ruido1);
%plot(abs(fft(canal1sinRFondo)));
title('Generacion de ruido simulado');% se dibuja el ruido.

figure; %%%%%%%señal estimada sin ruido de fondo
% subplot(2,1,1)
plot(temp,Ruido1);
title('generacion de paretros sin ruido de fondo 1');% se dibuja el ruido.

% subplot(2,1,2);
% plot(abs(fft(Ruido1)));
grid on;

```

C. Anexo 3: Funciones de Matlab para la generación del ruido

En este anexo se encuentran las dos funciones utilizadas originalmente para obtener los parámetros A y K y para generar el ruido clase A bajo las condiciones iniciales. Cabe anotar que dichas funciones fueron ajustadas a la necesidad de este trabajo en particular y para llegar al resultado esperado.

Función para generar los parámetros A y K:

```
function [A_est K_est] = RFI_EstMethodofMoments(env_data)
% [A_est K_est] = RFI_EstMethodofMoments(env_data)
% Estimates the parameters of a Middleton Class A model based on the method
% of moments developed by Middleton in [1]
% Inputs:  env_data - Vector of observed envelope values for the noise data
%          assumed to follow the Middleton Class A model.
% Outputs: A_est  - Estimate of the impulsive index parameter of the
%                Middleton Class A model
%          K_est  - Estimate of the parameter K (= impulsive index * Gaussian factor) of the
%                Middleton Class A model
%
% References:
% [1] D. Middleton, "Procedures for determining the properties of the first-order canonical models of Class A and Class B
%      electromagnetic interference",
%      IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 21, pp. 190-208, Aug. 1979.
%
% Copyright (c) The University of Texas
% Please see the file Copyright.txt that came with this release for details
% Programmers: Kapil Gulati (gulati@ece.utexas.edu)
%              Arvind Sujeeth (arvind.sujeeth@mail.utexas.edu)
%
% Estimator
m2 = moment (env_data, 2);
m4 = moment (env_data, 4);
m6 = moment (env_data, 6);

% Equation 3.5b, 3.5c and using the fact that K = A * Gamma
% Note that Eq 3.5b is incorrect in [1] and has been correctly implemented
% in this code.
A_est = 9 * (m4 - 2 * m2^2)^3 / (2 * (m6 + 12*m2^3 - 9*m2*m4)^2);
Gamma_est = 2 * m2 * (m6 + 12*m2^3 - 9*m2*m4) / (3 * (m4 - 2*m2^2)^2) - 1;
K_est = 3*m2*(m4 - 2*m2^2)/(m6 - 9*m4*m2 + 12*m2^3) - 9*(m4 - 2*m2^2)^3/(2*(m6 - 9*m4*m2 + 12 * m2^3)^2);

return;
```

Función para generar el ruido en simulación:

```

function noise_data = RFI_MakeDataClassA (A, Gamma, M, N, NDim)
% noise_data = RFI_MakeDataClassA (A, Gamma, M, N, NDim)
% This function generates a vector of synthetic data samples of unit second moment
% that follow the Class A Middleton Noise model. When NDim > 1, it generates
% data of NDim dimensions based on isotropic extension of the Middleton
% Class A model.
% Inputs:  A - overlap index (in general belongs to [10^-2,1])
%          Gamma - ratio of the intensity of the independent Gaussian
%                 component to the intensity of the impulsive non-Gaussian
%                 component (in general belongs to [10^-6,1])
%          M - Number of terms in the Class A pdf that should be
%                 considered while generating the noise samples.
%          N - No of samples to be generated. For efficiency of
%                 calculations do not make N greater than 10^3.
% Optional Inputs:
%          NDim - Dimension of the data being generated (default = 1)
% Outputs: noise_data - NDim x N size matrix of noise data generated based on
%                 the Class A Middleton Noise model with the given
%                 parameters.
%
%References:
% [1] A. Spaulding and D. Middleton, "Optimum reception in an impulsive
%     interference environment-part I: Coherent detection," IEEE Transactions on
%     Communications, vol. 25, no. 9, pp. 910-923, 1977
% [2] D. Middleton, "Non-Gaussian noise models in signal processing
%     for telecommunications: New methods and results for Class A and Class B
%     noise models", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 45, no. 4,
%     pp. 1129-1149, May 1999.
%
% Copyright (c) The University of Texas
% Please see the file Copyright.txt that came with this release for details
% Programmers: Kapil Gulati (gulati@ece.utexas.edu)
%              Marcel Nassar (nassar@ece.utexas.edu)
%              Marcus DeYoung (deyoung@ece.utexas.edu)
%
% Revisions:
% Date      Version   Owner    Comments
% -----
% 09/22/07  1.0        gulati   Original RFI NoiseSamplesClassA
% 11/22/07  1.1 Beta    nassar   Removed the old implementation, and made this
%                                     function just an encapsulation for
%                                     RFI_makeScalarPDFClassA and RFI_makeScalarNoiseClassA_pdf
%                                     (written by DeYoung) to improve computational performance.
% 11/11/08  1.2 Beta    gulati   New implementation
% 12/11/10  1.6 Beta    gulati   Extended to generate multidimensional data

if nargin < 5
    NDim = 1;
end

% Generate the weighting factors for the normal density terms 0 through M
m_vec = [0:M-1];
pdf_weights = exp(-A)*A.^m_vec./factorial(m_vec);

% Generate a RV based on the weights calculated. If selectionMat(i) = j,
% then this indicates that the noise data(j) is derived from the j'th term
% in the Class A density, i.e. normal with variance ((j/A + Gamma / (1 +
% Gamma)). j/N would be approx equal to exp(-A) * A^j/j! (for large N).
selectionMat = randsample([0:M-1],N,true,pdf_weights);

% Generate the noise data based on the selectionMat vector generated
noise_data = zeros(NDim, N);
for m = 0:M-1
    sigma_sq = (m/A + Gamma) / (1 + Gamma);
    inds = find(selectionMat == m);
    noise_data(:, inds) = mvnrnd(zeros(1,NDim), sigma_sq*eye(NDim), length(inds)).';
    noise_data = noise_data + randn(1,N).*sqrt(sigma_sq).*(selectionMat == m);
end

noise_data = noise_data./repmat(sqrt(mean(noise_data.^2, 2)), 1, N);

return

```