



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Estudios de las técnicas de modulación empleadas en PLC y
simulación de una de ellas utilizando Matlab.**

AUTOR:

Paredes Calderón, Francisco Javier

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, Ecuador

13 de Marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Paredes Calderón, Francisco Javier como requerimiento para la obtención
del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.**

TUTOR

Romero Paz, Manuel de Jesús

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Paredes Calderón, Francisco Javier**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación **“Estudios de las técnicas de modulación empleadas en PLC y simulación de una de ellas utilizando Matlab.”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

PAREDES CALDERON, FRANCISCO JAVIER



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Paredes Calderón, Francisco Javier**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudios de las técnicas de modulación empleadas en PLC y simulación de una de ellas utilizando Matlab”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

PAREDES CALDERON, FRANCISCO JAVIER

REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a document summary is displayed:

- Documento:** [trabajo de titulacion2 \(1\).docx](#) (D36253279)
- Presentado:** 2018-03-08 11:36 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.urkund.com
- Mensaje:** Revisión Final Paredes [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight in the message section indicates: "2% de estas 24 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes."

On the right, the "Lista de fuentes" (List of sources) tab is active, showing a table with the following columns: "Categoría" and "Enlace/nombre de archivo".

Categoría	Enlace/nombre de archivo
>	TESIS MOISES MONTOYA Final.docx
	Trab. de Titulación Final- Moncay...
	http://www.ijeecse.com/V4N6-023...
	https://doi.org/10.1109/UKSim.20...
	https://doi.org/10.17706/IJCEE.20...

At the bottom of the interface, there is a toolbar with icons for "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir", along with a yellow warning box that says "1 Advertencias".

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Estudios de las técnicas de modulación empleadas
en PLC y simulación de ellas utilizando Matlab.

AUTOR: Paredes Calderón, Francisco Javier

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: Romero Paz, Manuel

DEDICATORIA

A Dios, por siempre darme la fuerza, valentía, coraje para poder estar en este momento especial en mi vida. Por todos los obstáculos superados y por los momentos difíciles que me permitieron llegar a donde estoy.

A mi padre Francisco que él ha sido uno de los pilares fundamentales para poder alcanzar este momento en mi vida, ya que, gracias a sus consejos, a sus enseñanzas, a su inagotable paciencia, y a amor paternal puedo estar donde estoy.

A mi madre que con su infinito amor me ayudaba a levantarme cada mañana con una sonrisa para poder siempre empezar el día con el pie derecho, por darme los alimentos necesarios para poder ejercer un día arduo entre el futbol y los estudios, por sus palabras de aliento cuando los momentos eran muy difíciles decía con mucho valor que podría sobreponerme de cualquier situación por lo fuerte y capaz que era.

A mi hermana Karen que, gracias a sus ocurrencias, sonrisa, carisma me permitieron relajarme en los momentos de más tensión que tuve durante el camino a culminar mi carrera, por siempre estar a mi lado para brindarme un caluroso abrazo cuando más lo necesitaba sin pedírselo, por ese orgullo que siente al ver que poco a poco con esfuerzos y exigencia he podido lograr cada meta que me he propuesto.

A mis hermanos menores Daves y Natasha que son bases fundamentales para exigirme día a día al máximo, porque son ellos motivos de inspiración y de siempre querer sacar lo mejor de mí para que ellos puedan ver que todo se puede lograr con perseverancia, optimismo y dedicación.

EL AUTOR

PAREDES CALDERON, FRANCISCO PAREDES

AGRADECIMIENTO

A mi madre, que siempre me ha demostrado como poder salir de cualquier situación que nos encontremos en la vida, ya que por más difícil que esta se vea siempre habrá una luz al final del camino.

A mi padre, que desde pequeño me ha demostrado lo que es el sacrificio, la lucha continua, la honestidad en el ámbito laboral, que siempre busca la manera correcta y justa de hacer las cosas, y que nada quede medias siempre bien hecho.

A mis padrinos Mercy Torres y Donald Levy que a pesar de no vernos constantemente como nos gustaría siempre tienen una palabra de fe, de fuerzas, de aliento, de optimismo para mí ya que siempre creyeron en mis capacidades incluso cuando el mundo pudo dudar de ello.

Al Msc. Manuel Romero, mi tutor del trabajo de investigación, por su gran guía y asesoramiento no solo en este trabajo sino durante mi paso por la carrera.

A mis mejores amigos que siempre han estado ahí para mí tanto en las buenas como en las malas, que siempre han sabido como aconsejarme en mis momentos difíciles y es gracias a ellos que siempre me alentaron a dar todo de mí en cada paso que diera en mi vida.

A mi familia de parte de mi madre que han sido una parte fundamental en mi vida que cada vez que viajo donde ellos me alientan, se enorgullecen y me aconsejan para que no desista.

Finalmente le agradezco a esos familiares míos que partieron antes de tiempo que siempre me pudieron dibujar una sonrisa en mi rostro por siempre creer en mí incluso cuando recién empezaba a dar mis primeros pasos por la vida.

EL AUTOR

PAREDES CALDERON, FRANCISCO PAREDES



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. _____

PALACIOS MELÉDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas.....	XV
Resumen	XVI
CAPÍTULO 1: INTRODUCCION	17
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes	18
1.3. Planteamiento del Problema	19
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
1.5. Hipótesis.....	20
1.6. Metodología de investigación	20
CAPÍTULO 2. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA PLC	21
2.1. Estado del Arte de PLC	21
2.2. Funcionamiento de PLC	22
2.3. Categorías de PLC	23
2.3.1. Red de acceso PLC	25
2.3.2. Redes de área local basadas en PLC	27
2.4. Esquemas de modulación para sistemas PLC	28
2.4.1. Modulación de portadora única	29
2.4.2. Técnicas de espectro disperso.....	29
2.4.3. Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) ...	30
2.4.4. Modelo OFDM para comunicación PLC	31
2.5. Ruido de comunicación de la línea de potencia	33

2.6. Diferentes tipos de Ruidos	34
2.7. Caracterización del Modelo de canal PLC interior.....	35
2.7.1. Propagación de una red PLC Interior.....	35
2.6.2 Aplicación de OFDM sobre la comunicación de línea de potencia interior	37
2.8. Análisis de ruido en canales domésticos para comunicaciones de línea de potencia de banda estrecha	37
2.9. Enfoques de modelado de canales PLC	38
2.9.1. Enfoque de arriba hacia abajo (top-down)	38
2.9.2. Enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up).....	39
2.10. Tecnologías y aplicaciones de comunicación Smart Grid	40
2.11. Comunicaciones inalámbricas en Smart Grid.....	40
2.11.1. Wi-Fi.....	41
2.11.2. WiMax	41
2.11.3. ZigBee.....	42
2.12. Comunicaciones alámbricas en Smart Grid	42
2.12.1. Fibra Óptica.....	42
2.13. Modelado del sistema PLC para aplicaciones de comunicación Smart Grid.....	43
2.14. VISIÓN GENERAL DE SMART GRIDS AND PLC	45
2.14.1. Necesidad de redes inteligentes	45
2.15. Arquitectura de red inteligente.....	45
CAPÍTULO 3: EVALUACION DE SIMULACIONES EN MATLAB.....	46
3.1. Técnicas de modulación digital utilizados en ODFM	46
3.1.1. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)	46
3.1.2. Modulación por desplazamiento de Frecuencia (FSK).....	46
3.1.3. Modulación por desplazamiento de amplitud.	47

3.1.4. Modulación por desplazamiento cuadrafásica (QPSK)	47
3.1.5. Modulación de amplitud en cuadraturas de 8 estados (8-QAM)48	
3.1.6. Modulación de amplitud en cuadraturas de 16 estados (16-QAM)	48
3.2. Tasa de error binario	49
3.3. Análisis del rendimiento de 16-QAM utilizando OFDM.....	49
3.3.1. Modelo de PLC.....	49
3.3.2. Conversión Serie a paralelo	51
3.3.3. Modulación con la Inversa FFT	52
3.3.4. Inserción de prefijo cíclico	52
3.4. Simulación y resultados.....	53
3.4.1. Convertir la señal binaria en una señal de valor entero	54
3.4.2. Modulado usando 16-QAM	55
3.4.3. Agregado del ruido blanco gaussiano	55
3.4.4. Creación de un Diagrama de Constelación.....	55
3.4.5. Calcule el sistema BER.....	56
3.4.6. Asignación de símbolos binarios para la constelación 16-QAM56	
3.4.7. Asignación de símbolos con codificación gris para la constelación 16-QAM.....	57
3.4.8. Crear filtro coseno elevado	57
3.4.9. Simulación del BER.....	58
3.4.10. Visualización de efectos de filtro	59
Conclusiones	61
Recomendaciones	62
Glosario	63

Índice de Figuras

Capítulo 1:

Figura 1. 1: Sistema de Transmisión MT y BT	19
---	----

Capítulo 2

Figura 2. 1: Distintas velocidades en la tecnología de acceso PLC	23
Figura 2. 2: Diferentes bandas de frecuencias para PLC Banda Estrecha ..	24
Figura 2. 3: Esquema general de la distribución de la red PLC	25
Figura 2. 4: Red de acceso para PLC	26
Figura 2. 5: La arquitectura PLUS de Main.net	26
Figura 2. 6: Red LAN que incluye archivos, impresoras e Internet compartidos basados en PLC	27
Figura 2. 7: Métodos de modulación para comunicaciones de línea de potencia	28
Figura 2. 8: espectro FDM	30
Figura 2. 9: Espectro OFDM	31
Figura 2. 10 : Eficiencia espectral de OFDM en comparación con FDM convencional	31
Figura 2. 11: Modelo PLC	31
Figura 2. 12: El modelo para comunicación PLC con la técnica de modulación OFDM	32
Figura 2. 13: Una red simplificada de línea de alimentación interior	36
Figura 2. 14: Diagrama esquemático de la configuración de medición	38
Figura 2. 15: Respuestas de frecuencia de los canales de referencia OPERA	39
Figura 2. 16: PLC utilizado como una red troncal para una red Wi-Fi	41
Figura 2. 17: Combinación de red BPL de media tensión con Fibra Óptica ..	43

Figura 2. 18: Diagrama de bloque general de la comunicación de la línea de alimentación.....	43
Figura 2. 19: Modelo Tx	44
Figura 2. 20: Modelo Rx.....	44
Figura 2. 21: Marco NIST para el modelo de red inteligente.....	45

Capítulo 3

Figura 3. 1: Diagrama de la constelación QPSK.....	47
Figura 3. 2 : Diagrama de la constelación para 8-QAM	48
Figura 3. 3: Diagrama de constelación para 16-QAM.....	48
Figura 3. 4: Ejemplo del desempeño BER en diferentes tipos de modulación	49
Figura 3. 5: Concepto de PLC	50
Figura 3. 6: Comunicación de potencia y datos a través de un cable de línea de alimentación.....	50
Figura 3. 7: Comunicación de datos entre dos módems PLC a través de una línea eléctrica.....	50
Figura 3. 8: Modelo de canal de comunicación PLC junto con ruido (t)	51
Figura 3. 9: Representación del diagrama de bloques del modelo OFDM... ..	51
Figura 3. 10: Implementación de OFDM por FFT	52
Figura 3. 11: Adición de prefijo cíclico	52
Figura 3. 12 El trazado de los primeros 40 bits en un diagrama de tallo. ...	54
Figura 3. 13: El trazado de los primeros 10 símbolos en un diagrama de tallo.	54
Figura 3. 14: Gráfico de la dispersión	55
Figura 3. 15: Mapeo de simbol binario 16-QAM.....	56
Figura 3. 16: Mapeo de símbolos codificados en grises de 16 QAM	57
Figura 3. 17: Respuesta al Impulso	58

Figura 3. 18: diagrama de ojo para señal en fase.....	59
Figura 3. 19: diagrama de ojo para señal en cuadratura	59
Figura 3. 20: La señal recibida (antes y después del filtrado)	60

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Funciones usadas en Matlab	53
--	----

Resumen

El trabajo de investigación trata de manera detallada los parámetros en el que trabaja la tecnología Power Line Communication (PLC) que se la considera como un medio de comunicación moderno el cual está basado en la conexión óptima en una red de datos para dispositivos multimedia (computadores, celulares, consolas de juego) a través de la red eléctrica. La tecnología PLC tiene características especiales, ya que utiliza dos ramas muy diferentes que se combinan: las telecomunicaciones y la electricidad. La transmisión y recepción de la información por medio la tecnología PLC ha logrado un importante impacto en la actualidad para su continua investigación, experimentación y generar aplicaciones en las redes eléctricas inteligentes. La constante presencia de ruido, interferencias siguen siendo el problema por resolver en el medio de transmisión de las redes eléctricas, se hace necesario seleccionar técnicas de modulación que den resultados óptimos en el comportamiento de la tecnología PLC. Por medio de los estudios de las técnicas de modulación y a partir de simulaciones a través del programa Matlab en base a diferentes variantes, se logra corregir y optimizar el uso de esta tecnología en los Smart Grids. El desempeño de parámetros importantes como la tasa de error de bits, los diagramas de dispersión, que determina las mejores condiciones en las cuales puede trabajar PLC en la infraestructura eléctrica. La técnica del cual se basa el trabajo de investigación es la modulación por Multiplexación de División de Frecuencias Ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM).

Palabras claves: PLC, MULTIPLEXACIÓN, OFDM, SMART GRID, BER, MATLAB.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCION

1.1. Introducción

El aumento significativo de la demanda de servicios multimedia de banda ancha en los últimos años continúa creciendo a un ritmo rápido. La conectividad de banda ancha a Internet, por ejemplo, tiene una gran demanda y se está convirtiendo cada vez más en un elemento básico fundamental para los hogares y las empresas. Actualmente existe una variedad de tecnologías empleadas para proporcionar conectividad de banda ancha a los hogares y oficinas de los consumidores y dentro de ellos. Sin embargo, Power Line Communications (PLC) presenta una oportunidad atractiva para la conectividad multimedia de banda ancha a la solución de última milla y, por lo tanto, ha recibido una cantidad abrumadora de interés de investigación.

El PLC obtiene beneficios de las redes de cableado eléctrico ya existentes para proporcionar servicios de datos de alta velocidad. PLC aprovecha la construcción de cableado eléctrico para construir redes de área local (LAN) que entregan servicios de red de alta velocidad como acceso a internet de banda ancha, voz sobre IP (VoIP) y servicios de entretenimiento en el hogar a cada enchufe en las instalaciones residenciales o comerciales. El incentivo que impulsa el uso de PLC es que utiliza una infraestructura que es mucho más omnipresente que cualquier otro medio cableado (bucles telefónicos, Ethernet, fibra óptica), por lo tanto, no requiere nuevas instalaciones de cableado.(Mosalaosi, 2014)

En la mayoría de los casos, construir una red doméstica usando el cableado eléctrico de CA existente es más fácil que tratar de usar cables, más seguros y más confiables que los sistemas inalámbricos de radio como 802.11b y relativamente económicos también. Aunque el uso práctico del PLC ha existido desde los años 1900, es solo reciente (los 90) que la comunicación de la línea eléctrica ha cobrado impulso.

Tradicionalmente, las aplicaciones de PLC se limitaban a servicios de banda estrecha como voz y señales de control en redes de alta tensión (HV) y de media tensión (MT), gestión de demanda máxima (pérdida de carga) y lectura automática de medidor (AMR) en baja tensión (LV) redes. Hasta la fecha, el avance en la tecnología y la producción en asociación con la demanda de los consumidores de servicios de banda ancha han facilitado un rápido crecimiento en el mercado de Internet. En consecuencia, esto ha establecido la necesidad de redes domésticas y soluciones de domótica, de las cuales la comunicación por línea de potencia es un candidato ideal. (Mosalaosi, 2014)

1.2. Antecedentes

La tecnología PLC ha estado en operación por más de un siglo, sin que el público en general lo sepa, pero las compañías de servicios públicos lo han utilizado para implementar sus propios sistemas telefónicos a través de las líneas de distribución desde la década de 1920. Otro uso extenso de esta tecnología fuera del conocimiento público ha sido la eliminación de carga, desconectando los géiseres de agua caliente de un lugar de monitoreo central durante las horas punta.

Sin embargo, solo en los últimos tiempos los consumidores se han vuelto expertos en las promesas de esta red de línea de energía "gratuita" cuando Estados Unidos y los países europeos comenzaron a permitir la producción y venta de módems de línea eléctrica para redes domésticas y domótica. (Mosalaosi, 2014)

La capacidad de las líneas de alta tensión y de baja tensión para llevar a cabo una transmisión de datos fiable se hizo más clara a medida que pasaban las décadas, simplemente porque estas líneas tienen una topología simple con características de transferencia predecibles. La conexión entre los diferentes niveles de tensión de la red de potencia generalmente requiere pasar por alto los transformadores en los puntos de conversión, arruinando la simplicidad de la topología. Tales transformadores se ven como se

muestra en la figura 1.1 desplegada para transformar de MV a LV para alimentar asentamientos residenciales. (Mosalaosi, 2014)

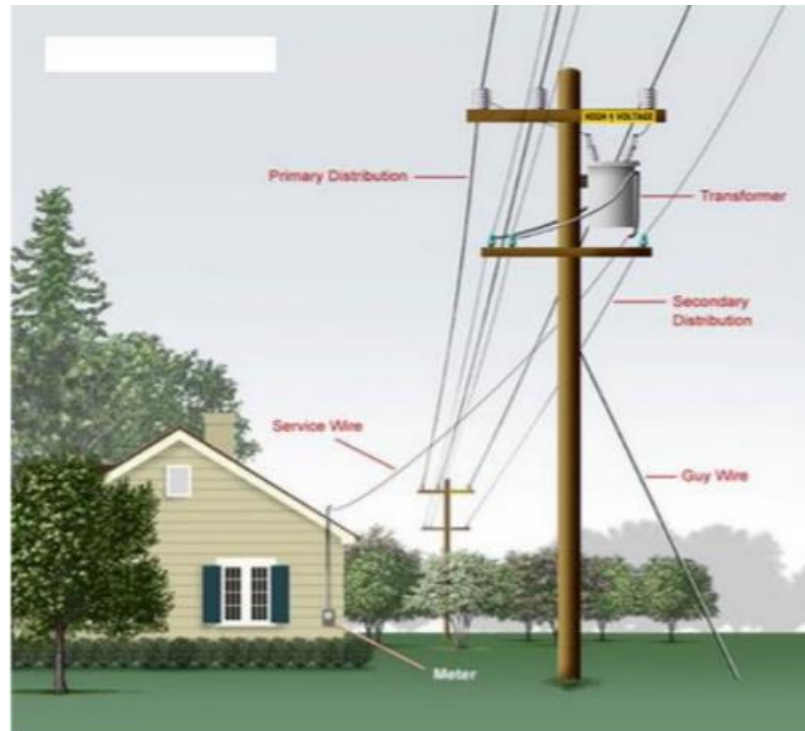


Figura 1. 1: Sistema de Transmisión MT y BT
Fuente: (Mosalaosi, 2014)

1.3. Planteamiento del Problema

La necesidad de obtener y conocer los parámetros por los cuales trabajan las diferentes técnicas de modulación OFDM utilizados en PLC para su implementación a las infraestructuras eléctricas inteligentes (Smart Grid).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar mediante una evaluación comparativa los diferentes tipos de modulación para obtener el óptimo uso de PLC en redes inteligentes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las técnicas de la modulación en comunicaciones inteligente.
- Describir comparativamente los modelos de modulación para la tecnología PLC.

- Simular mediante el programa Matlab los distintos parámetros de las técnicas de modulación.

1.5. Hipótesis

Lograr demostrar mediante la simulación en el programa MATLAB de la técnica de modulación 16-QAM que se pudo disminuir la tasa de error binario y que se pudo recuperar información que se perdía en la constelación de bits.

1.6. Metodología de investigación

En el presente trabajo investigativo previo al título académico de Ingeniero en Telecomunicaciones, la metodología utilizada es exploratorio y descriptivo. “EXPLORATORIO”, ya que se evalúa el desempeño de los diferentes métodos de modulaciones que se usa en la tecnología PLC, esto se lo muestra en el Estado Actual. Es “DESCRIPTIVO”, puesto que permite estudiar y determinar las características principales y bajo qué circunstancias la modulación OFDM que se emplea en la tecnología PLC para poder demostrar que es capaz de ser utilizada de manera óptima en las infraestructuras eléctricas inteligentes (Smart Grids).

La investigación se ambienta en la estructura “EMPÍRICO-ANALÍTICO” con una propuesta “CUANTITATIVA” puesto que se emplean modelos matemáticos para el óptimo uso de la modulación OFDM.

El diseño del trabajo investigativo es “PRE-EXPERIMENTAL”, porque mediante simulaciones bajo diferentes parámetros se busca llegar a demostraciones de los acontecimientos físicos electrónicos de la modulación OFDM en un canal de comunicación PLC.

CAPÍTULO 2. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA PLC

2.1. Estado del Arte de PLC

El uso de cables eléctrico para brindar la capacidad de transmisión de datos, conocido como Power Line Communications (PLC), recientemente ha experimentado una mayor implementación.

Los fabricantes de los dispositivos de PLC para dentro de casa (In-Home) y para las aplicaciones con Smart Grid informan que están enviando millones de tales dispositivos y esperan que el número continúe creciendo a futuro. Las redes de la tecnología PLC brindan unas series de ventajas haciéndolo un complemento muy útil y un muy fuerte competidor para las soluciones de las redes inalámbricas.

El principal atractivo de esta tecnología es el bajo costo de implementación cuando una infraestructura de red cableada ya está implementada. En adición, las redes PLC facilitan la comunicación a través de obstáculos que normalmente degradan las señales inalámbricas.

Además, las redes PLC permiten la comunicación a través de obstáculos que comúnmente degradan las señales inalámbricas, a la vez que ofrecen altas velocidades de datos. PLC también proporciona una alternativa de bajo costo para complementar las tecnologías existentes cuando se apunta a una cobertura ubicua. Por ejemplo, como una red de retroceso para redes de sensores inalámbricos o células pequeñas.(Cano et al., 2016)

Dado que una de las principales ventajas del uso de redes PLC es la posibilidad de reutilizar la red eléctrica cableada existente para proporcionar capacidades de comunicación, la red inteligente sigue siendo una de las aplicaciones más atractivas de PLC y, en consecuencia, la investigación llevada a cabo en esta área es enorme.

Las altas tasas de datos que actualmente se pueden alcanzar con PLC comparable con WiFi y Ethernet doméstica lo hacen adecuado para aplicaciones multimedia en el hogar. Estos escenarios, junto con los casos de redes inteligentes, corresponden a una de las áreas más estudiadas de aplicabilidad de redes PLC.

Las aplicaciones que proporcionan un medio para la comunicación en los sistemas de transporte en los que ya existe una implementación eléctrica también pueden aprovechar las redes de PLC. En este contexto, las redes PLC se han explorado para su uso en comunicaciones a bordo de vehículos, sistemas navales y de aviación, así como en trenes.

Sin embargo, la aplicabilidad de las redes PLC no está restringida a estos escenarios. Se ha propuesto una gama de aplicaciones novedosas para redes de PLC que incluyen robótica, autenticación, sistemas de seguridad en minería, así como usos dentro de acoplamiento inductivo, comunicación sin contacto y transferencia de energía inalámbrica.

2.2. Funcionamiento de PLC

Bajo una adecuada adaptación de la infraestructura existente de la red eléctrica, a través de los cables se puede transmitir una señal de 50/60 Hz usada como fuente de energía para señales de mayor frecuencia. La señal PLC viaja modulada a partir de 1,6 y 40 MHz dependiendo del sistema que se utilice, ya que no existe un único estándar, sino que hay un grupo de diversos sistemas. Normalmente se utilizan 3 tipos de modulación:

- DSSSM (Modulación del espectro de secuencia directa).
- OFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal).
- GMSK (Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano).

Las velocidades en la cual se transmite la señal difieren con cada tecnología, pero las velocidades más comunes van desde los 14 Mbps y 45Mbps, aunque se quiere lograr llegar a velocidades mayores de 200 Mbps con continuas experimentaciones que nos darán el respectivo soporte para poder optimizar el uso de la tecnología PLC.

En la figura 2.1, se muestra las diferentes velocidades de acceso que se viene manejando en la tecnología PLC desde los inicios en el año 2000 donde aparece la primera generación o versión, a partir del 2004 hasta la actualidad se encuentra en su 3era versión.

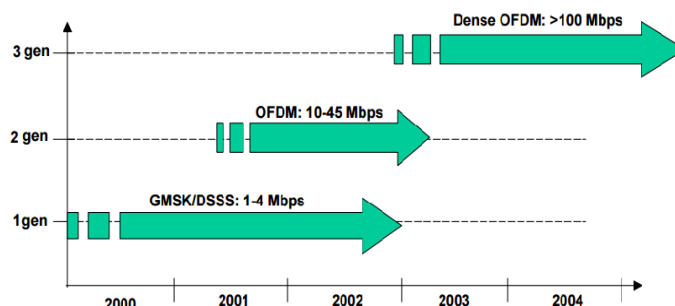


Figura 2. 1: Distintas velocidades en la tecnología de acceso PLC
Fuente: (Eléctricas, 2012)

- Desde 1 hasta 4 Mbps con la modulación DSSS/GMSK (1era generación).
- Desde 10 hasta 45 Mbps con la modulación OFDM (2da generación).
- Mayores a 100 Mbps con Dense OFDM (3era Generación).

2.3. Categorías de PLC

La tecnología PLC se puede clasificar en dos: PLC para banda estrecha y PLC para banda ancha. La diferencia entre las dos clasificaciones primero se da en las velocidades que se puede enviar o transmitir los datos, segundo las funciones que estas pueden cumplir según las aplicaciones que se les quieran dar a función de la tecnología PLC.

PLC en Banda Estrecha. Se maneja en un rango de frecuencia que va desde los 3 a 148,5 kHz. Donde este se los divide en 4 bandas donde:

- La banda "A" va desde los 3 a 95 kHz.
- Las bandas "B", "C" y "D" van desde los 95 kHz a 148 kHz.

PLC en banda estrecha se utiliza para la lectura en los medidores o los contadores eléctricos, en aplicaciones para casas inteligentes, y para supervisar la red eléctrica.

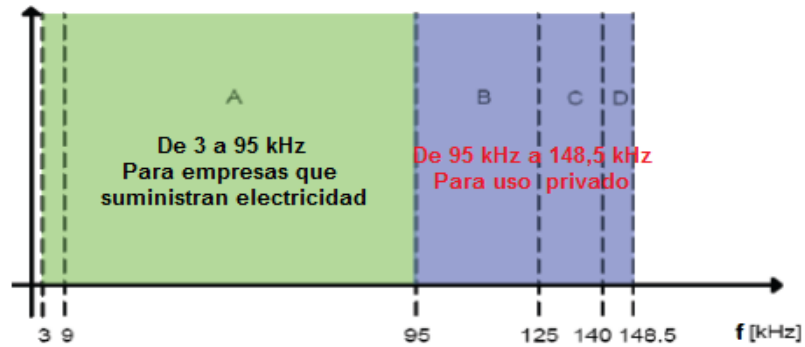


Figura 2. 2: Diferentes bandas de frecuencias para PLC Banda Estrecha
Fuente: (Bañon Peñuelas, Benito Casado, & Rodriguez Garcia, 2007)

PLC para Banda Ancha

Los sistemas de comunicación de Banda Ancha sobre Línea de Poder (BPL) pueden entregar comunicaciones de voz, datos y video de alta velocidad a los usuarios finales al transmitir energía de radiofrecuencia sobre las líneas de energía eléctrica existentes. Aunque esta tecnología no es nueva, los nuevos logros en la implementación de BPL la han hecho más práctica en los últimos años.

La infraestructura existente para BPL es la ventaja más considerable de esta tecnología. Dado que las líneas de energía eléctrica han llegado principalmente a todas las áreas rurales, la tecnología BPL puede proporcionar servicios de banda ancha en aquellas áreas donde el uso de otras tecnologías como cable o DSL no se puede justificar económicamente. BPL también se usa en el manejo de redes de distribución de energía mediante el monitoreo y la facilitación del control de las mismas de forma remota.

La tecnología PLC utiliza dos redes para la transferencia de datos: la red Acceso (outdoor) y la red local (in Home). En la figura 2.3 se puede apreciar de manera general el esquema de la red PLC y como se distribuye.

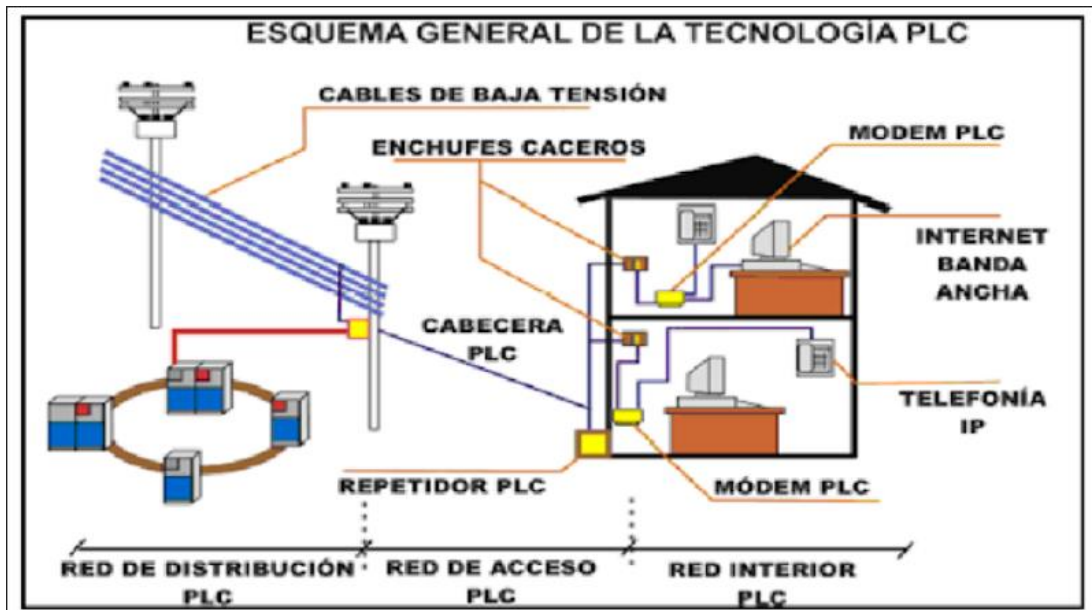


Figura 2. 3: Esquema general de la distribución de la red PLC
Fuente: (Eléctricas, 2012)

Una aplicación cada vez más amplia de los sistemas PLC y la demanda de mayores velocidades de bits requiere un conocimiento de las características de alta frecuencia de línea de alta tensión. El modelo del canal es crucial para el desarrollo de estos sistemas digitales modernos. Los modelos de los canales de línea de alta tensión se basan en análisis modal. Sin embargo, la derivación de estos modelos incluye simplificaciones, que no son cruciales para la transmisión analógica.

El modelo de canal de línea de alimentación debe superar este problema y proporcionar también el retraso del canal de la línea de alta tensión que no se consideró. Las características de frecuencia (amplitud y características de fase, retardo de grupo, impedancia de entrada) así como las características de ruido en la línea de potencia presentan las limitaciones para comunicaciones de alta velocidad y confiable en PLC.

2.3.1. Red de acceso PLC

Para rivalizar con las empresas que acoplan el equipo del cliente con el nodo de internet a través de la "última milla" o lazo local (sea cable coaxial o cable telefónico), las empresas que proveen electricidad actualmente

empezaron a brindar el servicio de acceso a internet a través de cables de BT.

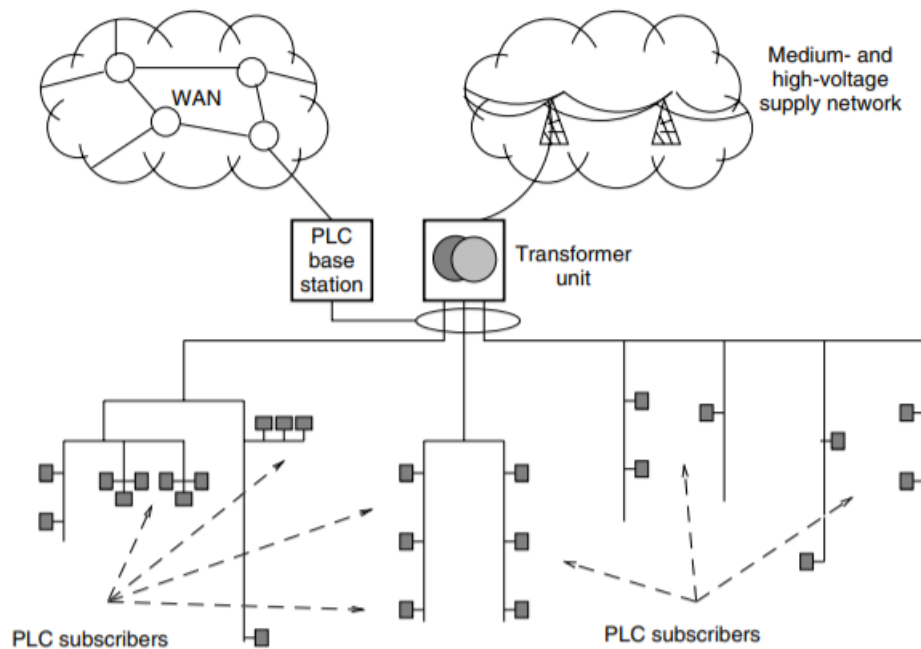


Figure 1.3 PLC access network

Figura 2. 4: Red de acceso para PLC
Fuente: (Hrasnica et al., 2005)

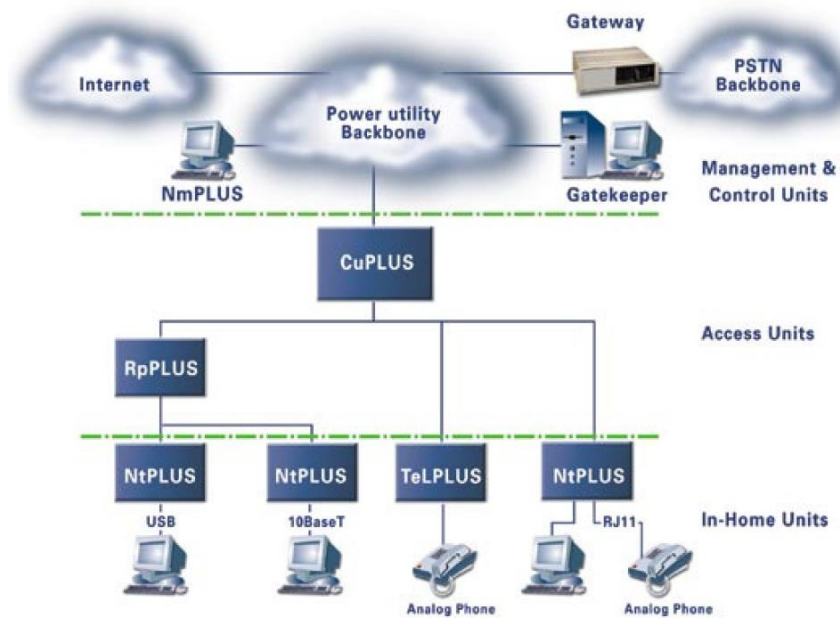


Figura 2. 5: La arquitectura PLUS de Main.net
Fuente: (Garcia, 2004)

La información viaja utilizando frecuencias entre 1,6 y 40 MHz, que comúnmente no se las utilizan para otra finalidad. En el tramo de la calle se

trabaja con frecuencias hasta de 10 MHz, por presentar una menor pérdida de la señal. Los equipos imprescindibles para poder implementar la tecnología PLC a una red de acceso son:

- Unidad Concentradora (CuPlus), esta unidad se encarga de transformar los datos desde el backbone a la red eléctrica y viceversa.
- Unidad Repetidora (RpPlus), es un repetidor que permite enlazar los equipos del hogar con la red.
- Terminal de red (NtPlus), es el equipo básico que permite el acoplamiento a internet entre la red eléctrica y la PC o cualquier otro dispositivo.

2.3.2. Redes de área local basadas en PLC

Una aplicación común y extendida de PLC es crear un área local red (LAN) en el hogar u oficina utilizando el cableado eléctrico interior. Las ventajas de conducción de PLC para esta aplicación es la disponibilidad de energía enchufes en cualquier lugar de la casa u oficina, lo que facilita la red varias computadoras en una LAN utilizando las líneas eléctricas ya existentes.

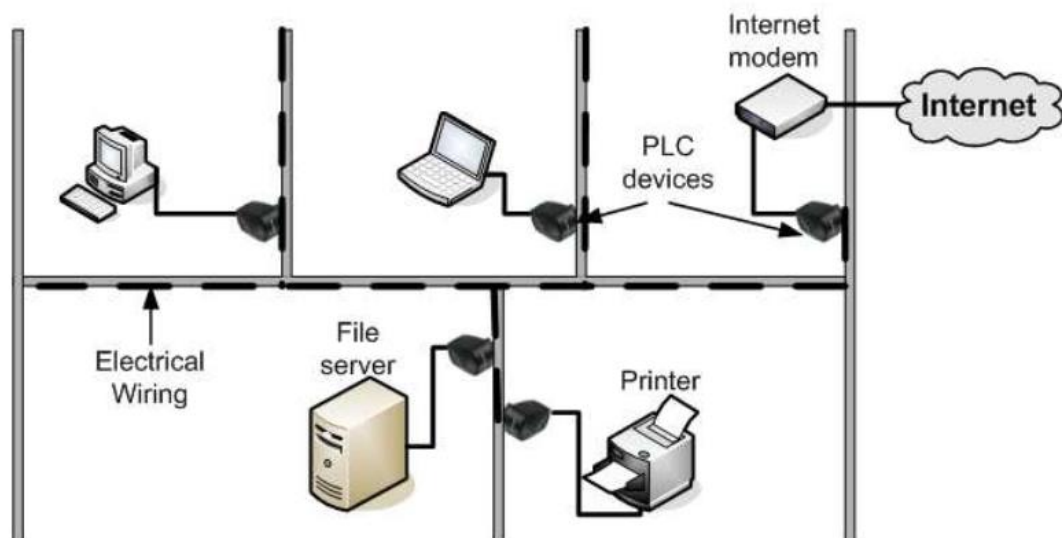


Figura 2. 6: Red LAN que incluye archivos, impresoras e Internet compartidos basados en PLC.

Fuente: (Khalifa Saleh, 2011)

Al igual que otras tecnologías LAN, las redes LAN basadas en PLC permiten compartir de archivos e impresoras, pero sin la necesidad de

nuevos cables. Los archivos e impresoras compartidas son particularmente importantes en redes de computadoras profesionales. La figura 2.6 ilustra una red de área local basada en PLC que incluye el uso compartido de archivos e impresoras, así como una conexión a Internet compartida.

2.4. Esquemas de modulación para sistemas PLC

Las propiedades de las redes de líneas eléctricas y la vulnerabilidad a varios tipos de ruido requieren una selección adecuada de esquemas de modulación para ser utilizados en sistemas PLC. Se deben tener en cuenta tres cuestiones principales al seleccionar una modulación esquema para PLC:

- La susceptibilidad a diferentes tipos de ruido, incluido el ruido impulsivo con una potencia de ruido relativamente alta que conduce a una SNR más baja.
- El canal del PLC es un canal variable en el tiempo con selectividad de frecuencia.
- Debido a problemas de compatibilidad electromagnética, la potencia de transmisión en los sistemas PLC está limitado a niveles relativamente bajos.

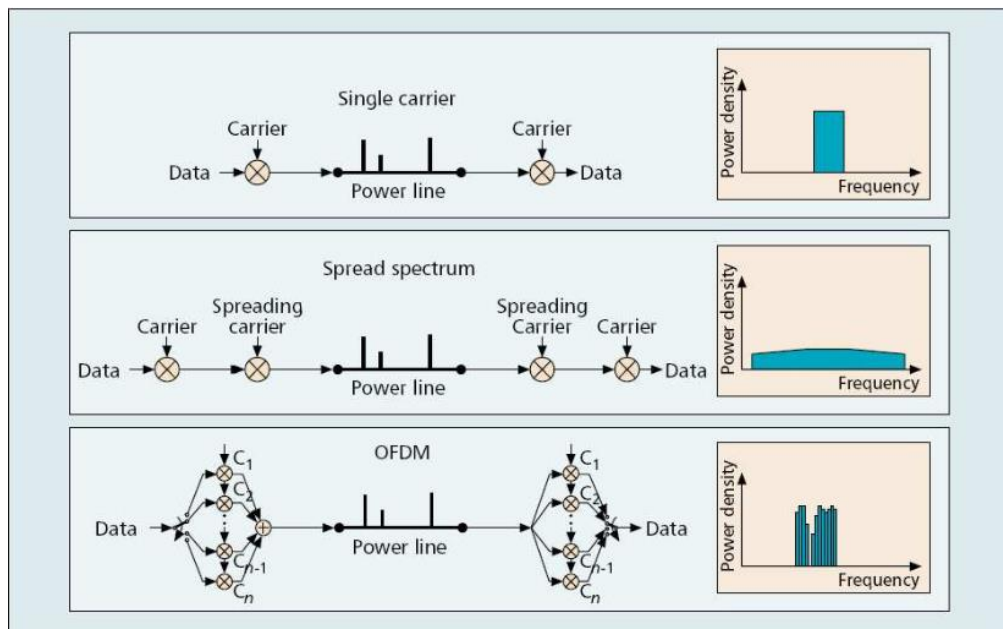


Figura 2. 7: Métodos de modulación para comunicaciones de línea de potencia

Fuente: (Khalifa Saleh, 2011)

2.4.1. Modulación de portadora única

En la modulación de portadora única, la señal de datos modula una sola portadora con frecuencia. La información está codificada en amplitud, fase o frecuencia según se la quiera transmitir. En ASK (modulación por desplazamiento de amplitud), la modulación de la señal del mensaje indica la amplitud de la señal portadora sin afectar su frecuencia y fase, mientras que en FSK (modulación por desplazamiento de frecuencia) la frecuencia del operador es modulado PSK (modulación por desplazamiento de fase) se logra cambiando la fase de la señal portadora de acuerdo con los bits de información.

Los esquemas de modulación de portadora única son candidatos atractivos para sistemas PLC principalmente debido a su simplicidad. Para aplicaciones de banda estrecha de PLC, la modulación de una sola portadora es una opción conveniente y ha sido adoptado en aplicaciones prácticas. Para PLC de banda ancha, sin embargo, se ha descubierto que estos esquemas son insuficientes para comunicaciones de alta velocidad a través de los canales de la línea eléctrica.

Esto es atribuible a varios factores relacionados con las características de transmisión del canal de la línea de potencia. Primero, el efecto multitrayecto en este canal causa un significativo inter-símbolo interferencia (ISI) e introduce muescas profundas en el dominio de frecuencia de la función de transferencia que representa el desvanecimiento selectivo de frecuencia.

2.4.2. Técnicas de espectro disperso

Las técnicas de espectro expandido (SST) se desarrollaron inicialmente para aplicaciones militares con el objetivo de lograr robustez contra interferencia intencional mediante la difusión de una señal de banda estrecha en un amplio espectro de frecuencias. Para las aplicaciones de PLC, el interés en SST se debe a su capacidad para combatir el desvanecimiento selectivo de frecuencia introducido por el efecto multiruta, así como su robustez contra todo tipo de interferencia de banda estrecha.

Aquí hay varias variantes de SST que incluyen el espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS), el salto de frecuencia, el salto de tiempo, el chirrido y las técnicas híbridas. El acceso a los medios en SST se puede lograr mediante acceso múltiple por división de código (CDMA) sin la necesidad de coordinación y sincronización global.

2.4.3. Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM)

OFDM es una técnica multiportadora madura que ha sido probada en varias aplicaciones cableadas e inalámbricas de alta velocidad. Algunos ejemplos de sus aplicaciones incluyen transmisión de audio digital (DAB), transmisión de video digital (DVB), línea de abonado digital asimétrica (ADSL) y Wi-Max.

OFDM ofrece mayor eficiencia espectral y robustez contra el desvanecimiento selectivo, interferencia de banda estrecha y ruido impulsivo que lo hace un atractivo contendiente para sistemas de comunicación de alta velocidad. La eficacia de OFDM se alcanza al permitir que las subportadoras se superpongan parcialmente sin causar interferencia entre ellas debido a la propiedad de ortogonalidad.

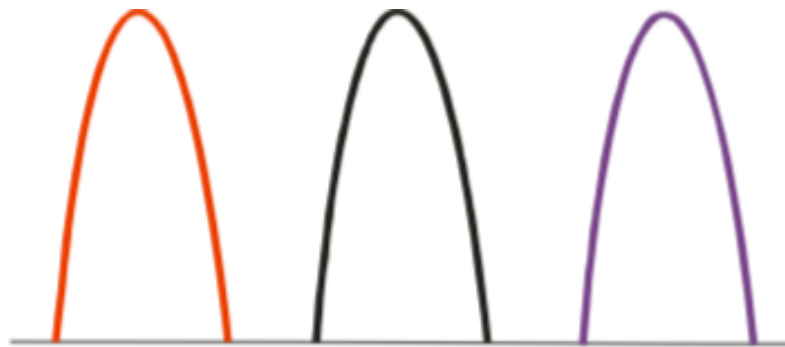


Figura 2. 8: espectro FDM

Fuente: (Balaramakrishna, Vishnu, & Rajesh, 2017)

Si se compara la figura 2.8 con la figura 2.9 se puede notar claramente que se pudo sobreponer distintos canales sin llegar a causar una interferencia entre ellos ya que tiene una mejor eficiencia al poder ahorrar gran parte el ancho de banda que se tiene para poder transmitir o usar más canales tal como se muestra en la figura 2.10.

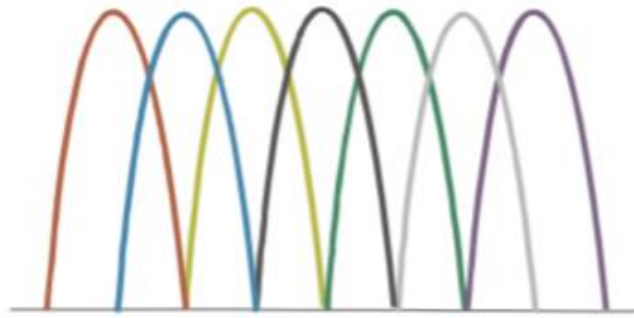


Figura 2. 9: Espectro OFDM
Fuente: (Balaramakrishna et al., 2017)

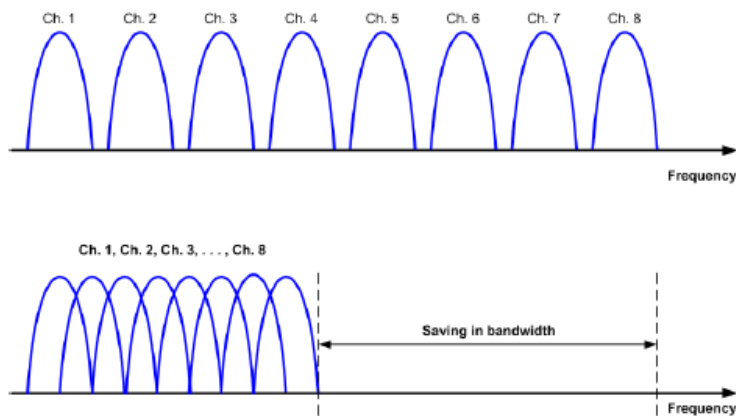


Figura 2. 10 : Eficiencia espectral de OFDM en comparación con FDM convencional
Fuente: (Khalifa Saleh, 2011)

2.4.4. Modelo OFDM para comunicación PLC

El modelo de comunicación PLC es creado por un transmisor, receptor y bloque de canales. Sirve para una creación de una fuente y un destino de comunicación de datos. Para simulaciones posteriores de líneas modelo que son reemplazados por bloque de canal. La comunicación PLC básica se muestra en la figura 2.11 y en la figura 2.12 se muestra la comunicación básica con el sistema OFDM.

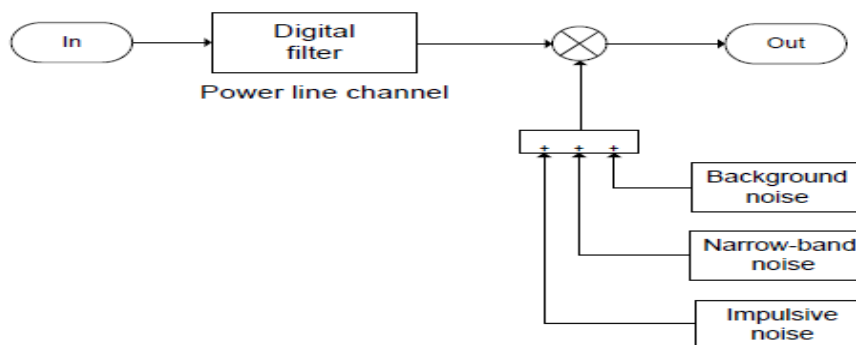


Figura 2. 11: Modelo PLC

Fuente: (Mastorakis & North Atlantic University Union, 2010)

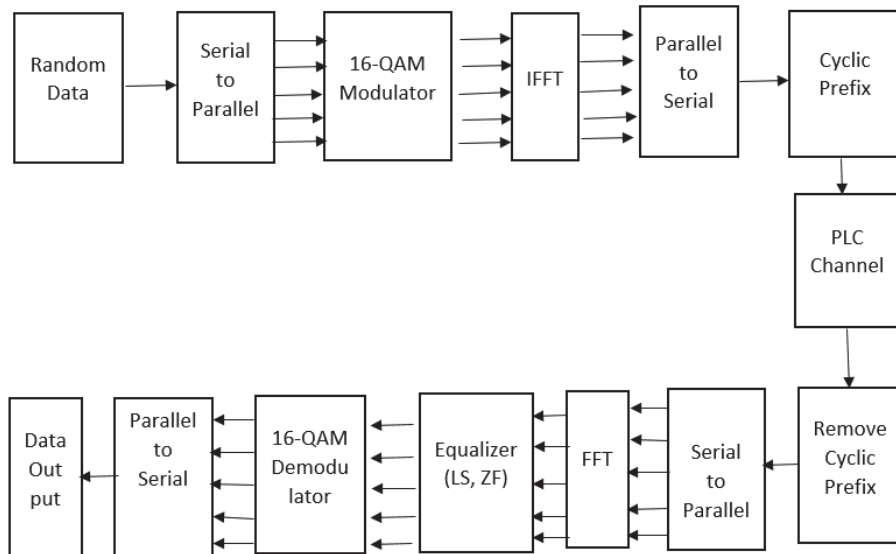


Figura 2. 12: El modelo para comunicación PLC con la técnica de modulación OFDM

Fuente: (Dash & Sasanka, 2017)

El codificador agrega la información redundante a la secuencia de bits. Si hay un error en la cadena de bits, el redundante de la información podría ser utilizada para la detección y corrección de errores con la ayuda de codificadores que permitan detectar estos errores. El esquema de codificación está diseñado para la detección y la corrección de errores independientes.

El esquema que se muestra en la figura 2.12 no está diseñado para la mayor parte de los errores que se generan en la transmisión de la información en PLC a través de OFDM. Las tecnologías de entrelazado se utilizan para eliminación de la evolución de errores en bloque durante la transferencia. La transferencia de datos en serie se obtiene del bloque de codificación ya que está conectado a un bloque de mapeo. Una distribución de símbolos es un resultado del mapeo. Esta distribución se muestra en un diagrama de constelación y es depende de la modulación que sea elegida para mostrar la recuperación de la información en el mapeo de la constelación.

Las señales piloto son necesarias para incluirse a la transferencia en caso de detección continua del sistema dado que la estimación es

importante para la determinación de la amplitud y la fase del mapa constelación de cada subportadora. La estimación de la transferencia canal en el sistema OFDM solicita una inserción de conocidos símbolos o una estructura piloto a la señal.

Los datos útiles se transfieren a la secuencia paralela en el convertidor de S/P. El número de transmisiones paralelas coincide con el número de portadores dado que los operadores transferirán datos útiles. Se utiliza un intervalo de protección en OFDM para evitar ISI (inter interferencia del símbolo).

Un prefijo cíclico (CP) es creado por las últimas muestras de símbolos en OFDM. El prefijo cíclico crea una protección en un intervalo entre símbolos OFDM transferidos adyacentes en zona de tiempo. Esta es una forma de mantener ortogonalmente los símbolos sin tener que perder información al ser transmitida.

2.5. Ruido de comunicación de la línea de potencia

El ruido de comunicación de la línea de potencia sigue siendo uno de los principales impedimentos para una comunicación exitosa a través de este canal, salvo la naturaleza impredecible en el tiempo de sus características de transferencia. Como se mencionó, numerosas cargas de consumo conectadas a la red eléctrica no solo presentan una impedancia fluctuante para la señal transmitida, sino que también afectan el canal PLC a través de su comportamiento de conmutación.

Nuevamente, la topología más simple encontrada en las redes eléctricas de medio y alto voltaje resulta en menos fuentes de ruido mientras que la red de bajo voltaje está muy poblada con generadores de ruido.(Mosalaosi, 2014)

Las fuentes de ruido típicas en las redes de líneas de potencia MV y HV incluyen rayos y otras descargas atmosféricas, descargas de corona de bajo nivel y transitorios de interruptores automáticos. Se pueden observar

otros picos de ruido durante la conmutación de bancos de condensadores en líneas de MT empleadas para la corrección del factor de potencia. (Mosalaosi, 2014)

2.6. Diferentes tipos de Ruidos

Ruido de fondo: es cada vez presente en la red. Esto es causado por el ensamblaje de múltiples fuentes de ruido con poco poder. Puede ser descrito por un PSD (densidad espectral de potencia) que declina con una frecuencia cada vez mayor. El fondo la densidad de ruido de potencia se puede describir con la siguiente ecuación:

$$A(f) = A_{\infty} + A_0 \cdot e^{-\frac{f}{f_0}}$$

Donde A_{∞} es la densidad de potencia para $f \rightarrow \infty$, y A_0 es una diferencia entre $A(\infty)$ y $A(0)$. Este modelo permite modelar ruido de fondo como un proceso de ruido blanco, que se pone una coloración espectral por un filtro.

Ruido de banda estrecha: este ruido primario proviene de las estaciones de radiodifusión que transmiten en un largo y medio rango de onda corta. La amplitud puede cambiar en dependencia de tiempo y lugar. El ruido de banda estrecha puede ser modelado como una suma de ruido sinusoidal múltiple con diferente amplitud. (Mastorakis & North Atlantic University Union, 2010)

$$n(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot \sin(2\pi f_i t + \varphi_i)$$

Donde N es un número de ondas de frecuencias de diferenciación f_i , amplitud $A_i(t)$ y fase φ_i . La amplitud $A_i(t)$ es una constante en el caso más simple, pero puede establecerse a partir de la transmisión de difusión. La fase φ_i se establece al azar desde intervalo $[0; 2\pi]$.

Ruido impulsivo asincrónico: este tipo de ruido es caracterizado por picos altos y cortos de voltaje con longitud 10 - 100 μ s. Estos picos pueden alcanzar hasta un nivel de 2 kV. Este ruido es la causa de los equipos de

conmutación en la red de distribución. Este tipo de ruido se considera como una parte del ruido de fondo. (Mastorakis & North Atlantic University Union, 2010)

2.7. Caracterización del Modelo de canal PLC interior

Para la comunicación entre dos módems PLC, el canal puede considerarse como una "caja negra" caracterizada en el dominio de tiempo o frecuencia. La función de transferencia de canal $H(f)$ se estima a partir de mediciones o se deduce de modelos de canales apropiados, considerando el arnés como una cascada de líneas de transmisión interconectadas. (Degauque et al., 2015)

Sin embargo, su configuración geométrica exacta y las impedancias de sus cargas son variables aleatorias. Además, $H(f)$ depende en gran medida de la ubicación de los puntos de acoplamiento de los módems a la línea de potencia y, en consecuencia, el modelado de canales debe incluir aspectos estadísticos. (Degauque et al., 2015)

Además, debido a las múltiples reflexiones causadas por la falta de coincidencia de impedancia en las terminaciones y bifurcaciones de los cables, los canales PLC se pueden considerar como canales selectivos de frecuencia. Esta característica conduce al comportamiento típico exhibido por los canales de radio clásicos que han sido profundamente estudiados, desde el punto de vista de medición y modelado. (Degauque et al., 2015)

2.7.1. Propagación de una red PLC Interior

En la figura 2.13 se ilustra una red de línea de alimentación interior simplificada. De forma similar a un canal de comunicación inalámbrico, una red de línea de alimentación interior también es un entorno de propagación multitrayecto. La red tiene una serie de uniones o puntos de bifurcación dentro, así como varias cargas conectadas a ella a través de conexiones directas o salidas de CA.

Una señal que viaja en una red de línea de alta tensión se refleja en estos puntos de unión o bifurcación y puntos de terminación debido a desajustes de impedancia. Se consideran dos casos genéricos de terminación en este estudio: una salida de CA conectada, no conectada o una terminación de dispositivo.(Ding & Meng, 2007)

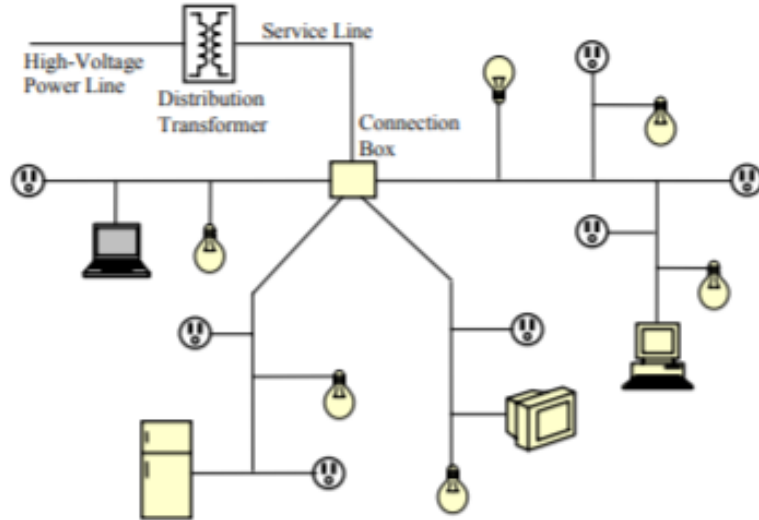


Figura 2. 13: Una red simplificada de línea de alimentación interior
Fuente: (Ding & Meng, 2007)

Con un desajuste de impedancia, las proporciones de energía reflejada y transmitida a la onda incidente, los coeficientes de reflexión y transmisión, están dadas por:

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \tau = 1 + \rho = \frac{2Z_L}{Z_L + Z_0}$$

La impedancia característica de las líneas de alimentación y de carga son Z_0 y Z_L , respectivamente. El efecto de numerosas reflexiones y transmisiones a lo largo de la ruta de propagación se puede considerar como un factor de multiplicación de componentes multitrayecto. Este término puede formularse como el producto de todos los coeficientes de reflexión y transmisión que aparecen a lo largo de esta ruta.

$$g_i = \prod_{m_1=1}^{M_1} \rho_{im_1} \cdot \prod_{m_2=1}^{M_2} \tau_{im_2}$$

Donde M1 y M2 son los números totales de reflejos y transmisiones, respectivamente, que tienen lugar a lo largo de esta ruta específica.

2.6.2 Aplicación de OFDM sobre la comunicación de línea de potencia interior

PLC está establecido en señales eléctricas, que contiene útiles datos, viajando a través de líneas eléctricas como medio. Un canal utilizado para la comunicación se describe como una ruta sustancial entre el transmisor y el receptor que lleva el mensaje señal de un extremo a otro. (Dash & Sasanka, 2017)

La tecnología BPL es una alternativa ventajosa para aquellos habitantes de las aldeas que desean acceder al servicio de Internet de alta velocidad. Por otro lado, en el área metropolitana, BPL será otra opción rentable y confiable para obtener un servicio de Internet de alta velocidad. Además, dado que la infraestructura requerida para el sistema de comunicación BPL ya está allí, la implementación de esta técnica consumirá menos tiempo y será económicamente más eficiente. (Dash & Sasanka, 2017)

2.8. Análisis de ruido en canales domésticos para comunicaciones de línea de potencia de banda estrecha

Las mediciones de ruido de muchos dispositivos domésticos (atenuadores, motores universales, PC, etc.) se pueden encontrar para algunas bandas de CENELEC. Sin embargo, las medidas de ruido disponibles se han llevado a cabo en países con redes de distribución con diferentes características topológicas, frecuencia y para diferentes bandas de frecuencia que varían en una parte limitada de todo el rango 3-500kHz. (Tucci, Raugi, Bai, Barmada, & Zheng, 2017b)

Además, en los datos disponibles, la configuración de la medición no siempre se presenta de manera exhaustiva para hacer comparaciones de diferentes unidades de medida (voltaje o potencia). Por lo tanto, es interesante tener una colección de ruido mediciones en diferentes países,

pero por la misma banda de frecuencia, que cubre todo el rango 3-500kHz y una comparación completa entre ellos para caracterizar el ruido inyectado por muchos dispositivos en el hogar. (Tucci et al., 2017b)

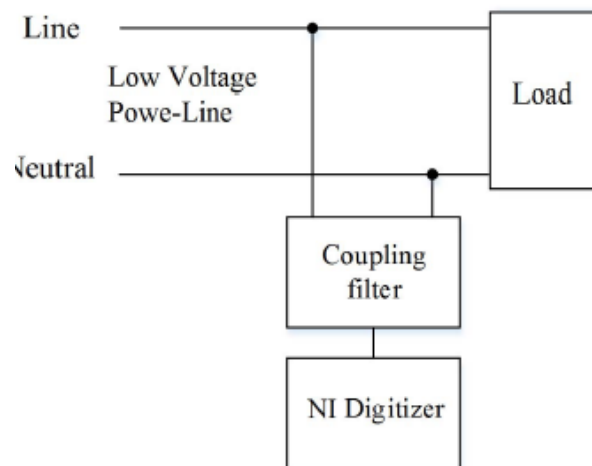


Figura 2. 14: Diagrama esquemático de la configuración de medición
Fuente: (Tucci et al., 2017b)

2.9. Enfoques de modelado de canales PLC

2.9.1. Enfoque de arriba hacia abajo (top-down)

De forma similar al modelado de canales inalámbricos, este enfoque trata al canal de PLC como una caja negra y se recoge una gran cantidad de mediciones excitando el canal con una señal de referencia en el dominio de tiempo o el dominio de frecuencia. Luego se aplican algoritmos de ajuste complejos para encontrar un modelo que se adapte bien a las mediciones. El proceso de adaptación incluye la identificación de los parámetros adecuados y la estimación de esos parámetros. El objetivo es usar algunos parámetros para aproximar el canal con alta precisión.

Este enfoque es ventajoso porque los modelos desarrollados son usualmente fáciles de usar y permiten la generación rápida de canales. Esto los hace adecuados para ejecutar la simulación Monte Carlo, donde se requiere una gran cantidad de realizaciones de canales. Con la ayuda de los resultados estadísticos derivados de las mediciones, el rendimiento del canal e incluso del sistema puede estudiarse analíticamente. (Zhu, Zhu, Lim, & Huang, 2013b)

La desventaja más importante de este enfoque es su baja flexibilidad. El modelo y sus parámetros derivados para una red específica y banda de frecuencia no pueden aplicarse a otras redes y bandas de frecuencia. Por lo tanto, para desarrollar un modelo generalizado de arriba hacia abajo, las mediciones de canal extensas deben realizarse de forma global. (Zhu, Zhu, Lim, & Huang, 2013a)

Otra desventaja es que carece de conexión física con la realidad. Por ejemplo, es difícil utilizar este modelo para describir la correlación espacial presentada en las redes eléctricas. Como la red eléctrica es un sistema de bus, es posible que las respuestas del canal recibido de dos nodos vecinos tengan una alta correlación. En consecuencia, este enfoque puede no aplicarse al modelado de sistemas relacionados con la red. (Zhu et al., 2013a)

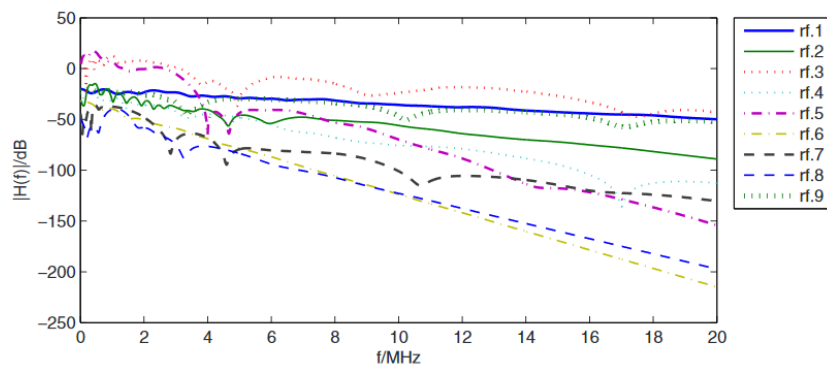


Figura 2. 15: Respuestas de frecuencia de los canales de referencia OPERA
Fuente: (Zhu et al., 2013a)

2.9.2. Enfoque de abajo hacia arriba (bottom-up)

El enfoque ascendente se basa generalmente en la teoría de líneas de transmisión. Este enfoque requiere un conocimiento perfecto de la red de energía de focalización, incluida su topología, el cable de línea de alimentación utilizado y las impedancias de carga de los terminales. Estos elementos de red se modelan matemáticamente para que se puedan incorporar para generar el canal. (Zhu et al., 2013a)

La teoría de línea de transmisión se desarrolló originalmente para describir la propagación de ondas electromagnéticas (EM) en una pieza de

línea de transmisión con un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Los voltajes a lo largo de la línea de transmisión se obtuvieron al resolver estos PDE e incorporar reflexiones en los extremos de la línea. La teoría debe modificarse para que se pueda aplicar a la propagación de señales de modelo en una red. (Zhu et al., 2013a)

Se describe la propagación de ondas en una red mediante el uso de coeficientes de transmisión y reflexión. Aunque este enfoque es complicado, ya que está directamente relacionado con la propagación de la señal en una red. Por lo tanto, se puede extender fácilmente a la situación donde diferentes tipos de cables con diferente número de conductores se conectan entre sí. (Zhu et al., 2013a)

2.10. Tecnologías y aplicaciones de comunicación Smart Grid

Smart grid es un sistema que trabaja con la red eléctrica y las tecnologías de comunicación en sus aplicaciones. Los mejores métodos de comunicación se deben aplicar a todas las líneas en los sistemas de líneas eléctricas para lograr los sistemas de distribución y transmisión más efectivos. En la actualidad, el punto más importante es diseñar una arquitectura de sistema de comunicación que sea una solución para sistemas interconectados que pueda usarse en futuras aplicaciones de red inteligente. (Unsal & Yalcinoz, 2015)

Los métodos de comunicación de red inteligente en general se pueden dividir en métodos de comunicación por cable e inalámbricos.

2.11. Comunicaciones inalámbricas en Smart Grid

La comunicación inalámbrica proporciona comunicación a lugares donde no se puede llegar con cables, pero tiene bajas tasas de transmisión de datos. Además, no tiene una red de transmisión de amplio alcance, generalmente se apunta a su uso en comunicación HAN y NAN con comunicación inalámbrica.

La comunicación inalámbrica proporciona comunicación a lugares donde no se puede llegar con cables, pero tiene bajas tasas de transmisión de datos. Además, no tiene una red de transmisión de amplio alcance, generalmente se apunta a su uso en comunicación HAN y NAN con comunicación inalámbrica. (Unsal & Yalcinoz, 2015)

2.11.1. Wi-Fi

La fidelidad inalámbrica (Wi-Fi) es una tecnología que permite la comunicación inalámbrica de todos los dispositivos que se conectan a ella. A través de productos de Wi-Fi que desean conectar una red, o conectarse a una red LAN con puntos de acceso personales (PAP). Los PAP se conectan a una red de Internet por cable mediante un enrutador y transmiten señales de datos del receptor a los medios como señales de RF.

Además, los PAP también se utilizan para fortalecer las señales de RF de un transmisor inalámbrico para ir con mayor alcance. Todas estas conexiones están determinadas por los estándares IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11. (Unsal & Yalcinoz, 2015)

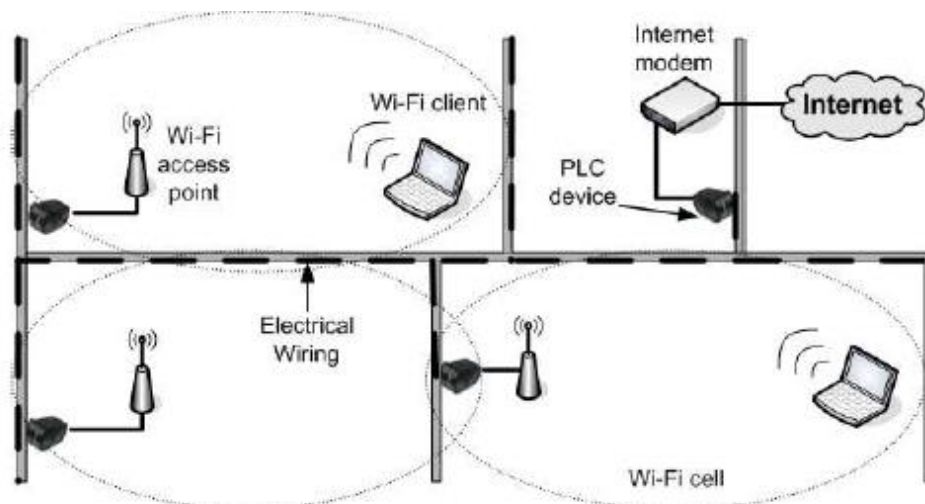


Figura 2. 16: PLC utilizado como una red troncal para una red Wi-Fi.
Fuente: (Khalifa Saleh, 2011)

2.11.2. WiMax

WiMAX es la interoperabilidad mundial para la tecnología de acceso por microondas y una parte de la serie estándar 802.16 para la red de área metropolitana inalámbrica (WMAN). De acuerdo con estas normas, definió el

amplio rango operativo de 10-66 GHz para la infraestructura de comunicaciones.(Unsal & Yalcinoz, 2015)

2.11.3. ZigBee

ZigBee toma su nombre del área en zigzag de la estructura compleja y se basa en el estándar IEEE 802.15.4. El propósito de ese estándar ayuda a la creación de redes inalámbricas personales que tienen un bajo costo de infraestructura, velocidad de transferencia lenta y bajo consumo de energía. Aunque ZigBee tiene ventajas como la duración prolongada de la batería, la creación de red solicitada, tiene la desventaja de no poder proporcionar flujo de datos en tamaños más grandes como Bluetooth y Wi-Fi. Es adecuado para áreas HAN aceptadas de la red inteligente.(Unsal & Yalcinoz, 2015)

2.12. Comunicaciones alámbricas en Smart Grid

La infraestructura de comunicación por cable se puede dividir en fibra óptica y PLC. Estos métodos, desafíos y beneficios son investigados cuidadosamente. Como se describió anteriormente, las redes Smart Grid pueden incluir HAN, BAN, LAN, redes cableadas e inalámbricas que conectan los sistemas de generación de energía a los consumidores finales para respaldar una amplia gama de aplicaciones de comunicación y control, incluida la automatización de distribución y respuesta a la demanda. (Unsal & Yalcinoz, 2015)

2.12.1. Fibra Óptica

Las subestaciones y las compañías de electricidad que se conectan en el sistema de alimentación pueden alcanzar el nivel de alta velocidad para comunicarse en banda ancha entre sí mediante la tecnología de fibra óptica. A pesar de que tiene una alta desventaja en el costo de instalación inicial, no se ve afectado por los campos electromagnéticos y la comunicación por cable tiene todas las ventajas de la seguridad a través de privilegios que son preferidos por las aplicaciones de red inteligente. No es posible robar información porque desde la privacidad y la seguridad son muy buenos los cables de fibra.

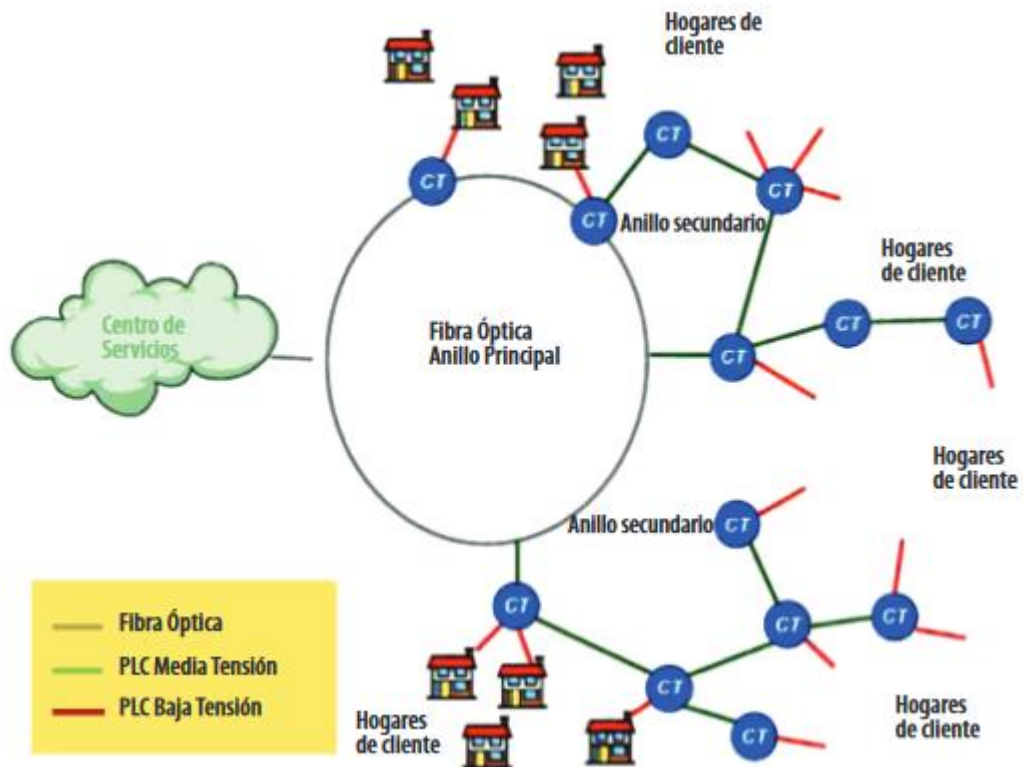


Figura 2. 17: Combinación de red BPL de media tensión con Fibra Óptica
Fuente: (Peralta, 2010)

2.13. Modelado del sistema PLC para aplicaciones de comunicación Smart Grid

La tecnología PLC usualmente se usa para la comunicación de datos de líneas eléctricas de media y baja tensión. La señal de comunicación debe entregarse con la máxima eficacia en las aplicaciones de PLC. De lo contrario, las pérdidas de datos en la transmisión pueden ser altas. A pesar de ser soluciones rentables para aplicaciones de redes inteligentes, los entornos de PLC tienen grandes desafíos como la atenuación (transmisión o pérdida de trayecto) a la fiabilidad y el rendimiento de los sistemas de comunicación. (Unsal & Yalcinoz, 2015)

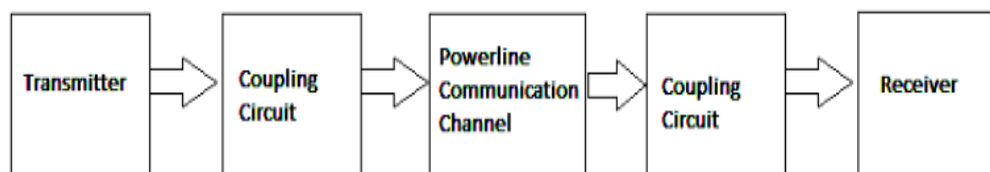


Figura 2. 18: Diagrama de bloque general de la comunicación de la línea de alimentación.

Fuente: (Unsal & Yalcinoz, 2015)

La figura 2.18 muestra la arquitectura general del sistema PLC. El modelo Tx representa un diagrama de bloques para la señal de generación. El modelo Rx representa un diagrama de bloques para la señal de recepción. El circuito de acoplamiento se utiliza un modelo de circuito con transformadores de acoplamiento.

Modelo Tx: Como se muestra en la figura 2.19, el generador sinusoidal se agrega en serie a un inductor L que necesita adaptarse a la salida del generador con la red de acoplamiento. Además, el transformador secundario se agrega en serie a un condensador C para eliminar el voltaje residual de 60 Hz.

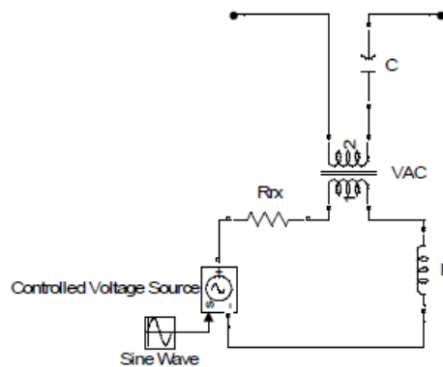


Figura 2. 19: Modelo Tx
Fuente: (Unsal & Yalcinoz, 2015)

Modelo Rx: como se muestra en la figura 2.20 La señal es captada por los cables de alimentación a través del circuito de acoplamiento, en el lado de la carga, y transferida al receptor a través de un transformador de aislamiento.

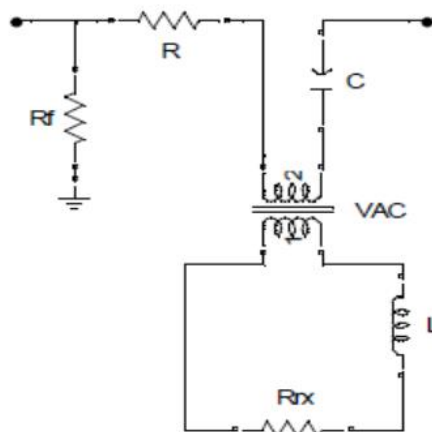


Figura 2. 20: Modelo Rx
Fuente: (Unsal & Yalcinoz, 2015)

2.14. VISIÓN GENERAL DE SMART GRIDS AND PLC

2.14.1. Necesidad de redes inteligentes

El concepto de red inteligente fomentará la gestión del lado de la demanda y la generación distribuida ayudará a compartir la potencia producida. La generación distribuida ayuda en la utilización de un recurso energético renovable que tiene mayores dependencias geográficas y también reduce la emisión de gases de efecto invernadero a la red, a lo que se suma que la dependencia de la red se reducirá a un porcentaje considerable. (Kovendan, Priyadharshini, & Sridharan, 2016)

Como el crecimiento de cada tecnología requerirá un suministro de energía inadecuado, el efecto inverso dará como resultado la caída del crecimiento económico y del PIB.

2.15. Arquitectura de red inteligente

El siguiente diagrama mostrado por la figura 2.21 explica la arquitectura del sistema de red inteligente. Esto muestra que el centro de servicios de red inteligente tiene acceso y control sobre todos los demás componentes del sistema de transmisión y distribución. El sistema de comunicación tiene dos fases principales. (Kovendan et al., 2016)

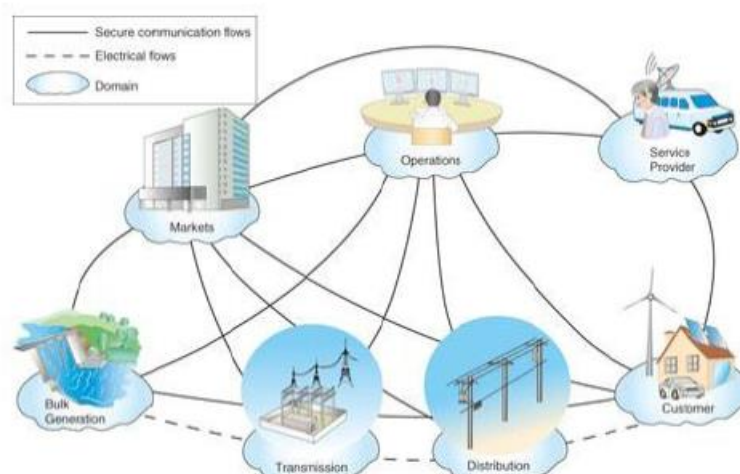


Figura 2. 21: Marco NIST para el modelo de red inteligente
Fuente: (Kovendan et al., 2016)

CAPÍTULO 3: EVALUACION DE SIMULACIONES EN MATLAB

3.1. Técnicas de modulación digital utilizados en ODFM

3.1.1. Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

La modulación por desplazamiento de fase (PSK) es una de las principales técnicas de modulación de paso de banda digital y se desarrolló durante los primeros períodos del programa del espacio exterior. Esta modulación la técnica ahora se usa ampliamente en muchos sistemas y aplicaciones, como los sistemas de comunicación militar, comercial, etc.

La expresión matemática genérica para PSK es:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_i t + \varphi_i(t)] \quad 0 \leq t \leq T \quad i = 1, \dots, M$$

Donde E el símbolo de energía y T el símbolo de la duración del tiempo ($0 \leq t \leq T$)

3.1.2. Modulación por desplazamiento de Frecuencia (FSK)

La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) es otro tipo principal de técnica de modulación de paso de banda digital. En una modulación FSK típica, el cambio en el estado binario de la señal portadora provoca un cambio en la frecuencia de la señal, su expresión matemática y analítica general es la siguiente:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos[\omega_i t + \varphi] \quad 0 \leq t \leq T \quad i = 1, \dots, M$$

ω_i : El término de frecuencia y tiene M valores discretos

φ : El término de fase y es una constante arbitraria

E: símbolo de energía

T: símbolo de duración del tiempo ($0 \leq t \leq T$)

3.1.3. Modulación por desplazamiento de amplitud.

La modulación por desplazamiento de amplitud (ASK) es otro tipo principal de técnica demodulación de paso de banda digital, y su expresión matemática y analítica general es la siguiente:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}} \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad i = 1, 2, \dots, M \quad 0 \leq t \leq T$$

$\sqrt{\frac{2E_i(t)}{T}}$: El término de amplitud que tendrá M valores discretos

φ : El término de fase y es una constante arbitraria

T: La duración del símbolo ($0 \leq t \leq T$)

3.1.4. Modulación por desplazamiento cuadrifásica (QPSK)

QPSK es una técnica de modulación multinivel, utiliza 2 bits por símbolo para representar cada fase. Comparado con BPSK, es más eficiente espectralmente pero requiere un receptor más complejo.

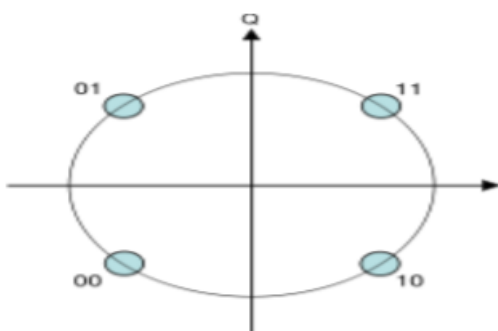


Figura 3. 1: Diagrama de la constelación QPSK.

Fuente: (Arora, Chandna, & Thomas, 2012)

La figura 3.1 muestra el diagrama de la constelación para QPSK con codificación Gray. Cada símbolo adyacente solo difiere en un bit. Conocido a veces como PSK cuaternario o 4-PSK, QPSK utiliza cuatro puntos en el diagrama de la constelación, alrededor de un círculo.

3.1.5. Modulación de amplitud en cuadraturas de 8 estados (8-QAM)

Las constelaciones QAM rectangulares son, en general, subóptimas en el sentido de que no espacian al máximo los puntos de la constelación para una energía dada. Sin embargo, tienen la considerable ventaja de que pueden transmitirse fácilmente como dos señales de modulación de amplitud de pulso (PAM) en portadoras de cuadratura, y pueden demodularse fácilmente.



Figura 3. 2 : Diagrama de la constelación para 8-QAM
Fuente: (Arora et al., 2012)

3.1.6. Modulación de amplitud en cuadraturas de 16 estados (16-QAM)

La primera constelación de QAM rectangular que se encuentra habitualmente es 16-QAM, cuyo diagrama de constelación se muestra en la figura 3.3; también se proporciona una asignación de bits codificada en gris. La razón por la cual 16-QAM suele ser la primera es que una breve consideración revela que 2-QAM y 4-QAM son de hecho modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) y modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK), respectivamente.

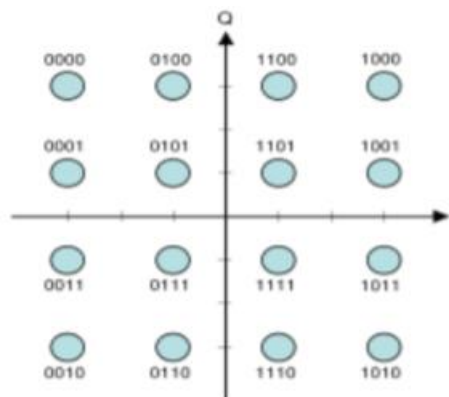


Figura 3. 3: Diagrama de constelación para 16-QAM
Fuente: (Arora et al., 2012)

3.2. Tasa de error binario

Durante una transmisión de información digital en telecomunicaciones, el BER es la cantidad de bits que se reciben con errores divididos por la cantidad de bits recibidos durante un lapso de tiempo que se da. El BER comúnmente se expresa como elevado 10 a una potencia negativa. Por ejemplo, en un transmisión se puede obtener un $BER = 10^{-6}$, lo que significa que nos da 1.000.000 de bits que se transmiten y se reciben, por lo que 1 bit tuvo error. ($1 / 10^6 = 10^{-6}$).

Inclusive el BER nos indica cuando un paquete, una unidad de información, se tiene que volver a transmitir por consecuencia de tener un error. Un BER muy alto nos indicaría que cuando se tiene una velocidad menor los datos podrían disminuir el tiempo que se da en la transmisión para una cantidad que ya predefinida de datos y que un BER más bajo reducirá la cantidad de paquetes que deben ser vueltos a transmitir.

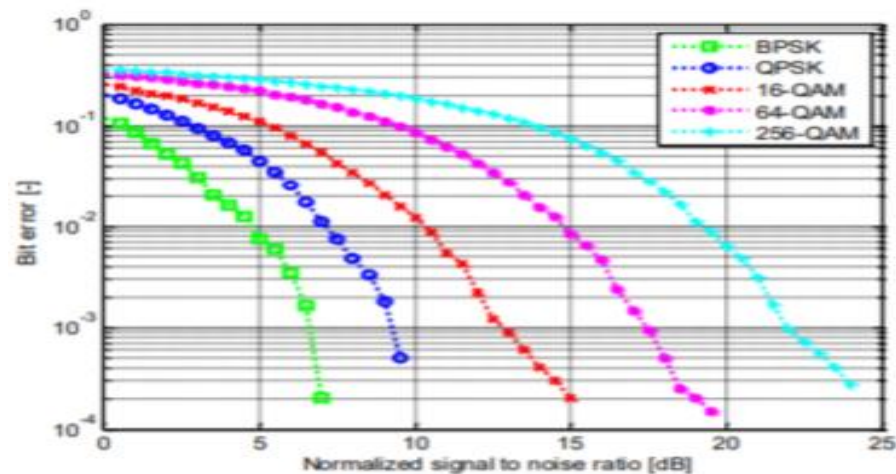


Figura 3. 4: Ejemplo del desempeño BER en diferentes tipos de modulación
Fuente: (Mastorakis & North Atlantic University Union, 2010)

3.3. Análisis del rendimiento de 16-QAM utilizando OFDM

3.3.1. Modelo de PLC

Para un sistema de comunicación PLC completo, es necesario crear un modelo de canales, así como un modelo de ruido y un modelo de transmisor y receptor. El modelo de PLC completo se creará a partir de modelos particulares. Entonces será posible crear un análisis de una línea de energía

concreta basada en las simulaciones de este sistema con varios modelos de líneas.

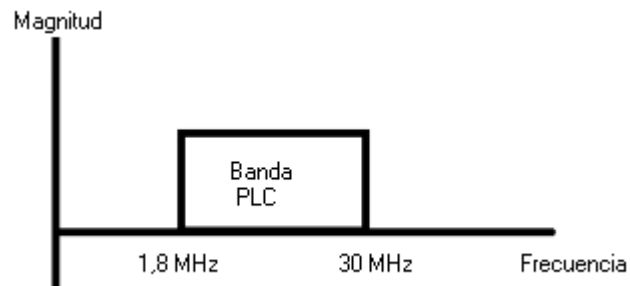


Figura 3. 5: Concepto de PLC
Fuente: (Arora et al., 2012)

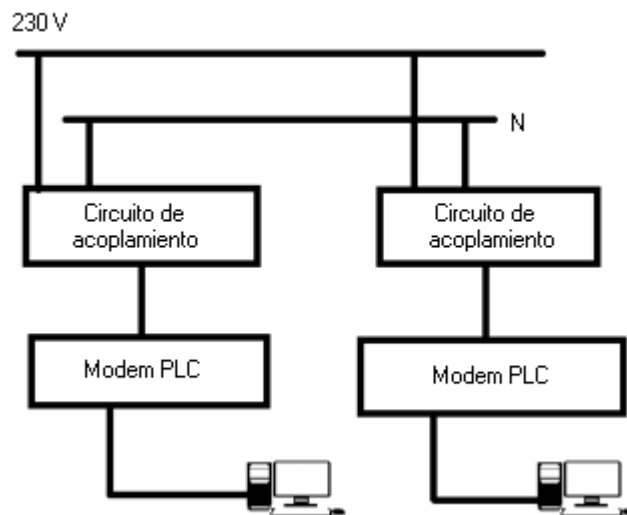


Figura 3. 6: Comunicación de potencia y datos a través de un cable de línea de alimentación
Fuente: (Arora et al., 2012)

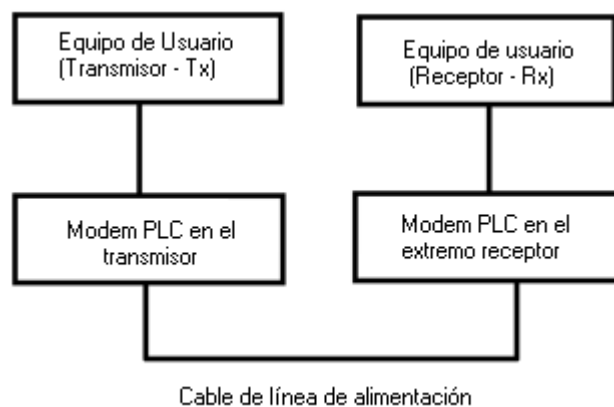


Figura 3. 7: Comunicación de datos entre dos módems PLC a través de una línea eléctrica
Fuente: (Arora et al., 2012)

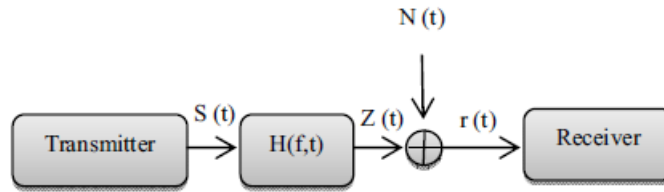


Figura 3. 8: Modelo de canal de comunicación PLC junto con ruido (t)
Fuente: (Najarkolaei, Hosny, & Lota, 2015)

Donde $N(t)$ es el ruido y $H(f)$ función de canal de transmisión.

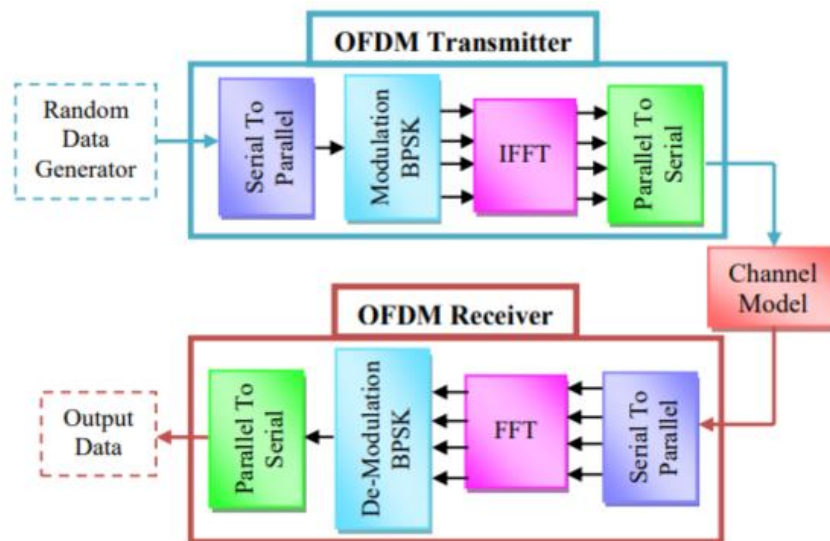


Figura 3. 9: Representación del diagrama de bloques del modelo OFDM
Fuente: (Karimian, 2011)

3.3.2. Conversión Serie a paralelo

El uso de subportadoras, en OFDM, aunque permite un uso óptimo fuera del espectro de frecuencia, pero también requiere un procesamiento adicional por parte del transmisor y el receptor. Este procesamiento adicional es necesario para convertir un flujo de bits en serie en varios flujos de bits paralelos que se dividirán entre las portadoras individuales.

Una vez que el flujo de bits se ha dividido entre las subportadoras individuales, cada subportadora se modula como si fuera un canal individual antes de que todos los canales se vuelvan a combinar y se transmitan como un todo. El receptor realiza el proceso inverso para dividir la señal entrante en subportadoras apropiadas y luego demodularlas individualmente antes de reconstruir el flujo de bits original.

3.3.3. Modulación con la Inversa FFT

La modulación de datos en una forma de onda compleja ocurre en la etapa IFFT del transmisor. Aquí, el esquema de modulación se puede elegir completamente independientemente del canal específico que se está utilizando y se puede elegir en función de los requisitos del canal. De hecho, es posible que cada subportadora individual use un esquema de modulación diferente. El papel de la IFFT es modular cada subcanal en la compañía apropiada.

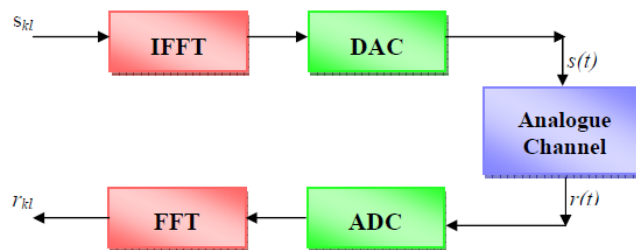


Figura 3. 10: Implementación de OFDM por FFT
Fuente: (Karimian, 2011)

3.3.4. Inserción de prefijo cíclico

Como los sistemas de comunicaciones no guiadas son susceptibles a las reflexiones de canal multidireccional, se agrega un prefijo cíclico para reducir el ISI. Además, es importante porque permite que las representaciones multicanal de la señal original se desvanezcan para que no interfieran con el símbolo subsiguiente. Un prefijo cíclico es una copia de la última parte del símbolo OFDM que está perpendicular al símbolo transmitido, hace que la señal transmitida sea periódica, lo que ayuda a reducir ISI e ICI.

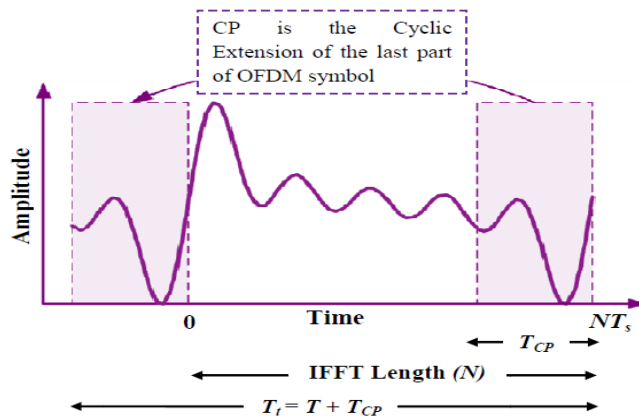


Figura 3. 11: Adición de prefijo cíclico
Fuente: (Karimian, 2011)

Sin embargo, un aumento en la longitud del prefijo cíclico dará como resultado un aumento en la energía transmitida, lo que consecuentemente resultará en una pérdida de la relación de señal a ruido (SNR). La ecuación SNR presenta la relación matemática entre la inserción del prefijo cíclico y la pérdida de SNR.

$$SNR_{loss} = -10 \log_{10} \left(1 - \frac{T_{cp}}{T} \right)$$

Dónde:

T_{cp} : La longitud del prefijo cíclico

T_t : Longitud del símbolo transmitido

Entonces la longitud del símbolo transmitido se puede escribir como:

$$T_t = T + T_{CP}$$

3.4. Simulación y resultados

La simulación muestra cómo procesar una secuencia de datos binarios usando un sistema de comunicación que consiste en un modulador, canal y demodulador de banda base. La tasa de error de bit del sistema (BER) se calcula y las señales transmitidas y recibidas se muestran en un diagrama de constelación. La siguiente tabla resume las operaciones básicas utilizadas y las funciones de MATLAB. El ejemplo usa banda base 16-QAM (modulación de amplitud en cuadratura) como el esquema de modulación y AWGN (ruido gaussiano blanco aditivo) como modelo de canal.

Tabla 3. 1: Funciones usadas en Matlab

Tarea	Función
Generar una secuencia de datos binarios aleatorios	randi
Convertir la señal binaria en una señal de valor entero	bi2de
Modular usando 16-QAM	qammod
Agregar ruido blanco gaussiano	awgn
Crear un Diagrama de Constelación	scatterplot
Desmodular usando 16-QAM	qamdemod
Convertir la señal de valor entero en una señal binaria	de2bi
Calcule el sistema BER	biterr

Elaborado por: Autor

La simulación utiliza la función randi para crear un vector de columna que contiene los valores de una secuencia de datos binarios. La longitud de la secuencia de datos binarios (es decir, el número de filas en el vector de columna) se establece arbitrariamente en 30,000.

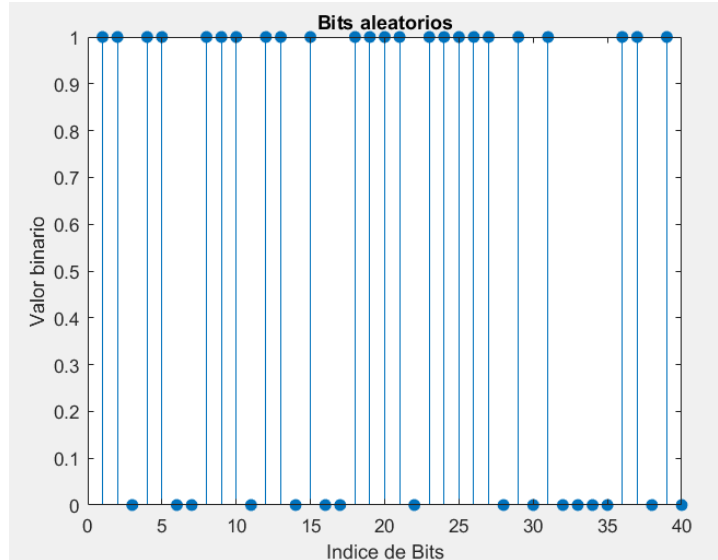


Figura 3. 12 El trazado de los primeros 40 bits en un diagrama de tallo.
Elaborado por: autor

3.4.1. Convertir la señal binaria en una señal de valor entero

La función qammod implementa un modulador QAM M-ary rectangular, siendo M 16 en esta simulación. La configuración predeterminada es tal que el objeto recibe enteros entre 0 y 15 en lugar de cuádruples de bits. En este ejemplo, se procesa el flujo de datos binarios dataIn antes de usar la función qammod. En particular, la función bi2de se usa para convertir cada 4-tupla en un entero correspondiente.

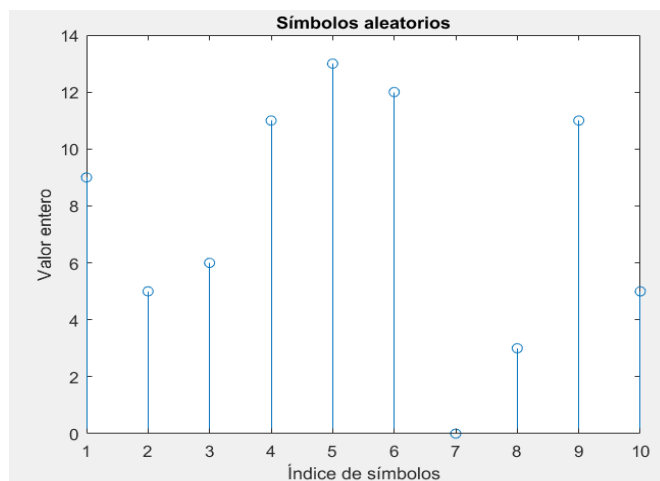


Figura 3. 13: El trazado de los primeros 10 símbolos en un diagrama de tallo.
Elaborado por: autor

3.4.2. Modulando usando 16-QAM

Después de haber generado el vector de columna `dataSymbolsIn`, se usa la función `qammod` para aplicar la modulación 16-QAM para las correlaciones bit a símbolo binario y codificado en gris. Recuerde que M es 16, el tamaño del alfabeto.

3.4.3. Agregado del ruido blanco gaussiano

La relación de densidad de bit a densidad espectral de potencia de ruido, E_b / N_0 , se ajusta arbitrariamente a 10 dB. A partir de ese valor, se puede determinar la relación señal / ruido (SNR). Dada la SNR, la señal modulada, `dataMod`, se pasa a través del canal utilizando la función `awgn`.

3.4.4. Creación de un Diagrama de Constelación

La función de diagrama de dispersión se usa para mostrar los componentes en fase y en cuadratura de la señal modulada, `dataMod`, y su versión recibida y ruidosa, `receivedSignal`. Al observar el diagrama resultante, los efectos de AWGN son fácilmente observables.

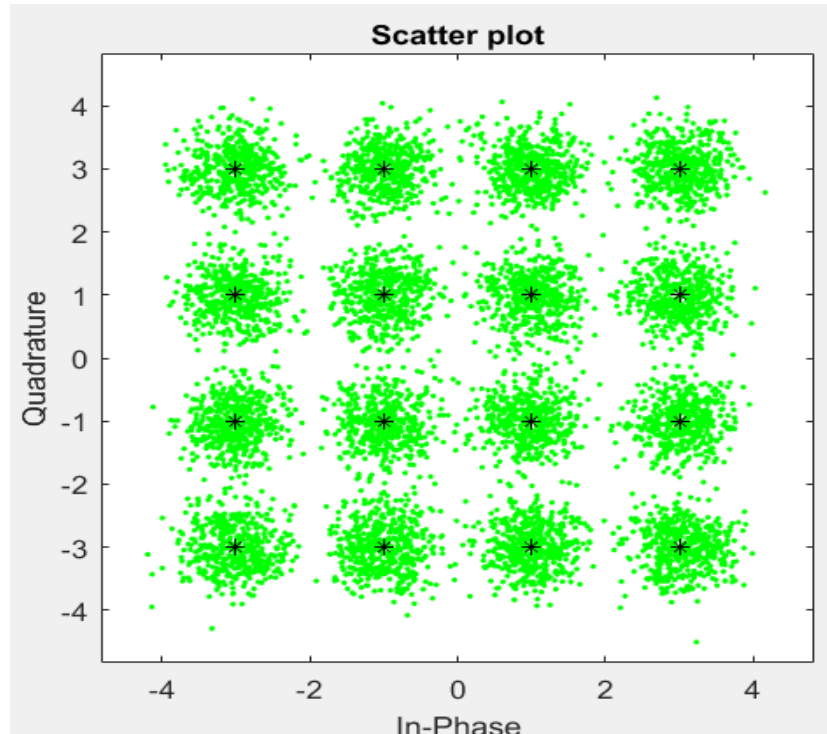


Figura 3. 14: Gráfico de la dispersión
Elaborado por: autor

3.4.5. Calcule el sistema BER

La función biterr se usa para calcular las estadísticas de error de bit de la secuencia de datos binarios original, dataIn y las secuencias de datos recibidas, dataOut y dataOutG. Se utiliza la función de tasa de error para calcular las estadísticas de error y use fprintf para mostrar los resultados. La función biterr es usada para calcular las estadísticas de error de bit de la secuencia de datos binarios original

```
The binary coding bit error rate = 2.40e-03, based on 72 errors
```

```
The Gray coding bit error rate = 1.33e-03, based on 40 errors
```

Se puede apreciar que la codificación Gray reduce significativamente la tasa de error de bit.

3.4.6. Asignación de símbolos binarios para la constelación 16-QAM

Se aplica la modulación 16-QAM a todos los valores de entrada posibles utilizando la asignación de símbolos predeterminada, binaria. Se recomienda utilizar la función de diagrama de dispersión para trazar el diagrama de la constelación y anotarlo con representaciones binarias de los puntos de la constelación.

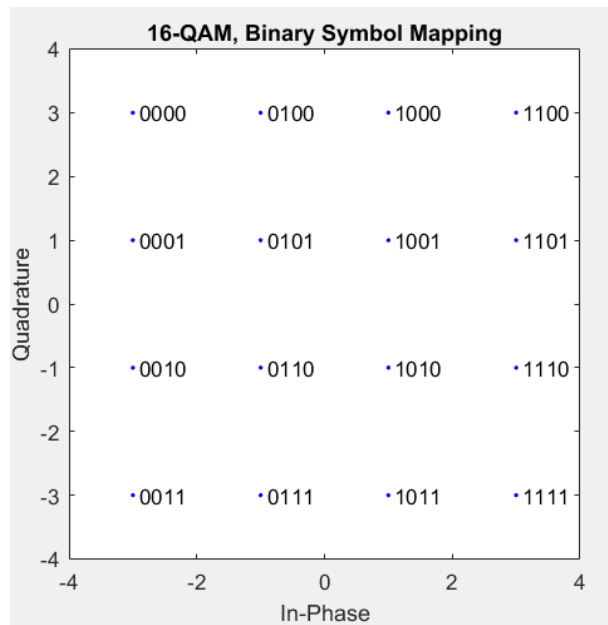


Figura 3. 15: Mapeo de símbolo binario 16-QAM
Elaborado por: autor

3.4.7. Asignación de símbolos con codificación gris para la constelación 16-QAM

Al aplicar la modulación 16-QAM a todos los valores de entrada posibles usando el mapeo de símbolos con codificación gris. Se utiliza la función diagrama de dispersión para trazar el diagrama de la constelación y anotarlos con representaciones binarias de los puntos de la constelación.

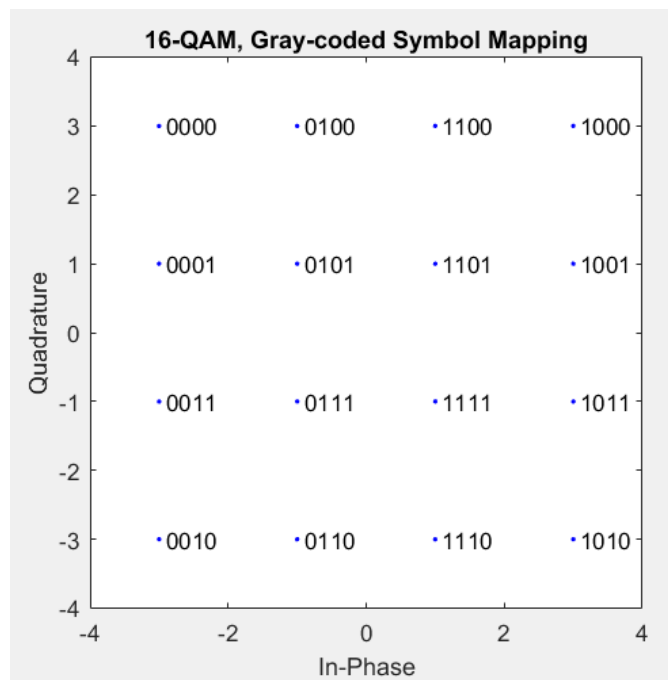


Figura 3. 16: Mapeo de símbolos codificados en grises de 16 QAM
Elaborado por: autor

En el gráfico de mapeo binario, permite observar que los símbolos 1 (0 0 0 1) y 2 (0 0 1 0) corresponden a los puntos de la constelación adyacente en el lado izquierdo del diagrama. Las representaciones binarias de estos enteros difieren en dos bits, a diferencia de la constelación de señales codificadas en gris, en la que cada punto difiere en solo un bit de sus vecinos directos, lo que conduce a un mejor rendimiento de BER.

3.4.8. Crear filtro coseno elevado

Se establece los parámetros de filtro de coseno elevado de raíz cuadrada. A continuación, hay que crear un filtro de coseno elevado de raíz cuadrada utilizando la función `rcosdesign` y visualizar la respuesta de impulso del filtro RRC utilizando la función `fvtool`.

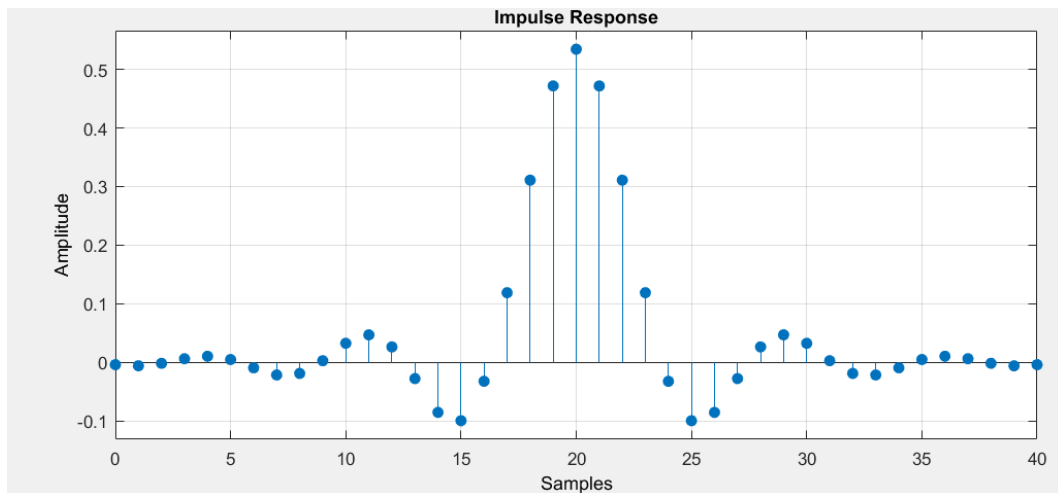


Figura 3. 17: Respuesta al Impulso
Elaborado por: autor

3.4.9. Simulación del BER

Usando la función `randi` para generar datos binarios aleatorios. La función `rng` debe establecerse en su estado predeterminado para que el ejemplo produzca resultados repetibles. Se vuelve a formar el vector de entrada en una matriz de datos binarios de 4 bits, que luego se convertirá en símbolos enteros.

Se utiliza la modulación de 16 QAM con `qammod` e insertando la función `upfirdn`, `upsample` y se aplica el filtro de coseno elevado de raíz cuadrada. Estas funciones aplican el mismo filtro de coseno elevado de raíz cuadrada que el transmisor usó anteriormente, y luego reducen el resultado por un factor de `nSamplesPerSymbol`.

El último comando elimina los primeros símbolos de `Span` y los últimos símbolos de `Span` en la señal diezmada porque representan el retraso acumulativo de las dos operaciones de filtrado. Ahora `rxFiltSignal`, que es la entrada al demodulador, y `dataSymbolsOut`, que es la salida del modulador, tienen el mismo tamaño de vector. En la parte del ejemplo que calcula la tasa de error de bit. Se requiere comparar vectores que tienen el mismo tamaño.

`The bit error rate = 1.82e-03, based on 546 errors`

3.4.10. Visualización de efectos de filtro

La función <<Eye Diagram>> crea un diagrama de ojo para parte de la señal filtrada sin ruido. Este diagrama de la figura 3.18 ilustra el efecto de la conformación del impulso. Hay que tener en cuenta que la señal muestra interferencia entre símbolos significativa (ISI) porque el filtro, es un filtro de coseno elevado de raíz cuadrada, y no un filtro de coseno elevado completo.

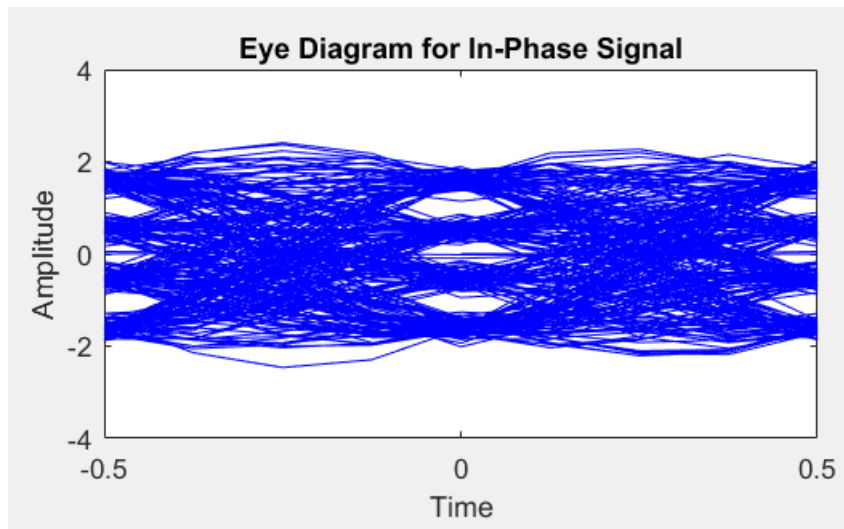


Figura 3. 18: diagrama de ojo para señal en fase
Elaborado por: autor

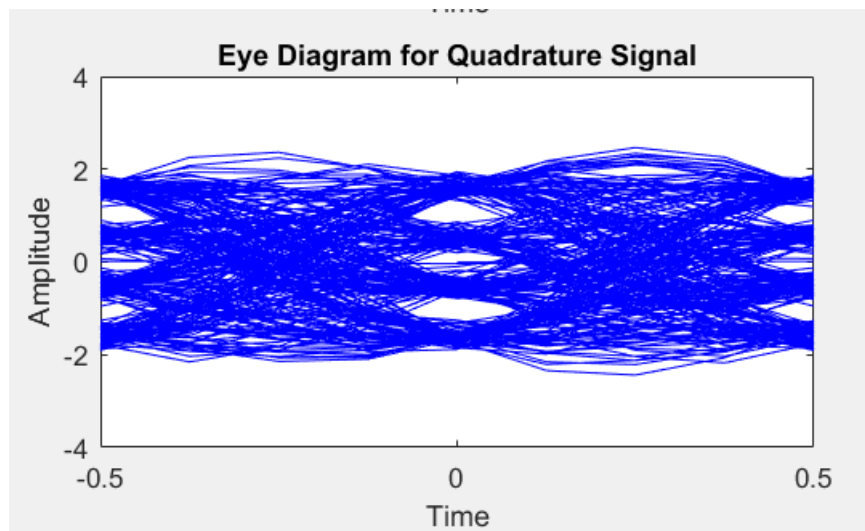


Figura 3. 19: diagrama de ojo para señal en cuadratura
Elaborado por: autor

Se crea un diagrama de dispersión de la señal recibida antes y después del filtrado para poder visualizar los cambios producidos.

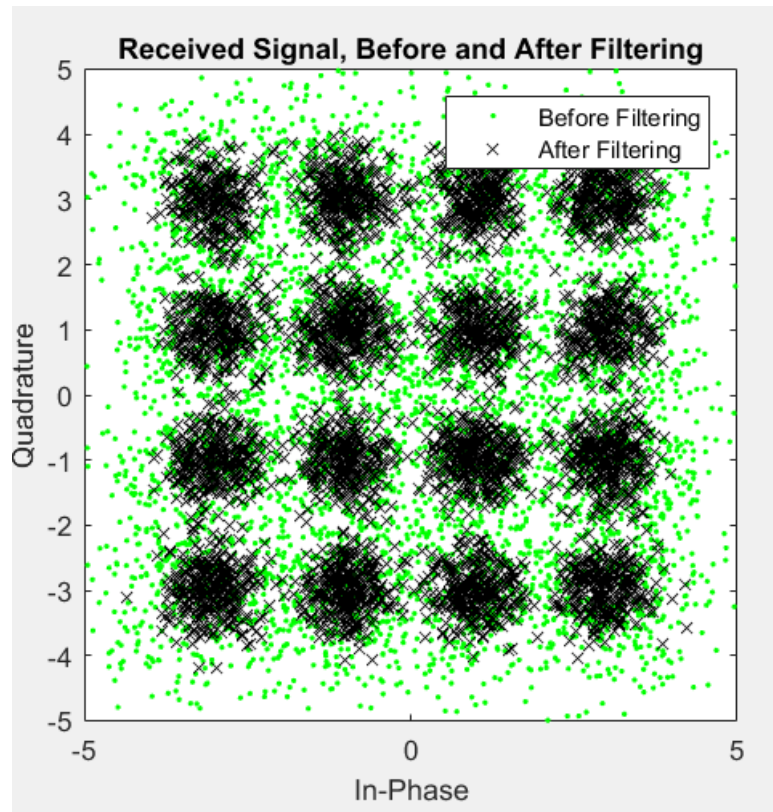


Figura 3. 20: La señal recibida (antes y después del filtrado)
Elaborado por: autor

Conclusiones

- BPL ofrece un medio conveniente y económico para la transmisión de datos, sin embargo, la tecnología de comunicación necesaria enfrenta un desafío difícil y es el de desarrollar los modelos y los estándares más adecuados para su uso.
- Las líneas de baja tensión presentan un entorno muy severo para las señales de comunicación de alta frecuencia que sufren atenuación debido a la pérdida de línea y a la falta de coincidencia de impedancia debido a las derivaciones y cargas.
- El documento se ha ocupado del modelo de comunicación PLC basado en la técnica 16-QAM OFDM y el análisis de rendimiento se ha realizado en la tasa de error del símbolo. Los resultados de la simulación muestran que la constelación de símbolos 16-QAM está completamente recuperada.

Recomendaciones

- La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil debe ser pionera en implementar, definir y poner en marcha un proyecto en base a la red de acceso PLC.
- Se deben seguir mejorando algunos parámetros, como el ruido, ya que no permite trabajar de manera óptima con el sistema PLC, y provocan que aún no se pueda vender esta tecnología por la disconformidad que pueda causar tanto a los futuros clientes como a los mismos proveedores.
- Poner en marcha un proyecto de red de acceso PLC, analizar y utilizar los mejores protocolos y medios de seguridad a través de la comunicación por IP ya que esta tecnología al mezclarla con los Smart Grid se introduce al mundo de IoT (internet de las cosas) provocando que cualquier hacker pueda saber nuestra información.

Glosario

- ADR Automated Demand Response (Respuesta automatizada a la demanda)
- AMI Advanced Metering Infrastructure (Infraestructura de Medición Avanzada)
- AMR Automatic Meter Reading (Lectura automática del medidor)
- BEMS Building Energy Management System (Sistema de gestión de la energía del edificio)
- BER Bit Error Rate (Tasa de error de bit)
- BASK Binary Amplitude Shift Keying (Binario amplitud Shift Keying)
- BPL Broadband Over Powerline (Banda ancha sobre línea eléctrica)
- BFSK Binary Frequency shift Keying (Cambio de frecuencia binaria)
- BPSK Binary Phase Shift Keying (Cambio de fase binaria)
- DPSK Differential Phase Shift Keying (Cambio de fase diferencial)
- DSP: Digital Signal Processor (Procesador de señal digital)
- ICI InterCarrier Interference (Interferencia entre operadores)
- ISI InterSymbol Interference (Interferencia entre símbolos)
- LAN Local Area Network (Red de área local)
- Multiplex : mix of several sources (multiplexor)
- M-Array Quadrature Amplitude Modulation
- OFDM Orthogonal Frequency Multiplexing
- PLC Power Line Communications (Comunicaciones de línea de potencia)
- QAM : Quadrature Amplitude Modulation (M=4, 8, 6, 64, 128, 256,etc) (modulación de amplitud de cuadratura)
- QPSK Quadrature Phase Shift Keying (Cambio de fase en cuadratura)
- SCADA Supervisory Control and Data Acquisition (Control de supervisión y Adquisición de Datos)

Bibliografía

- Arora, S., Chandna, V. K., & Thomas, M. S. (2012). Performance Analysis of 16-QAM using OFDM for Transmission of Data over Power Lines. *Energy Procedia*, 14, 1723-1729. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.1158>
- Balaramakrishna, K., Vishnu, K., & Rajesh, M. (2017). Testing and Simulation of Various Modulation Techniques Using OFDM in Wireless Communications Environment. Recuperado 4 de marzo de 2018, a partir de <http://www.ijeecse.com/V4N6-023.pdf>
- Bañon Peñuelas, J., Benito Casado, J., & Rodriguez Garcia, M. (2007). PLC.pdf. Recuperado 9 de marzo de 2018, a partir de <http://www.tsc.uc3m.es/docencia/SyCT/docencia/SyCT/2007/PLC.pdf>
- Cano, C., Pittolo, A., Malone, D., Lampe, L., Tonello, A. M., & Dabak, A. G. (2016). State of the Art in Power Line Communications: From the Applications to the Medium. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(7), 1935-1952. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2016.2566018>
- Dash, & Sasanka, S. (2017). Application of OFDM over Indoor Power Line Communication, 6. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET.2017.8299755>
- Degauque, P., Stievano, I., Pignari, S., Degardin, V., Canavero, F., Grassi, F., & Canete, F. J. (2015). Power-Line Communication: Channel Characterization and Modeling for Transportation Systems. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 10(2), 28-37. <https://doi.org/10.1109/MVT.2015.2411111>
- Ding, X., & Meng, J. (2007). 1 Characterization and Modeling of Indoor Power-Line Communication Channels.

- Eléctricas, C. P. L. (2012, julio 2). Comunicación por Líneas Eléctricas: Sistema y Configuración PLC. Recuperado 7 de marzo de 2018, a partir de <http://impacto-plc.blogspot.com/2012/07/sistema-y-configuracion-plc.html>
- García, R. (2004). Powerline Communications. Recuperado a partir de <http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/60/bajar/Sistemas.II/Powerline.Communications.pdf>
- Hrasnica, H., Haidine, A., Lehnert, R., Of, A., Hrasnica, H., Haidine, A., & Lehnert, R. (2005). Communications Networks Broadband Powerline Communications Networks Network Design.
- Karimian, N. (2011). Design and Analysis of OFDM System for Powerline Based Communication.
- Khalifa Saleh, A. M. (2011). Techniques for Broadband Power Line Communications: Impulsive Noise Mitigation and Adaptive Modulation. Recuperado a partir de <https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:13700>
- Kovendan, A. K. P., Priyadharshini, & Sridharan, D. (2016). Design of power line communication based ICT for smart grids (pp. 1452-1455). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7808072>
- Mastorakis, N. E., & North Atlantic University Union (Eds.). (2010). Latest trends on communications and information technology: 4th International Conference on Communications and Information Technology (CIT 10); Corfu Island, Greece, July 22 - 25, 2010. S.I.: WSEAS Press.
- Mosalaosi, M. (2014). POWER LINE COMMUNICATION (PLC) CHANNEL MEASUREMENTS AND CHARACTERIZATION. Recuperado a partir

de https://researchspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/12513/-Mosalaosi_Modisa_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Najarkolaei, A. H., Hosny, W., & Lota, J. (2015). Bit Error Rate Performance in Power Line Communication Channels with Impulsive Noise (pp. 248-251). IEEE. <https://doi.org/10.1109/UKSim.2015.36>

Peralta, A. (2010). BPL (Broadband Power Line): una alternativa para brindar el servicio de internet de alta velocidad. *Ingenius*, (4). <https://doi.org/10.17163/ings.n4.2010.03>

Tucci, M., Raugi, M., Bai, L., Barmada, S., & Zheng, T. (2017b). Analysis of noise in in-home channels for narrowband power line communications (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977711>

Unsal, D. B., & Yalcinoz, T. (2015). Applications of New Power Line Communication Model for Smart Grids. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 7(3), 168-178. <https://doi.org/10.17706/IJCEE.2015.7.3.168-178>

Zhu, W., Zhu, X., Lim, E., & Huang, Y. (2013b). State-of-Art Power Line Communications Channel Modelling. *Procedia Computer Science*, 17, 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.072>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PAREDES CALDERON, FRANCISCO JAVIER** con C.C: # 0924068232 autor del Trabajo de Titulación: **Estudios de las técnicas de modulación empleadas en PLC y simulación de una de ellas utilizando Matlab** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 13 de Marzo de 2018

f. _____

Nombre: PAREDES CALDERON, FRANCISCO JAVIER

C.C: 0924068232

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudios de las técnicas de modulación empleadas en PLC y simulación de una de ellas utilizando Matlab		
AUTOR(ES)	PAREDES CALDERON, FRANCISCO JAVIER		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de Marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	66
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de Comunicación, Transmisiones y Líneas de Transmisión		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	PLC, MULTIPLEXACIÓN, OFDM, SMART GRID, BER, MATLAB		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El trabajo de investigación trata de manera detallada los parámetros en el que trabaja la tecnología Power Line Communication (PLC) que se la considera como un medio de comunicación moderno el cual está basado en la conexión óptima en una red de datos para dispositivos multimedia (computadores, celulares, consolas de juego) a través de la red eléctrica. La tecnología PLC tiene características especiales, ya que utiliza dos ramas muy diferentes que se combinan: las telecomunicaciones y la electricidad. La transmisión y recepción de la información por medio la tecnología PLC ha logrado un importante impacto en la actualidad para su continua investigación, experimentación y generar aplicaciones en las redes eléctricas inteligentes. La constante presencia de ruido, interferencias siguen siendo el problema por resolver en el medio de transmisión de las redes eléctricas, se hace necesario seleccionar técnicas de modulación que den resultados óptimos en el comportamiento de la tecnología PLC. Por medio de los estudios de las técnicas de modulación y a partir de simulaciones a través del programa Matlab en base a diferentes variantes, se logra corregir y optimizar el uso de esta tecnología en los Smart Grids. El desempeño de parámetros importantes como la tasa de error de bits, los diagramas de dispersión, que determina las mejores condiciones en las cuales puede trabajar PLC en la infraestructura eléctrica. La técnica del cual se basa el trabajo de investigación es la modulación por Multiplexación de División de Frecuencias Ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM).</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-60083328	E-mail: Franciscopz_10@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			