



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en
las redes energéticas inteligentes (*Smart Grids*).**

AUTOR:

Ing. John Dennys Moncayo Asitimbay

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
Magíster en Telecomunicaciones**

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 16 de Junio de 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster John Dennys Moncayo Asitimbay, como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz.

Guayaquil, 16 de Junio de 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, JOHN DENNYS MONCAYO ASITIMBAY

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en las redes energéticas inteligentes (Smart Grids)**”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente, este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 16 de Junio de 2017

EL AUTOR

Ing. John Dennys Moncayo Asitimbay



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

YO, JOHN DENNYS MONCAYO ASITIMBAY

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: **“Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en las redes energéticas inteligentes” (Smart Grids)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 16 de Junio de 2017

EL AUTOR

Ing. John Dennys Moncayo Asitimbay

Reporte Urkund

Es seguro | <https://secure.orkund.com/view/27993823-501431-263477#Dce7CoAwDEbhd+kcjH8vSeyriIMUIQ526Si+u+HwDecNzwx1AzOB4cyt>

ORKUND

Documento	Trab. de Titulación Final- Moncayo-16.May.docx (D28289410)
Presentado	2017-05-16 23:26 (-05:00)
Presentado por	orlandophilco_7@hotmail.com
Recibido	orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Análisis Urkund-TT-Moncayo-16May Mostrar el mensaje completo

3% de esta aprox. 40 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 10 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- <https://es.slideshare.net/sergiomarodelo/distribucion-de-energia>
- <http://itsct.edu.ec/portal/index.php/component/content/article?id...>
- <http://www.planv.com.ec/ideas/ideas/el-ecuador-no-despega-lo-di...>
- <https://globelectricity.wordpress.com/>
- <http://documentslide.com/documents/nivelacion-sistema-de-distri...>
- <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017...>

1 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en las redes energéticas inteligentes (Smart Grids).

AUTOR: Ing. John Dennys Moncayo Asitimbay

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: MSc. Manuel Romero Paz

Urkund Report - Tr...pdf Mostrar todo X

Dedicatoria

Esta tesis la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino y darme muchas fuerzas para continuar y finalizar mis estudios, sin desmayar en las adversidades que se me presentaron.

A mis padres Carlos y Narcisa quienes con su apoyo me guiaron para concluir todas las metas que me propuse.

A mi esposa Kathiusca y mis hijos que son mi inspiración y motivación para seguirme superando cada día.

A mi tutor de tesis Msc. Manuel Romero Paz quien me brindo sus conocimientos durante el inicio y finalización de esta tesis.

A mis compañeros de trabajo Jhonny y Roosswelt quienes siempre estuvieron ahí ayudándome y fueron participes que este sueño sea una realidad.

John Dennys Moncayo Asitimbay.

Agradecimiento

Primeramente agradezco a la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por haberme aceptado como su estudiante y permitirme ser parte de la cuarta promoción de Magister en Telecomunicaciones.

A todos los docentes quienes me brindaron sus conocimientos, destrezas y capacidades durante los 2 años de aprendizaje de esta carrera.

Agradezco también a mi tutor de tesis Msc. Manuel Romero Paz por guiarme con sus conocimientos científicos en la conclusión de este trabajo.

Y por último mi agradecimiento al Ing. Rooswelt Saraguro Ríos quien fue una pieza clave para poder asistir a la universidad, con sus permisos, sus guías y sus conocimientos forjaron en mí el deseo de superación.

John Dennys Moncayo Asitimbay



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

TUTOR

f. _____

CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

REVISOR

f. _____

PHILCO ASQUI, ORLANDO LUIS

REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1: Generalidades de la Investigación	3
Introducción	3
Antecedentes	4
1.1 Planteamiento del Problema	6
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Justificación	6
1.4 Hipótesis	7
1.5 Metodología de investigación	7
CAPÍTULO 2: De las redes energéticas convencionales a las redes inteligentes o Smart Grids	8
2.1 Características de la red eléctrica convencional	8
2.1.1 Funcionamiento de la red de distribución eléctrica	11
2.2. Redes Eléctricas Inteligentes	12
2.3 Modelo Conceptual y el Diagrama de Referencia para la Red Inteligente	12
2.3.1 Rutas de las comunicaciones (Diagrama Referencial) para SG14	
2.3.2 Funciones de Red Inteligente según áreas dados por la ITU	15
2.4 Las microrredes para la Red Inteligente	17
2.4.1. Áreas clave para la Normalización	18
2.5. Servicios de plataforma de red inteligente	19
2.5.1 Infraestructura de Medición Avanzada	20
2.5.2 Sistemas de monitoreo para la red eléctrica	20
2.6 Comparación entre la red convencional y la red inteligente	21
2.7 Conclusiones del Capítulo II	23

CAPÍTULO III: Fundamentación de la tecnología PLC para SG: ventajas y desventajas	25
3.1 Revisión de literatura científica	25
3.2 Clasificación PLC según su tecnología	26
3.3. Caracterización de un canal PLC interior para banda ancha	27
3.4 Modelado del canal PLC	30
3.4.1 Modelado de canal por multitrayecto	33
3.5 Ventajas y desventajas de PLC	36
3.6 Modulaciones para la tecnología PLC	37
3.6.1 Modulación OFDM	37
3.7 Caso: Simulación OFDM con Matlab	39
3.8 Algoritmos para simular ganancia en canal PLC	42
3.9 Ejemplo de simulación del modelo de canal PLC con N muestras.	44
3.10 Conclusiones del Capítulo III	47
CAPÍTULO IV: PLC para Alta tensión, Media tensión y Baja tensión	49
4.1 PLC para Alta Tensión	49
4.2 PLC para Media Tensión	53
4.2.1 Configuración PLC en Media Tensión	56
HE (HEAD END) O UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO (UA)	58
Unidad Repetidora (UR)	60
Unidad de Usuario (UU) O Modem PLC	60
4.3 PLC para Baja Tensión	61
4.3.1 Infraestructura de PLC en BT	62
4.3.2 Escenario de comunicación integrando PLC con red Smart Grid	66
Conclusiones	68
Recomendaciones	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Esquema de generación, transmisión y distribución de electricidad.....	9
Figura 2. 2. Representación de etapa de distribución eléctrica	9
Figura 2. 3. La red de distribución y sistema de potencia	10
Figura 2. 4. Enlaces de comunicación dentro de los 7 dominios de red inteligente	13
Figura 2. 5 Diagrama de referencia para la red inteligente	14
Figura 2. 6. Áreas y características por funciones de red inteligente (vista detallada)	16
Figura 2. 7 Esquema por micro redes para red SG	17
Figura 2. 8. Principales Aplicaciones y la Plataforma de Red Inteligente	19
Figura 2. 9 Representación de conexión de sistema SCADA para subestación eléctrica	21
Figura 3. 1 Circuito básico de comunicación digital de una línea eléctrica	28
Figura 3. 2 Muestras de ruido en líneas eléctricas.....	29
Figura 3. 3. Esquema típico para un modelo estático de red PLC	30
Figura 3. 4. Representación de bloque	31
Figura 3. 5 Función de transferencia y respuesta a impulso del canal interior de PLC.....	32
Figura 3. 6 Tendencias variables de la magnitud del impulso y del índice de muestreo con la distancia	33
Figura 3. 7 Configuración de red simple en línea de Baja Tensión.....	34
Figura 3. 8. Modelo de canal de trayectos múltiples con el número de ruta = 4.....	35

Figura 3. 9. Modelo de canal de trayectos múltiples con el número de ruta = 10.....	35
Figura 3. 10. Emulador del grupo U. Málaga	39
Figura 3. 11. Esquema en bloques del Simulador de la U- Málaga	40
Figura 3. 12. Modelo para canal PLC interior	41
Figura 3. 13. Señal OFDM en Matlab	42
Figura 3. 14. Ganancia de modelo de canal PLC y el diagrama de fase, N = 4.....	43
Figura 3. 15. Ganancia de modelo de canal PLC y el diagrama de fase, N = 15.....	45
Figura 3. 16 Dependencia de BER con E_b/N_0 para una modulación particular, en sistema OFDM	46
Figura 3. 17 Dependencia de BER en E_b/N_0 para diferentes esquemas de codificación	46
Figura 4. 1. Red de Alta Tensión AT.....	50
Figura 4. 2 Escenario de Alto Voltaje de PLC.....	52
Figura 4. 3 Esquema de organización de la red de distribución eléctrica para PLC.....	52
Figura 4. 4 Arquitectura de una red PLC.	54
Figura 4. 5 Sistema outdoor PLC (externo)	55
Figura 4. 6 Esquema de conexión de Cabecera PLC.....	56
Figura 4. 7 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.....	57
Figura 4. 8 Unidad de Acondicionamiento instalada en un cuarto de Transformación (Subestación eléctrica) más unidad repetidora	59
Figura 4. 9 Instalación de PLC en la red BT	61
Figura 4. 10. Bypass en el transformador eléctrico.....	62
Figura 4. 11. Unidad de acoplamiento capacitivo BT.....	63

Figura 4. 12 Unidad de acoplamiento inductivo BT y modos de inserción	64
Figura 4. 13. Esquema instalación de una red PLC.....	65
Figura 4. 14 Representación del uso de PLC como tecnología para Smart Grid.....	67

Índice de Tablas

Tabla 2. 1. Dominios y componentes en el modelo conceptual de red inteligente	13
Tabla 2. 2 Características distintivas de la red convencional y la red inteligente	22
Tabla 3. 1 Ventajas y desventajas de la tecnología PLC	36
Tabla 3. 2 Número de portadoras para el sistema PLC.	38

RESÚMEN

El avance de tecnologías para la supervisión o monitoreo de variables en sectores industriales o residenciales, ha permitido que la *Power Line Communication* (PLC) diseñado para la propagación de señales de telecomunicaciones (voz, video constituya la plataforma para la comunicación y control de la infraestructura de red eléctrica entre la red de distribución y el usuario a través de las líneas eléctricas. PLC presenta características especiales, ya que converge en dos entornos diferentes: las telecomunicaciones y la electricidad. Actualmente la transmisión de información utilizando PLC ha adquirido una importancia vital para su uso en las llamadas redes energéticas inteligentes Smart Grid (SG).

Existe poco conocimiento acerca del desempeño de PLC en las redes energéticas inteligentes. Ante ello el presente trabajo de investigación caracteriza aspectos técnicos determinantes en las redes de transporte y distribución de la energía eléctrica. El alto nivel de atenuación (pérdida de señal o datos) de acceso a los cables de alimentación de PLC tuvo dos efectos importantes por investigar; la red de transporte y red de distribución aspectos donde la tecnología Smart Grid está inmerso pues es en estas dos redes donde se emplea hardware y software de SG.

Por lo anterior se hace necesaria una detallada caracterización de dichas líneas en lo concerniente a sus estructuras, funcionalidad, servicios y elementos componentes que permita la toma de decisiones acertadas para el despliegue de la mencionada tecnología. El énfasis estará en las líneas de Baja Tensión (BT) para transmisión en banda estrecha y banda ancha.

Palabras claves: *PLC, BPL, OFDM, SMART GRID.*

ABSTRACT

The advancement of technologies for monitoring or monitoring of variables in industrial or residential sectors, has allowed the Power Line Communication (PLC) designed for the propagation of telecommunications signals (voice, video constitutes the platform for communication and control infrastructure. mains between the distribution network and the user through power lines PLC has special characteristics, since converge in two different environments. telecommunications and electricity currently transmitting information using PLC has acquired a vital importance for use in so-called smart energy grids Smart Grid (SG).

There is little knowledge about the performance of PLC in smart energy networks. Given this, the present research work characterizes determinants technical aspects in the transmission and distribution of electricity. The high level of attenuation (loss of signal or data) access to power cables PLC had two important effects research; the transmission network and distribution network aspects where the Smart Grid technology is immersed as it is in these two networks where hardware and software used SG.

Therefore a detailed characterization of these lines with regard to their structures, functionality, services and components elements that allow making sound decisions for the deployment of that technology is necessary. The emphasis will be on the lines of low voltage (LV) and interior transmission narrowband and broadband. At work should address the situation of the previous problems in Ecuador.

Keywords: PLC, BPL, OFDM, SMART GRID.

CAPITULO 1: Generalidades de la Investigación

Introducción

Las comunicaciones a través de las líneas eléctricas (*Power Line Communications*, PLC) es una tecnología desarrollada en 1928 por la compañía norteamericana de telecomunicaciones AT&T, dicha tecnología permite que los datos sean transmitidos a través de líneas eléctricas de servicios públicos. Para efectuar esta operación se necesita un protocolo de comunicación que utiliza el cableado eléctrico para transportar simultáneamente datos y corriente alterna (AC) de transmisión de energía eléctrica o de distribución de energía eléctrica.

Desde 1980, ha habido una nueva iniciativa en utilizar el potencial de las técnicas de comunicaciones digitales y procesamiento de señales digitales. Diez años después, en la década de 1990 con el advenimiento de PLC de banda ancha (*Broadband Power Line*, BPL), se aprovechó para el acceso a Internet (como una alternativa a los sistemas xDSL, HFC y radio).

BPL se basa en la tecnología PLC, pues numerosos fabricantes formaron alianzas para fomentar la banda ancha a través de las líneas eléctricas, de allí surge la línea eléctrica de Telecomunicaciones (PLT), Internet mediante línea eléctrica (IPL); así el acceso BPL ofrece la transmisión de datos digitales de alta velocidad sobre el cableado de distribución de energía eléctrica.

Otro avance se produjo en la década de 2000, con la aplicación de PLC para la medición inteligente en las denominadas redes energéticas inteligentes, que evoluciona del registro diario de lectura del medidor a una operación próxima al tiempo real y gestión de elementos de baja tensión, incluyendo comandos de conexión y desconexión.

Las redes energéticas inteligentes tienen como objetivo primordial crear un sistema activo que garantice la conectividad a través de un aumento del nivel de interacción con los consumidores, esto debe alcanzar a su

vez una reducción de costos para la empresa comercializadora de electricidad, así como bienestar para el usuario.

Antecedentes

En la actualidad uno de las grandes dificultades para la utilización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's) y ciertos servicios de telecomunicaciones, como por ejemplo Internet especialmente a zonas rurales apartadas de los grandes centros urbanos, son los costos de implementación, mantenimiento y despliegue de las tecnologías existentes.

Según un informe del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL, 2016) Las TICs son el medio de acceso a información y conocimiento, que ayuda a la 'vida digital' De forma coyuntural el MINTEL, a través de un Programa Nacional de Desarrollo de Banda Ancha, pretende establecer políticas específicas en los ejes importantes, tales como: Redes, Servicios, Recursos y Usuario, por ello se pretende introducir mediante este programa las condiciones equitativas e inclusivas de acceso masivo a la banda ancha en el Ecuador. (MINTEL , 2016).

El Ecuador ocupa el puesto número 29 entre 34 países estudiados por el nuevo Índice de Telefónica sobre la Vida Digital, con una puntuación de 54,3 sobre 100, por debajo de lo que le correspondería según su renta per cápita.

El Índice mide cómo avanzan 34 países del mundo, entre ellos el Ecuador, hacia una economía digital y una sociedad digital, lo que, en conjunto, Telefónica denomina "vida digital". El índice examina específicamente tres subíndices:

Apertura digital: Grado de apertura con el que la infraestructura facilita el acceso a la información y con el que esta fluye (apertura en Internet y la disponibilidad de los servicios públicos digitales).

Confianza digital: Grado de predisposición y de confianza con que los individuos y las organizaciones interactúan con la infraestructura digital y con el mundo digital (privacidad y seguridad digital).

Iniciativa empresarial digital: Grado de aptitud con el que las actividades económicas de los ciudadanos y las organizaciones prosperan en el entorno digital (se la mide por el desarrollo del conocimiento digital, las empresas digitales, la innovación y las finanzas). (Ortiz, 2017).

El Gobierno tiene planificado que hasta el 2021 al menos el 50% de los hogares tenga acceso a la red de banda ancha, para que de esta manera se reduzca la brecha digital y es importante contar con otro medio de transporte tecnológico, que ayude a alcanzar los objetivos del plan de conectividad, que todos los ecuatorianos tengan fácil acceso o inclusión social a las tecnologías, es decir que se incremente el acceso a la TICs (MINTEL , 2016).

En zonas rurales de nuestro país, aun no se tiene accesibilidad eficiente para el uso de las TICs y el bienestar que conlleva la 'vida digital'. Este aspecto puede ayudar a reducir la brecha digital, brindar prosperidad, entre otros aspectos. Un factor tecnológico que se puede tomar en cuenta es el despliegue del tendido eléctrico, que se le cataloga como la red cableada que tiene más presencia que otras redes cableadas. Aunque solo transporta electricidad, estudios y ensayos para optimizar el transporte de datos, la presentan como una tecnología que puede colaborar a la 'vida digital' transmitiendo datos e internet de forma aceptable en redes de Media Tensión y en Baja Tensión.

Existen tecnologías y sistemas inalámbricos como Wifi, Wimax, 3G, 4G (Telefonía móvil), que necesitan infraestructura de red que resulta costosa porque demanda muchos equipos e infraestructura para servir con servicios de telecomunicaciones a zonas rurales. Ante estas circunstancias la tecnología PLC se muestra como un recurso tecnológico alternativo.

El grupo de investigadores de la universidad de Málaga en España, avanzan estudios para proteger los datos ante el ruido que se presenta en un canal PLC, sin embargo ya existen logros significativos para proponer a la tecnología PLC como una alternativa para ofrecer servicios de

comunicación (voz, video y datos) utilizando como infraestructura de transmisión, la red eléctrica que se puede decir es ubicua, se implementa en la mayor parte de los lugares, donde el usuario necesita el servicio eléctrico.

1.1 Planteamiento del Problema

Escasa presencia en la literatura científico técnica de trabajos sobre las redes energéticas inteligentes con un enfoque integral (generación, distribución y consumo) dirigidos al despliegue eficiente de la tecnología PLC.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar las redes de distribución de la energía eléctrica en baja tensión, enfocando la misma hacia aquellos aspectos determinantes en la implementación de sistemas PLC.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar las redes eléctricas de generación, transporte y distribución en lo concerniente a sus estructuras, funcionalidad, servicios y elementos componentes en función de la introducción de las SGs.
2. Fundamentar el uso de las comunicaciones por redes de energía eléctrica o PLC como alternativa para las comunicaciones en las SGs.
3. Profundizar en el uso de PLC de banda ancha en líneas de baja tensión, con énfasis en interiores.

1.3 Justificación

Las redes de distribución eléctricas inteligentes representan la evolución necesaria de las redes actuales, por medio de una aplicación más profunda de las funciones de automatización y un alto nivel de

introducción de las Tecnologías de la Información y Comunicación, con el fin de aumentar la calidad de la energía y de los servicios auxiliares de la información que garanticen la seguridad, la eficiencia económica y energética en el suministro de energía eléctrica a sus usuarios.

1.4 Hipótesis

Una caracterización de las redes de distribución de la energía eléctrica enfocada hacia los aspectos determinantes en la calidad de las comunicaciones PLC, permitiría el diseño seguro y confiable de sistemas de este tipo para aplicaciones en redes energéticas inteligentes.

1.5 Metodología de investigación

Este trabajo de titulación de maestría emplea la metodología descriptiva porque reconoce las características de desempeño que permitirá evaluar ventajas y desventajas relativas aplicadas a la tecnología PLC y su aplicación en redes energéticas inteligentes.

Además, se emplea la metodología bibliográfica para conocer resultados de evaluaciones de la tecnología PLC en redes de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Además, se aplica la metodología analítica- sintético, que permite evaluaciones y discusiones acerca de redes eléctricas inteligentes desde la red de distribución y el usuario final. Se realizan síntesis se las cosas o de los fenómenos inherentes a las telecomunicaciones por red eléctrica y el paradigma de las redes eléctricas inteligentes.

CAPÍTULO 2: De las redes energéticas convencionales a las redes inteligentes o Smart Grids

A continuación, se detalla la caracterización de la red eléctrica convencional y de la red energética inteligente.

2.1 Características de la red eléctrica convencional

Una red eléctrica es una red interconectada para el suministro de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores. Consiste en estaciones o centrales de generación eléctrica que producen la energía eléctrica (las centrales mayormente son: Termoeléctrica, Hidráulica, Nuclear, etc.). A través de una red o líneas de transmisión, se envía alta tensión elevada por transformadores (por ejemplo 500 kilovoltios) hacia subestaciones que luego se encargan de distribuirla a los usuarios finales.

El aumento de la tensión permite la transmisión eficiente de la electricidad a través de largas distancias. Después de haber sido convertida a alta tensión (AT), la electricidad se envía en 3 fases a través de líneas de transmisión de larga distancia. Son tres líneas, una para cada fase. (CEE, 2013).

De esta manera antes que la energía pueda ser distribuida a los usuarios finales, la electricidad debe pasar a través de una subestación eléctrica donde se 'baja' (disminuye) la tensión con transformadores de modo que pueda ser distribuida a las comunidades y se utilice en los hogares, industrias y negocios (Baja Tensión; 110 V. o 220 V.).

La red de transmisión eléctrica de transporte moverá a largas distancias la energía, a veces a través de fronteras internacionales, hasta llegar a su cliente al por mayor (González, 2012).

En la figura 2.1, se muestra la representación de las etapas de una red eléctrica convencional, en color negro se indica la etapa de generación, en color azul, la etapa de transmisión con niveles de voltaje entre; 765 kV, 500kV, 345 kV. En esta etapa también se toman en cuenta niveles de 230 kV y 138 kV, finalmente en color verde se representa la etapa de distribución eléctrica, que dirige el suministro eléctrico al usuario final.

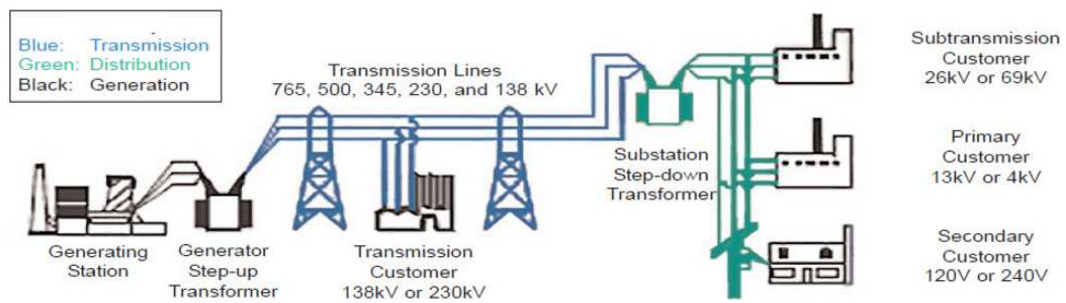


Figura 2. 1. Esquema de generación, transmisión y distribución de electricidad

Fuente: (Brookside Strategies, 2012)

Las redes de distribución de electricidad se distinguen de las redes de transmisión por su nivel de tensión (AT, MT y BT) y la topología. En la figura 2.2 se muestra la etapa de distribución eléctrica.

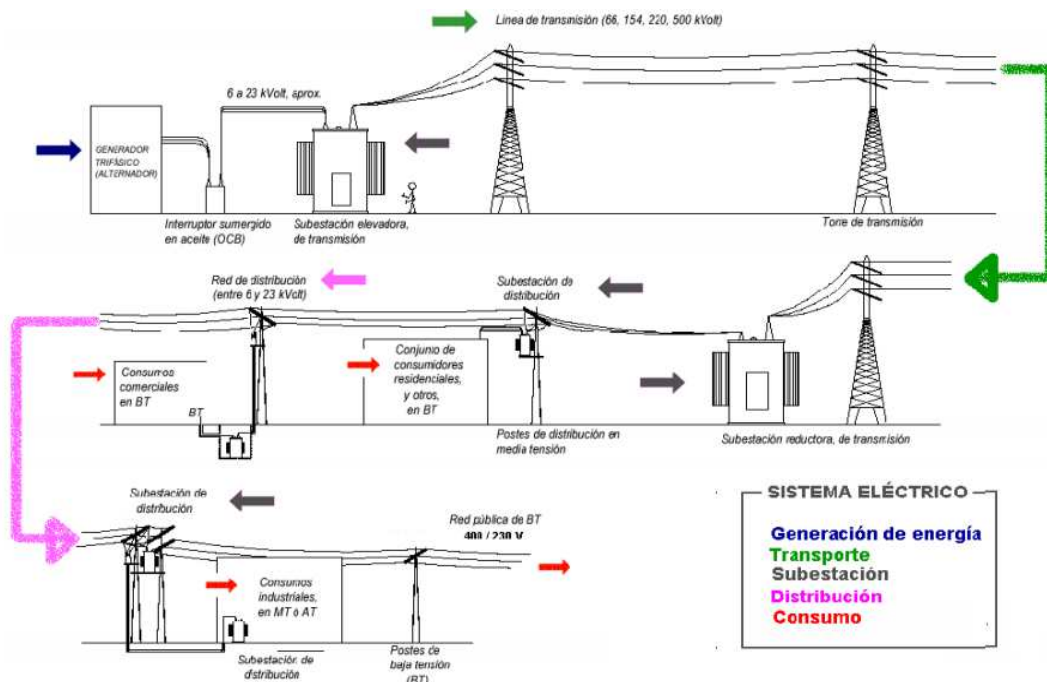


Figura 2. 2. Representación de etapa de distribución eléctrica

Fuente: (Ordoñez & Nieto, 2010)

El investigador Samuel Ramírez (2014) señala que alrededor de las 2/3 partes de la inversión total del sistema de potencia están dedicadas a la parte de distribución, lo que implica necesariamente un trabajo cuidadoso en el planeamiento, diseño y construcción y en la operación del sistema de distribución. Así las 2/3 partes pertenecen a pérdidas físicas en los conductores y transformadores de los sistemas de transmisión y distribución y 1/3 a las que se han designado pérdidas 'negras', que

conciernen a energía no facturada por fraude, descalibración de medidores, errores en los procesos de facturación, etc.

En la figura 2.3, se muestran la infraestructura y elementos que conforman la red de distribución eléctrica y su sistema de potencia.

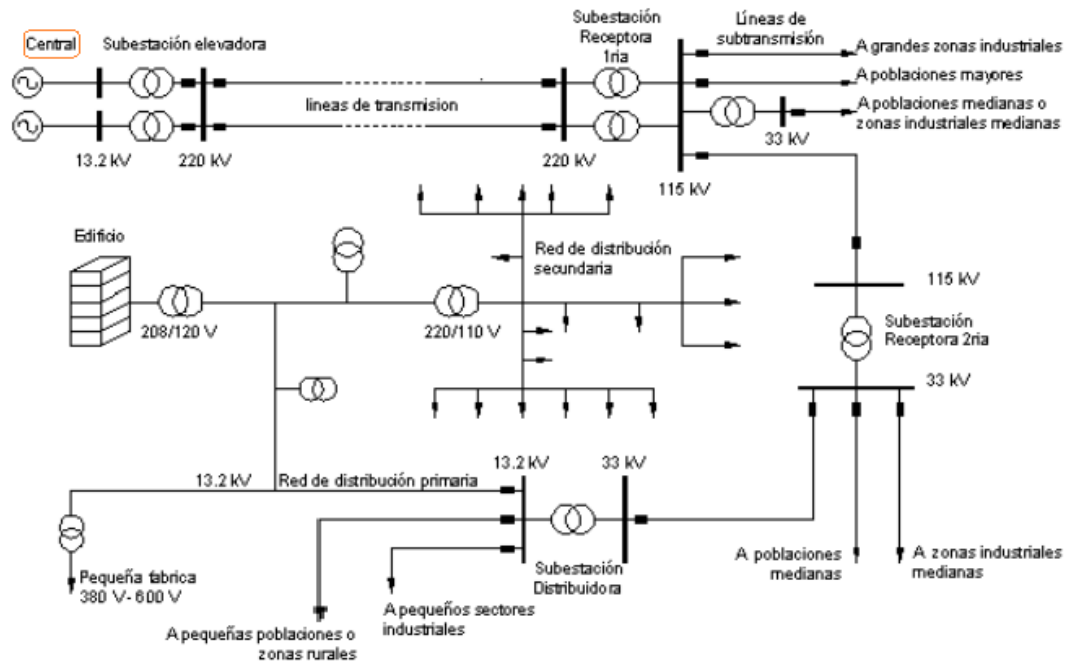


Figura 2. 3. La red de distribución y sistema de potencia

Fuente: (Ramírez, 2014)

El sistema de distribución a su vez está conformado por:

- Subestaciones receptoras secundarias, donde se transforma la energía recibida de las líneas de subtransmisión y dan origen a los circuitos de distribución primarios.
- Circuitos primarios: que recorren cada uno de los sectores urbanos y rurales suministrando potencia a los transformadores de distribución a voltajes como 13.2 kV, 11.4 kV, 7620 V, etc.
- Transformadores de distribución: se conectan a un circuito primario y suministran servicio a los consumidores o abonados conectados al circuito secundario.
- Circuito secundario: encargados de distribuir la energía a los usuarios con voltajes como 120/208 -120/240 V y en general voltajes hasta 600 V.

2.1.1 Funcionamiento de la red de distribución eléctrica

Después de la subestación eléctrica se envía corriente trifásica (3 líneas de una fase cada una), es decir la electricidad tiene una señal de una onda sinusoidal que tiene picos y 'valles', lo que significa que la fuerza de alimentación para una única fase fluctúa entre los momentos más débiles y más fuertes. Mediante la generación de tres fases y la compensación de los 120 grados, el momento de pico de potencia se distribuye uniformemente entre las tres fases, lo que permite para la salida de potencia de pico más consistente. Tener el pico de potencia constante es importante principalmente para fines industriales, por ejemplo, en motores trifásicos (Energy Groove, 2013).

La distribución de energía eléctrica es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución, reflejadas en el tipo de equipos y herramientas utilizadas, en los tipos de estructuras y en los materiales con los que se construyen las redes de distribución. (Ramírez, 2014).

Un tipo de generación eléctrica que se puede considerar para la etapa de distribución, es la generación distribuida, también conocida como; generación embebida, generación descentralizada (micro red), consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía en lugares lo más próximos posibles a las cargas. Es decir, aprovechan mayormente fuentes de energía renovables para la generación eléctrica.

Aun así, la infraestructura de red eléctrica existente (desde la generación tradicional y renovable hasta el transporte y parte de la distribución) tiene que mejorar notablemente desde el punto de vista del usuario final y las funcionalidades que se espera de ella. Las previsiones indican un crecimiento moderado de la demanda, un fuerte incremento de las energías renovables y una necesidad de potencia firme y flexible (FEDIT, 2011).

Estos inconvenientes apuntalan la llegada de redes inteligentes o Smart Grids. Estas son redes eléctricas que pueden integrar de manera inteligente el comportamiento y las acciones de todos los actores

conectados a ellas (quienes generan electricidad, quienes la consumen y quienes realizan ambas acciones) para proporcionar un suministro de electricidad seguro, económico y sostenible (FEDIT, 2011).

2.2. Redes Eléctricas Inteligentes

La red inteligente (SG) representa el conjunto completo de las respuestas actuales y propuestas a los desafíos del suministro de energía eléctrica. Las SG son redes de distribución de energía eléctrica dotadas de elementos que suministran información a las empresas de distribución y a los usuarios con objeto de optimizar el uso de la misma (ITS, 2014).

Hoy en día las empresas de distribución no tienen ninguna información sobre lo que sucede en su red, ni ninguna capacidad de actuación sobre los elementos de la misma.

En Europa, las redes inteligentes ayudarán a alcanzar los objetivos de política energética y cambio climático fijados para el año 2020. Estos objetivos conocidos como 20/20/20 incluyen la reducción del 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990, el abastecimiento del 20% de la energía de uso final mediante fuentes de origen renovable y la reducción del 20% en el consumo energético total mediante mejoras en la eficiencia energética (Global Electricity, 2013).

Aunque debido a la amplia gama de factores en la generación eléctrica distribuida y numerosas taxonomías en desarrollo, no hay un acuerdo sobre una definición universal de redes eléctricas inteligentes. Sin embargo, a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y su Grupo de enfoque en la red eléctrica inteligente, consignan una categorización operable.

2.3 Modelo Conceptual y el Diagrama de Referencia para la Red Inteligente

La UIT (2011) declara un modelo conceptual de red inteligente, que consta de siete grandes dominios funcionales llamada zona y los flujos de información entre estos dominios, así como el flujo de electricidad a partir de fuentes de energía a través de la transmisión y el sistema de

distribución a los clientes. En la figura 2.4 se muestra el modelo conceptual que representa como se enlazan los siete grandes dominios.

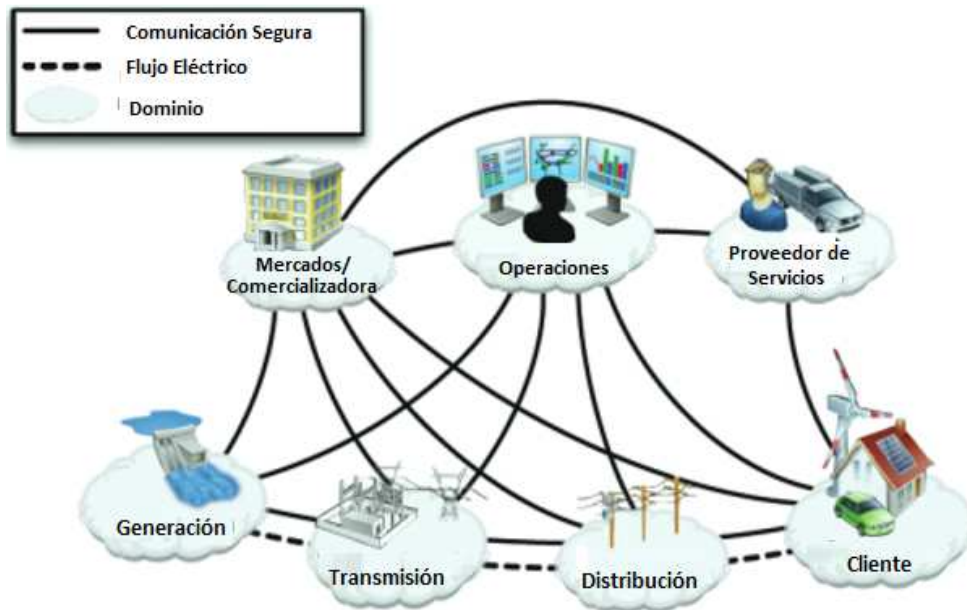


Figura 2. 4. Enlaces de comunicación dentro de los 7 dominios de red inteligente
Fuente: ITU (2011). Modificado por el Autor

Un nuevo enlace que alimenta a la red inteligente no se muestra explícitamente en este modelo. Sin embargo, se especifica que es la generación de energía distribuida (fuentes renovables) que puede conectar a los dominios del cliente, distribución y transmisión. Por lo tanto, si existe la infraestructura de generación distribuida esta permitiría interactuar y conectar a través de redes eléctricas centralizadas y descentralizadas (distribución o transmisión) y deben ser capaces de entregar servicios avanzados de redes como medición en línea, agregación de carga, monitoreo de energía en tiempo real, etc. En la tabla 2.1 se proporcionan características de elementos y componentes de los 7 dominios del modelo conceptual de SG.

Tabla 2. 1. Dominios y componentes en el modelo conceptual de red inteligente

Dominio	Componentes en el dominio
Clientes	Los usuarios finales de electricidad también pueden almacenar y administrar el uso de la energía. Tradicionalmente, se analizan tres tipos de clientes, cada uno con su propio dominio: residencial, comercial, e industrial.
Mercados	Son los operadores y los participantes en los mercados de electricidad.
Proveedores de servicios	Las organizaciones que prestan servicios y utilidades eléctricas a los clientes.

Operaciones	Los gestores de la 'circulación' de la electricidad.
Generación	Los generadores de electricidad o centrales eléctricas. También puede almacenar energía para su posterior distribución.
Transmisión	Las subestaciones de energía eléctrica que transfieren a (grandes distancias) otros dominios la energía. También puede almacenar y generar electricidad.
Distribución	Los distribuidores de electricidad desde y hacia los clientes. También puede almacenar y generar electricidad.

Fuente: ITU (2011). Modificado por el Autor

2.3.1 Rutas de las comunicaciones (Diagrama Referencial) para SG

Las rutas de comunicación entre los diversos dominios desde su Diagrama de Referencia dado por ITU (2011) asigna desafíos notables a las redes de distribución, que han pasado de redes de flujos unidireccionales, en plazos relativamente cortos, a redes de flujos multidireccionales, donde debe utilizarse dispositivos y sistemas que integran el desarrollo de nuevos protocolos.

La figura 2.5 muestra las rutas entre diferentes redes que alimentan a los dominios para SG.

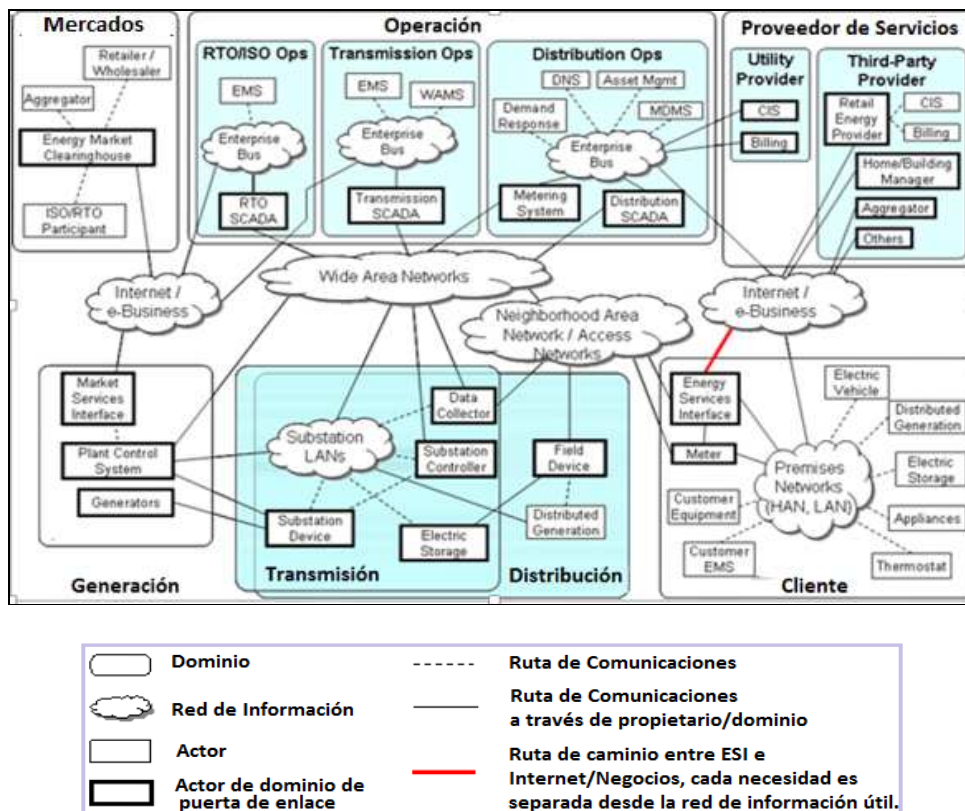


Figura 2. 5 Diagrama de referencia para la red inteligente
Fuente: ITU (2011). Modificado por el Autor

El componente principal es una red troncal o red de área extensa (*Wide Area Network*, WAN) y se conecta a otras redes (representado por nubes) que agregan/desagregan tráfico locales, en algunos dominios hacia y desde la WAN, similar a las redes de acceso como la fibra óptica, cable o DSL (Berrío & Zuluaga, 2014).

En el entorno de red inteligente, es necesaria la red de acceso para la conexión de medidores inteligentes y las instalaciones HAN del cliente (HAN, Home Area Network) en este contexto, se forman las infraestructuras de red dentro de cada barrio. La red "Internet/e-Business" se refiere a la Internet accesible al público y se muestran alejados para indicar la separación lógica debido a consideraciones de seguridad

Dentro de cada dominio, hay infraestructuras de red para servir a la necesidad del dominio. La red de área doméstica (HAN) en el dominio del cliente conecta varios dispositivos, tales como electrodomésticos, sensores, cargadores de vehículos eléctricos y generadores locales. La HAN puede o no ser la misma red que la existente red de área local (LAN) en los hogares para acceder a Internet, dependiendo de las consideraciones de seguridad de la red inteligente. (Hosseinpournajarkolaei, Jahankhani, & Hosseinian, 2014).

2.3.2 Funciones de Red Inteligente según áreas dados por la ITU

El informe técnico del UIT-T (2011) sobre este tema describe las áreas con sus representaciones, fusiones y servicios de los recursos de la red inteligente, son 3 áreas que interactúan entre sí. No obstante, las integraciones de sus áreas utilizan infraestructura de TICs para asegurar entre otros aspectos la fiabilidad, la seguridad que garantice la interoperabilidad. Esto es un aspecto técnico vital para el soporte de aplicaciones que aportan la 'inteligencia' a la red, en cualquiera de sus niveles.

Las 3 áreas son las siguientes:

1. Servicios de Red Inteligente/Aplicaciones
2. Comunicación

3. Equipo físico

En la figura 2.6 se muestra un diagrama con sus áreas y respectivas características.

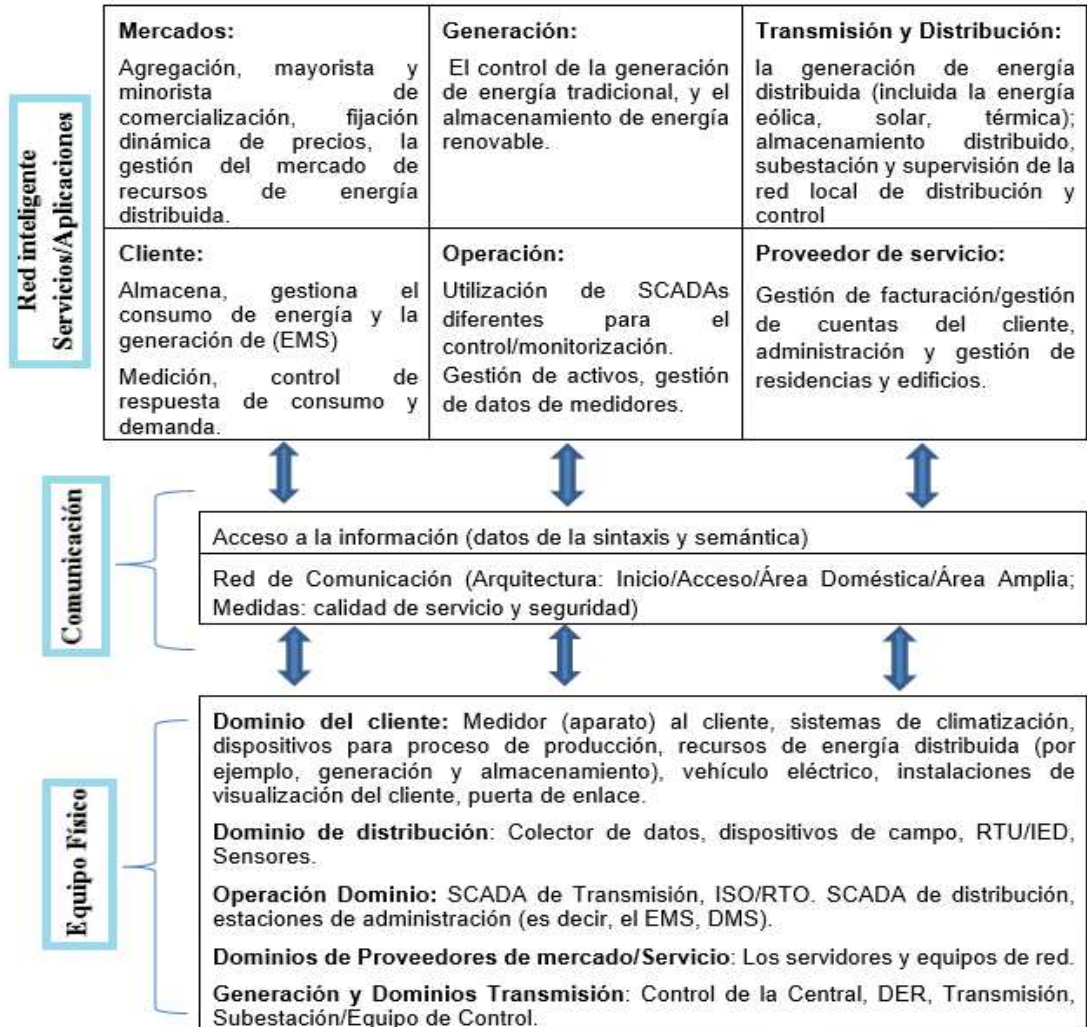


Figura 2. 6. Áreas y características por funciones de red inteligente (vista detallada)

Fuente: ITU (2011). Modificado por el Autor

La red inteligente de servicios/aplicaciones se refiere a sistemas, incluyendo computadoras, programas, bases de datos, personas y soportes operativos para gestionar las aplicaciones, como se describe en los casos de uso de la red inteligente. La Comunicación se refiere a las estructuras de información y la creación de redes que permite la comunicación entre los servicios/aplicaciones y entidades en el equipo físico. El equipo físico se refiere a los dispositivos, sensores y controladores que proporcionan información a los Servicios de Red

Inteligente y reciben comandos (aplicaciones) para efectuar el control de dispositivos en el equipo físico.

2.4 Las microredes para la Red Inteligente

La red inteligente (SG) representa el conjunto completo de las respuestas actuales y propuestas a los desafíos del suministro de energía eléctrica. Las SG son redes de distribución de energía eléctrica dotadas de elementos que suministran información a las empresas de distribución y a los usuarios con objeto de optimizar el uso de la misma (ITS, 2014). En la figura 2.7 se muestra un esquema de micro red para Smart Grid.

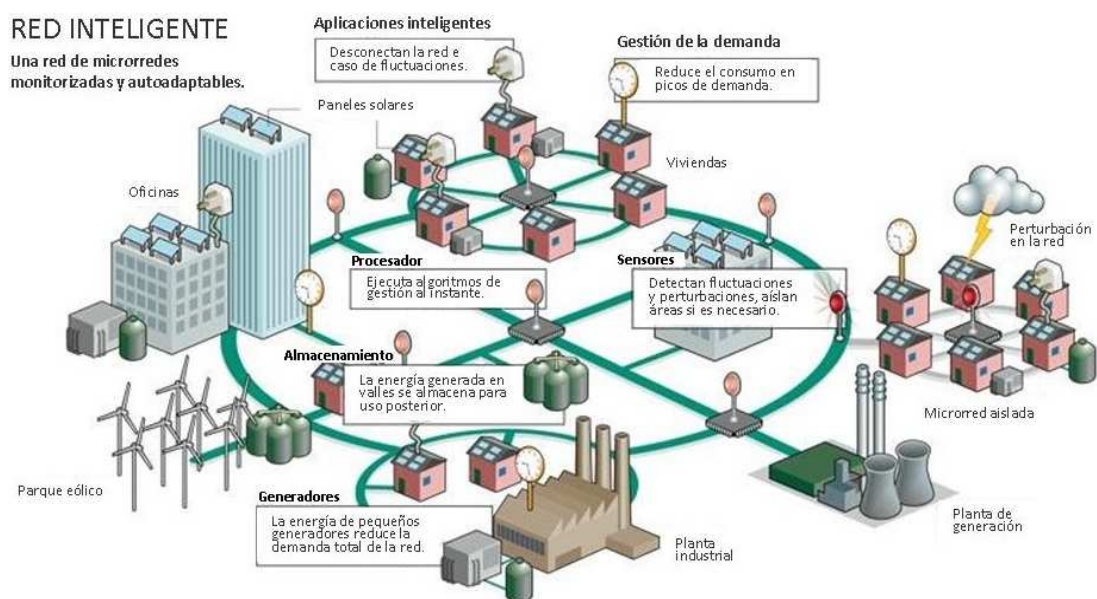


Figura 2. 7 Esquema por micro redes para red SG

Fuente: (Global Electricity, 2013)

Una microrred es una agrupación de generadores y cargas de pequeño tamaño que actúan como un sistema único para suministrar energía eléctrica. También las microrredes pueden satisfacer la demanda eléctrica, utilizando generadores que tengan a su disposición. En circunstancias normales, el exceso/defecto de energía eléctrica se exportará/importará de la red eléctrica principal (FEDIT, 2011).

Dentro de una red inteligente de una ciudad, existirían microrredes locales, interconectadas entre si y a su vez con la red de alta tensión. El tamaño de la microrred podría coincidir con el de un barrio y poseería sus propias generaciones dentro de la microrred, estando diseñada para que en

principio consiguiese ser autónoma energéticamente. En el caso de que tuviese un excedente o déficit de energía podría intercambiar energía con sus microrredes vecinas. En el caso de que el conjunto de microrredes tuviese un déficit energético podría recurrir a la red de AT. (Garvía, 2011).

En Europa, las redes inteligentes ayudarán a alcanzar los objetivos de política energética y cambio climático fijados para el año 2020. Estos objetivos conocidos como 20/20/20 incluyen la reducción del 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990, el abastecimiento del 20% de la energía de uso final mediante fuentes de origen renovable y la reducción del 20% en el consumo energético total mediante mejoras en la eficiencia energética (Global Electricity, 2013).

Aunque debido a la amplia gama de factores en la generación eléctrica distribuida y numerosas taxonomías en desarrollo, no hay un acuerdo sobre una definición universal de redes eléctricas inteligentes. Sin embargo, a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2014) y su Grupo de enfoque en la red eléctrica inteligente, expiden una categorización operable (Modelo conceptual y diagrama de referencia).

2.4.1. Áreas clave para la Normalización

Como se muestra en la figura 2.7, las áreas claves para los estándares de redes inteligentes incluyen:

- Tecnologías para la gestión automatizada de la energía y la generación de energía descentralizada en las instalaciones del cliente, incluyendo el hogar, edificios y las fábricas.
- Gestión de la red inteligente en el transporte de energía y el nivel de distribución.
- Los medidores inteligentes y AMI.
- Infraestructura de comunicación de la información y la inteligencia para proporcionar energía, control y seguridad.
- Aplicaciones y servicios para la coordinación del sistema de energía en el nivel empresarial.

- Control de la seguridad y la gestión de los diferentes niveles de requisitos para la red inteligente.

2.5. Servicios de plataforma de red inteligente

Una red inteligente emplea productos y servicios innovadores junto con monitorización inteligente, técnicas de control, comunicaciones y tecnologías de autoajuste con el fin de:

- Fomentar la participación de los usuarios de forma activa en la red.
- Permitir la coexistencia en la red de todo tipo de generadores, independientemente de su tamaño o tecnología.
- Suministrar a los usuarios una mayor cantidad de información y opciones a la hora de seleccionar el suministro eléctrico.
- Reducir el impacto ambiental por medio de mejoras en la eficiencia de la generación y el transporte energético.
- Mejorar el nivel de la energía eléctrica generada, permitiendo al usuario que lo requiera disponer de cierto grado de calidad en su suministro energético.
- Mejorar y ampliar los servicios energéticos de forma eficiente. (FEDIT, 2011).

En la figura 2.8 se describen las principales aplicaciones de red inteligente y la plataforma de apoyo a las desde la perspectiva de las TIC.

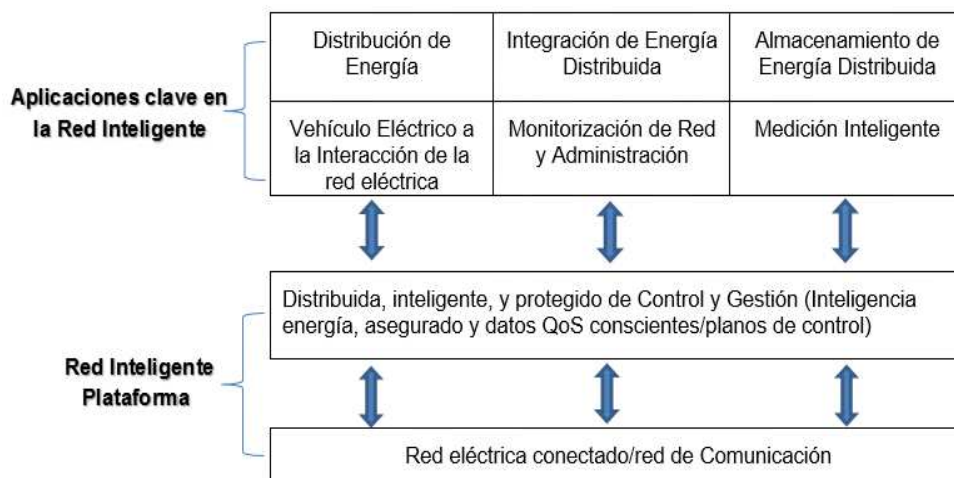


Figura 2. 8. Principales Aplicaciones y la Plataforma de Red Inteligente

Fuente: ITU (2011). Modificado por el Autor

Un sistema se convierte en inteligente adquiriendo datos, comunicando, procesando información y ejerciendo las operaciones de gestión y control mediante una realimentación (también aplicando políticas de calidad de servicio) que le permite ajustarse a las variaciones que puedan surgir en un funcionamiento real. Las aplicaciones claves según la ITU (2011) pueden comprender la medición inteligente, vehículos eléctricos, sistemas de gestión y monitoreo avanzado de la red. Y esto se integra con la generación distribuida abarcando sus etapas de distribución y almacenamiento.

2.5.1 Infraestructura de Medición Avanzada

La infraestructura de medición avanzada (*Advanced Metering Infrastructure*, AMI) será un mecanismo vital en Smart Grid, al facilitar información que puede emplearse para optimizar la operación y comercialización del sistema eléctrico. La AMI permite recopilar los datos de la medición del consumo energético de los usuarios para efectos de facturación, medición de perfiles de consumo y medición de variables eléctricas. La AMI evita realizar procesos intensivos como la medición en el sitio del consumo, acciones de conexión y desconexión del servicio y la gestión para la restauración del servicio (Peralta & Amaya, 2013).

La AMI soporta el monitoreo en tiempo real de la energía, permitiendo a las empresas de servicios públicos implementar un control directo en la gestión de la demanda y responder rápidamente a sus variaciones (*Automated Demand Response*, ADR).

2.5.2 Sistemas de monitoreo para la red eléctrica

Para mejorar la calidad en la prestación del servicio en el sistema eléctrico, entes reguladores en diferentes países impulsaron la adición de una red de comunicaciones a la estructura del sistema eléctrico de potencia para mejorar el monitoreo y control del sistema, principalmente en las etapas de generación y transmisión. (Peralta & Amaya, 2013).

A través de un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), se puede supervisar y controlar parámetros de la generación,

transporte e incluso distribución de energía de forma centralizada y con configuración jerárquica maestro–esclavo. En la figura 2.9 se muestra una representación de conexión de sistema SCADA para una subestación eléctrica.

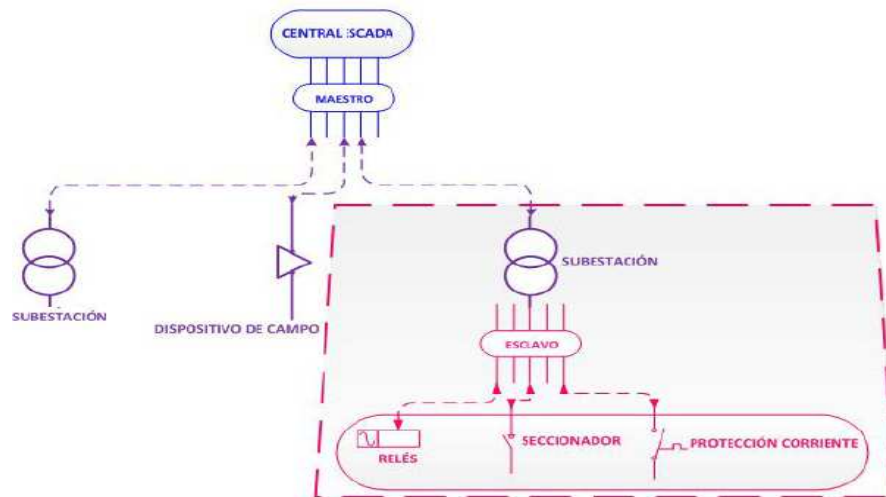


Figura 2. 9 Representación de conexión de sistema SCADA para subestación eléctrica

Fuente: (CEE, 2013)

Aunque un sistema SCADA permite automatizar algunos procesos en el sistema, no admite la interacción con los usuarios finales, ya que la operatividad de los sistemas SCADA actuales no se extiende más allá de las subestaciones que se enlazan con las empresas de distribución eléctrica (Peralta & Amaya, 2013).

2.6 Comparación entre la red convencional y la red inteligente

Cabe indicar que, revisando la bibliografía científica existente sobre este tema, se ha hecho un análisis comparativo entre la red eléctrica convencional y la red eléctrica inteligente, Pero antes se puntualizan aspectos técnicos claves de la red eléctrica inteligente:

Escalabilidad: eficiencia y rapidez en la respuesta a la demanda dinámica, ofreciendo la flexibilidad de reconfigurar y redireccionar los flujos de potencia.

Confiabilidad: disponibilidad de los recursos relacionados con la gestión, monitoreo, operación y control del sistema. Confiabilidad en la respuesta del sistema y en los esquemas de tarifación.

Seguridad energética: permitiría integrar fuentes de energía renovable (Solar, Eólica, Biomasa) y disponer de almacenamiento de la energía cuando existan problemas en el suministro de la misma desde las fuentes tradicionales.

Sustentabilidad: uso y distribución adecuada y eficiente, mediante fuentes de energía amigables con el medioambiente. (Peralta & Amaya, 2013).

Competitividad: eficiencia en el consumo energético, reduciendo los costos.

En la tabla 2.2 se muestra las comparaciones entre la red eléctrica convencional y la red eléctrica inteligente o Smart Grid.

Tabla 2. 2 Características distintivas de la red convencional y la red inteligente

Características	Red eléctrica convencional	Red inteligente
Inteligencia y control.	La red actual de distribución carece de inteligencia, implementando un control manual	Se enfatiza la creación de un sistema de información e inteligencia distribuidos en el sistema.
Automatización.	Existencia muy limitada de elementos de monitorización, reservándose a la red de transporte.	Integración masiva de sensores, actuadores, tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
Autoajuste.	Fundamentado en la seguridad de equipos ante daños del sistema.	Automáticamente descubre y contesta a comunicaciones presentes e inconvenientes en la distribución. Su orientación se fundamenta en la seguridad. Reduce el impacto en el cliente
Resistencia ante ataques.	Infraestructuras totalmente vulnerables.	Resistente ante ataques y desastres naturales con una rápida capacidad de restauración.
Participación del consumidor y generación distribuida.	Los consumidores están desinformados y no participan en la red. No se genera energía localmente, lo que implica un flujo energético unidireccional.	Incorporación masiva de generación distribuida, la que permite coordinarse a través de la red inteligente. En esta generación participa el usuario con la entrega del exceso energético generado localmente.
Gestión de la demanda	No hay ninguna gestión en el uso de equipos eléctricos, según las horas del día o la situación de la red eléctrica.	Inserción de los consumidores de electrodomésticos y aparatos eléctricos inteligentes, que admiten el

		ajuste a proyectos de eficiencia energética, costos y seguimiento de proyectos operativos establecidos
Calidad eléctrica.	Únicamente se solucionan los cortes de suministro, sin considerar la calidad eléctrica. Así subsisten los inconvenientes de disturbios, ruido, etc.	Calidad eléctrica que satisface a industria y clientes. Reconocimiento y solución de inconvenientes de calidad eléctrica. Diferentes clases de tarifas según las calidades eléctricas.
Capacidad para todas las opciones de generación y almacenamiento.	Pocas grandes plantas generadoras. Existen muchos obstáculos para interconectar recursos energéticos distribuidos.	Gran número de diversos dispositivos generadores y almacenadores de energía, para completar a las grandes plantas generadoras. Conexiones "Plug And Play". Más enfocado en energías renovables.
Preparación de mercados.	Los mercados de venta al por mayor siguen trabajando para encontrar los mejores modelos de operación. No existe una buena integración entre éstos. La congestión en la transmisión separa compradores de vendedores.	Buena integración de los mercados al por mayor. Prósperos mercados al por menor. Congestionamientos de transmisión y limitaciones mínimas.

Fuente: (FEDIT, 2011). Cuadro e laborado por el autor

2.7 Conclusiones del Capítulo II

La operación de generar electricidad a través de una central eléctrica y hasta su red de transporte presentan pérdidas operativas, físicas, etc. debido a las características físicas de los componentes de la red.

Sin embargo, la red de distribución de electricidad es más compleja, se producen pérdidas y muchas veces no se tiene ninguna información sobre lo que sucede en la red, ni existe capacidad eficiente de actuación sobre los elementos de la misma, esto repercute en baja eficiencia del proceso de distribución del servicio eléctrico.

Desde la red de distribución hasta los clientes existe gran volumen de elementos que lo conforman (subestaciones secundarias, circuitos primarios, transformadores de distribución, circuitos secundarios), y aspectos técnicos como selección de equipos, materiales entre otros, que al combinarse logran considerables pérdidas en empresa de distribución

eléctrica, pues la energía facturada y la energía disponible son elevadas y tiene una tendencia de aumento año tras año.

Los índices de pérdidas miden el nivel de progreso de una empresa distribuidora y por consecuencia, el progreso de una colectividad.

Las pérdidas físicas de la red de distribución se producen en los conductores de los circuitos primarios y secundarios y en los devanados y núcleos de transformadores de distribución. En cambio, las pérdidas 'negras' por problemas en facturación y lecturas de medidores descalibrados.

Las redes inteligentes permiten un control adecuado a las condiciones del sistema en cada momento, y en forma más automatizada, reduciendo pérdidas operativas, físicas y mejorando la eficiencia del control.

La red Smart Grid crearía beneficios a todo nivel. La distribuidora de energía minimizaría pérdidas, bajaría sus costos, mejoraría su servicio y administraría mejor su red entre otros.

CAPÍTULO III: Fundamentación de la tecnología PLC para SG: ventajas y desventajas

3.1 Revisión de literatura científica

La tecnología *Power Line Communication* (PLC) permite que una red eléctrica convencional transmita paquetes de datos, permitiendo la transmisión de información a través de las líneas eléctricas existentes.

Tal como se señaló anteriormente, las redes de alimentación eléctrica están generalmente clasificadas como de Alta Tensión AT (100 kV), de Media Tensión MT (1-100kV) y Baja Tensión (110-380V). Las tecnologías PLC se pueden utilizar en un entorno de Baja Tensión BT, y comprende la red de acceso y las operaciones de última milla, algunas compañías que utilizan PLC transportan la señal en las líneas eléctricas junto a la electricidad, mientras que otros ponen dispositivos inalámbricos en los postes y envían los datos de forma inalámbrica a las casas. (O&P, 2014).

Asimismo, existe el entorno de Media Tensión MT, que implica la red de exteriores o *outdoor* que inicia desde la subestación eléctrica y contempla la red eléctrica de transporte y distribución en MT. En octubre de 2004, la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos (FCC, *Federal Communications Commission*) adoptó reglas para facilitar el despliegue de "Acceso BPL (*Broadband over Power Lines*, Banda ancha por línea eléctrica)", es decir, el uso de BPL para ofrecer servicios de banda ancha a los hogares y empresas. En agosto de 2006, la FCC adoptó un dictamen memorando y un pedido en banda ancha sobre líneas de energía, dando el visto bueno para promover el servicio de banda ancha. (Budka, 2014)

Varias organizaciones competentes han desarrollado especificaciones, incluyendo la *HomePlug Powerline Alliance*, *Universal Powerline Association* y *HD-PLC Alliance*. En octubre de 2009, la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T aprobó la Recomendación G.hn/G.9960 como un estándar para el apoyo a las redes domésticas de alta velocidad a través de líneas eléctricas, líneas telefónicas y cables coaxiales. En enero de 2010, el Instituto de Ingeniería Eléctrica y

Electrónica (IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) publicó su proyecto de norma IEEE P1901, para la banda ancha por redes de línea eléctrica y especificaciones de la capa Física y MAC (*Medium Access Control*, Control de Acceso al Medio). (Grupo IEEE, 2010)

Otros autores concuerdan en nombrar a los dos entornos de aplicación PLC, de la siguiente manera: Red de Acceso y Red *In Home* (residencial).

El entorno de red de acceso tiene como intención transmitir la información desde la red troncal de telecomunicaciones hasta la residencia del usuario. Puede utilizar la infraestructura eléctrica de MT (10-20 KV) y la de BT (220 V) (Bañón, Casado, & Rodríguez, 2007). En cambio, el entorno *in home* está dirigido a crear redes de área local (LAN, *Local Area Network*) dentro de una residencia usando el cableado eléctrico, hoy en día la transferencia de datos rebasa los 200 Mbps. (UIT, 2011).

3.2 Clasificación PLC según su tecnología

Atendiendo a las velocidades de transmisión PLC se clasifica en dos tipos de tecnologías:

- PLC de banda estrecha
- PLC de banda ancha

PLC de banda estrecha permite, por lo general, velocidades de transferencia de datos de baja velocidad y funciona en las frecuencias más bajas y tiene un alcance mayor. PLC de banda ancha permite la transferencia de datos a alta velocidad, que funciona en las bandas de frecuencia más altas y usa las instalaciones existentes con más extensión que otros métodos y permite todos los servicios IP: Internet, telefonía, televisión, domótica, etc. (Álvarez, y otros, 2012, pág. 12)

PLC de banda estrecha ha ganado mucha atención debido a su uso en aplicaciones relacionadas con la red inteligente. Algunas de sus principales aplicaciones incluyen la lectura automática de medidores (AMR), control del encendido público, la carga de vehículos eléctricos, etc. PLC de banda ancha ha encontrado su uso como una tecnología de

"última milla" en aplicaciones como acceso a Internet y control (Hossain & Zhu, 2012).

De PLC de banda estrecha se esperan tasas de velocidad más rápidas, por aquello que tiene un gran potencial con las aplicaciones de redes inteligentes y el estándar máquina a máquina (*Machine to Machine*, M2M). PLC de banda estrecha con sus soluciones simples, fiables y altamente rentables proporciona un medio perfecto para las comunicaciones bidireccionales a través de la red eléctrica. Por lo tanto, PLC se encuentra en las fases iniciales de crecimiento en la aplicación de redes inteligentes. En las otras aplicaciones, PLC se encuentra en la etapa de introducción o simplemente ha comenzado a crecer (Xiao, 2012).

En cuanto a PLC Banda Ancha o BPL, es un método de comunicación de la línea eléctrica PLC que permite la transmisión de datos digitales relativamente a alta velocidad sobre la red de distribución de energía eléctrica cableada. Ante aquello utiliza frecuencias más altas, un ancho de banda más amplio y diferentes tecnologías de comunicación en la línea de alimentación para proporcionar altas velocidad en distancias más largas. BPL utiliza frecuencias que son parte del espectro radioeléctrico atribuido a los servicios inalámbricos de comunicación, por lo tanto, la prevención de interferencias hacia y desde, estos servicios es un factor muy importante en el diseño de sistemas BPL (Ferreira, Lampe, Newbury, & Swart, 2010).

3.3. Caracterización de un canal PLC interior para banda ancha

Los altos voltajes no son adecuados para la transmisión de datos, por lo tanto, una red de fibra óptica convencional o de radio enlace inalámbrica se utilizan para la transmisión de estos datos a través de las líneas eléctricas existentes con repetidores utilizados en las redes de MT para mitigar los efectos de la interferencia de ruido (Elek, 2010).

No obstante, existen muchos dispositivos con diferentes valores de 'impurezas' en la red PLC, causado mayormente por el entorno multitrayecto.

En la figura 3.1 se puede observar un esquema básico de un sistema de comunicación digital para el canal de línea eléctrica.

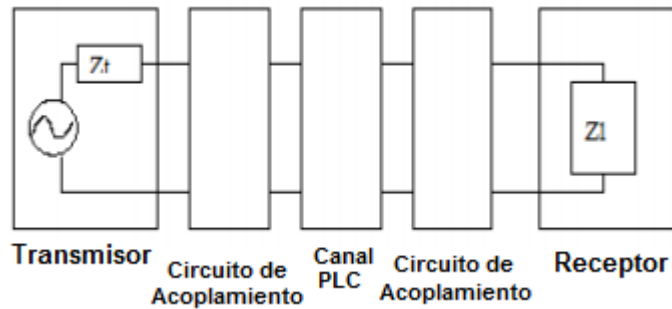


Figura 3. 1 Circuito básico de comunicación digital de una línea eléctrica
Fuente: El autor

Se reconoce que el entorno de ruido de una red PLC es muy complejo, los investigadores coinciden que este ruido puede ser clasificado en cinco categorías:

- 1) El ruido de fondo coloreado
- 2) El ruido de banda estrecha
- 3) El ruido impulsivo periódico sincrónico con la frecuencia de la red
- 4) El ruido impulsivo periódico asincrónico con la frecuencia de la red
- 5) El ruido impulsivo aperiódico

Entre éstos, el ruido de fondo coloreado y el ruido impulsivo asíncrono son los más importantes. (Amirshahi, Navidpour, & Kavehrad, 2006). Debido a la conjunción de diferentes dispositivos eléctricos o electrónicos se introducen ruidos en el canal PLC, que a veces supera la densidad espectral de potencia del ruido de fondo en 50 dB, y por ello este ruido impulsivo debe ser objeto de mitigación (Pejanovic, Kocan, & Prasad, 2012).

En la figura 3.2 se muestran mediciones de ruido para la Banda A de CENELEC que es utilizada en países europeos.

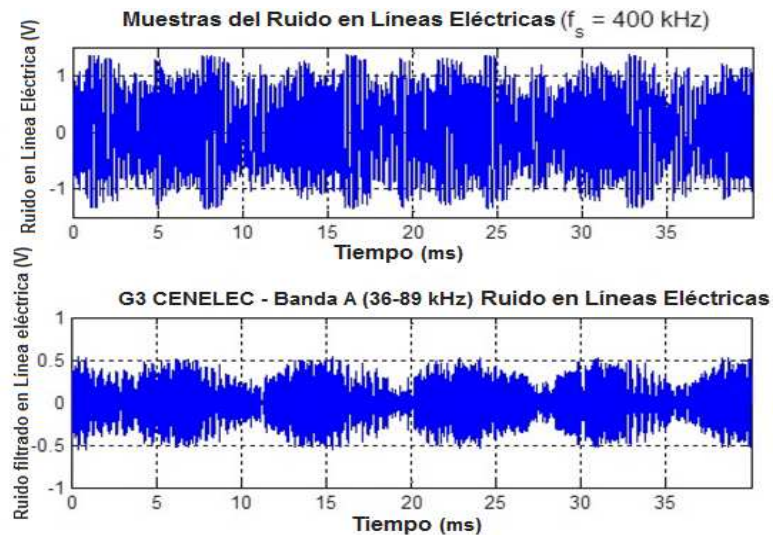


Figura 3. 2 Muestras de ruido en líneas eléctricas.
Fuente: CENELEC, 2012

La figura 3.2 muestra la captura en el dominio del tiempo de ruido típico de línea eléctrica en un edificio industrial, en (a) se aprecian muestras de ruido de línea de potencia, en (b) el ruido CENELEC en una banda (A) de línea eléctrica que experimenta un módem G3-PLC.

La tecnología OFDM se utiliza en el estándar de comunicación de línea eléctrica G3-PLC, con el propósito de suministrar la capacidad de superar los desafíos de las comunicaciones por línea eléctrica. Por ejemplo, dicha comunicación usa mecanismos de corrección de errores como la decodificación convolucional de Viterbi y de Reed-Solomon. Así como el entrelazado en los dominios de frecuencia y tiempo, por nombrar sólo unos pocos.

La línea eléctrica en sí es un entorno muy complejo, es más ruidoso que los canales inalámbricos. El ruido en una línea eléctrica es altamente no estacionario y tiene un componente gaussiano (similar a la tecnología inalámbrica) y una componente no gaussiano (ruido impulsivo) que puede ser periódica o aperiódica.

Por ejemplo, los motores de inducción introducen una gran cantidad de ruido cicloestacionario y son comunes, estando presentes en la maquinaria industrial, lavadoras, refrigeradoras, etc. La alimentación con fuentes conmutadas puede introducir ruido. Debido a que son un medio físico, las líneas eléctricas sufren de ramificación; la impedancia en un

punto en la red puede ser bastante diferente de la impedancia en otro lugar, incluso en la misma casa. Encender y apagar un equipo puede cambiar instantáneamente la impedancia en un punto de la red. Típicamente, las impedancias de la línea eléctrica oscilan desde 0,1 hasta 200 Ω . En total, el canal de línea eléctrica es complejo y ruidoso. (Lorenzo, 2000).

Asimismo, desde décadas atrás se han estado utilizando las líneas eléctricas para comunicarse con los equipos de generación y proporcionar comunicación de voz entre subestaciones. Esto implica añadir una 'señal' a las líneas de alta tensión. Estas señales suelen utilizar modulación de amplitud o modulación de frecuencia por desplazamiento(FSK), la baja tasa de transmisión (1 kbps), permite que la señal se propague a través de largas distancias. Dicha tecnología se utiliza para entrar y salir de las unidades de distribución, para verificar la integridad de la red y para proporcionar una comunicación básica de voz en subestaciones eléctricas.

3.4 Modelado del canal PLC

La red PLC puede considerarse como una serie de ramas conectadas por cables o líneas. En la figura 3.3 se representa un esquema para un modelo estático de red PLC.

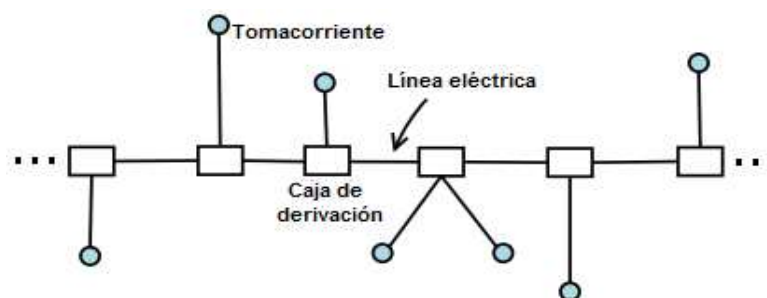


Figura 3. 3. Esquema típico para un modelo estático de red PLC

Fuente: El autor

En cada rama, puede haber sub-ramas extendiéndose para llegar a cuartos en edificios o residencias. Se observa que todas las sub-ramas se pueden fusionar en la rama conectada correspondiente de acuerdo con la impedancia. La representación en bloque del esquema típico se aprecia en la figura 3.4.

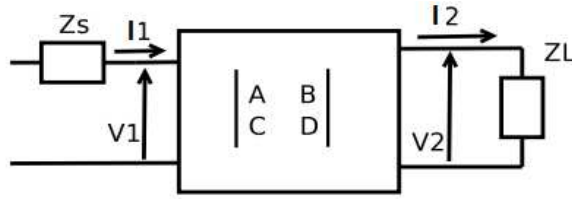


Figura 3. 4. Representación de bloque

Fuente: El autor

Las características de transferencia de tensión y corriente de cada segmento en la topología anterior pueden expresarse mediante parámetros ABCD, que pueden ser ilustrados por la red de dos puertos (*Two-Port network*, 2PN). Luego se lo puede llevar a una matriz de transmisión.

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} = T_f \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde T_f se denomina matriz de transmisión. Los parámetros ABCD representan coeficientes o funciones complejas de frecuencia y son determinadas principalmente por las características del cable.

Al considerarse como funciones de frecuencia, entonces, la función de transferencia de este segmento puede escribirse como:

$$H(f) = \frac{Z_L}{AZ_L + B + CZ_S Z_L + DZ_S} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

La matriz de transmisión de un segmento de derivación es:

$$T_S = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{in}} & 1 \end{vmatrix} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde $Z_{in} = A/C$

Por lo tanto, la red anterior puede considerarse como una serie de segmentos en cascada. Después de aplicar la regla de cadena, la matriz de transmisión para la red completa se puede calcular como:

$$T = \prod_{i=1}^N T_f^i \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde T_f^i es la matriz de transmisión del i -ésimo segmento. Del modelado matemático se pueden derivar las siguientes características generales del canal interior de PLC:

- Desvanecimiento selectivo de la frecuencia en el dominio de la frecuencia y propagación de la señal de trayectos múltiples en el dominio del tiempo.
- Mayor atenuación en frecuencias más altas.
- Aumento de la atenuación con la distancia entre el transmisor y el receptor.

En las figuras 3.5 y 3.6, se muestran los resultados de simulación del canal interior de PLC. Se obtiene el módulo de la función de transferencia de canal contra la frecuencia. Y la respuesta a impulso frente al índice de muestreo en el dominio del tiempo, con una distancia de transmisión de 100 metros.

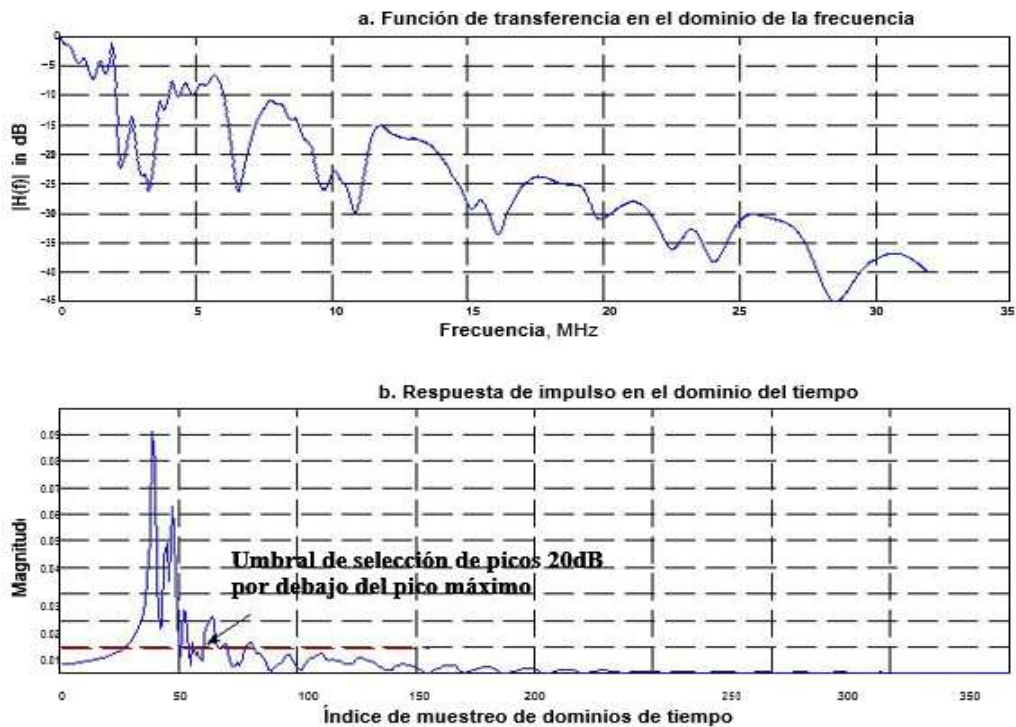


Figura 3. 5 Función de transferencia y respuesta a impulso del canal interior de PLC.
Fuente: (Santos, Sturm, & Pontes, 2015)

En la figura 3.6 se puede observar que la magnitud de la primera trayectoria de llegada tiene un deterioro periódico, obvio con el aumento de la distancia.

El primer índice de muestreo de la trayectoria de llegada experimenta un aumento de paso con la distancia creciente de P2P. El período de paso es de 4,77 m.

Basándose en esta característica, el concepto de agrupamiento se induce aquí para indicar las características de canal relacionadas con la distancia de transmisión.

Dos canales dentro del mismo clúster suelen presentar características similares.

De esa manera, los canales con distancias de transmisión superiores a 10 metros y menos de 100 metros se clasifican en 20 grupos diferentes, y el índice de clúster denota el redondeo de los elementos de x al entero más cercano hacia el infinito positivo.

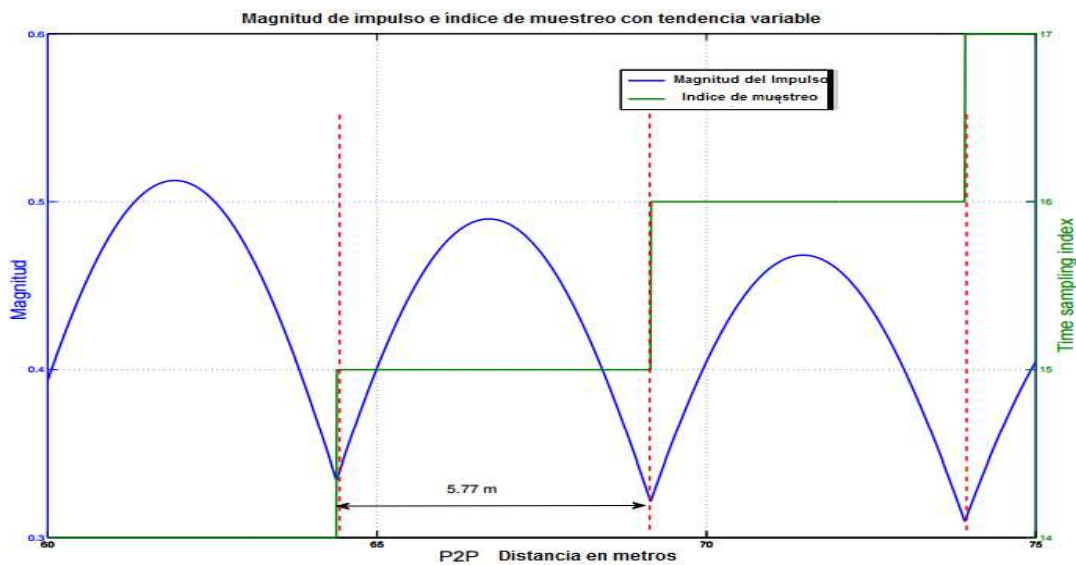


Figura 3. 6 Tendencias variables de la magnitud del impulso y del índice de muestreo con la distancia

Fuente: (Santos, Sturm, & Pontes, 2015)

3.4.1 Modelado de canal por multitrayecto

A continuación, se caracteriza el modelo de canal de trayectos múltiples por cuya respuesta a impulso viene dada por la ecuación 5 (Zimmermann, 2002);

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot e^{-(a_0+a_1 f^k) d_i} \cdot e^{-j2\pi f d_i/v_p}$$

Ecuación 3.5

Dónde $H(f)$ es la respuesta de frecuencia del canal, g_i el factor de ponderación, d_i la longitud de la trayectoria de transmisión de datos para diferentes números de ruta y N es el número total de trayectorias (Zimmermann, 2002).

El modelo se completa mediante la asignación de valores a los parámetros de la ecuación 5. Sobre la base de sus propias mediciones, Zimmermann y Dostert definen varios canales de referencia en términos de distancias de enlace.

Una topología de red simple en BT aplicando el modelo de multitrayecto se aprecia en la figura 3.7.

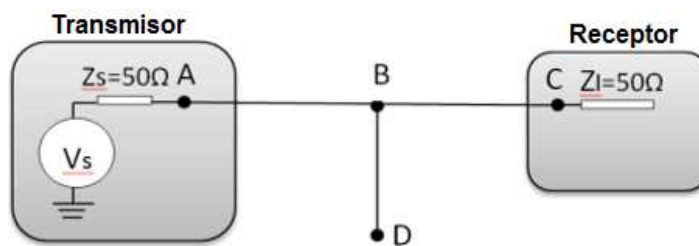


Figura 3. 7 Configuración de red simple en línea de Baja Tensión
Fuente: (Amirshahi, Navidpour, & Kavehrad, 2006)

El modelo de trayectos múltiples o multitrayecto obtiene resultados de la variación en la longitud de la línea directa, a medida que la respuesta de canal adquiera una función lineal de la frecuencia. Por tanto, el receptor puede recuperar los datos de transmisión utilizando una modulación de una sola portadora.

No obstante, el comportamiento de trayectorias múltiples indica que la transmisión de múltiples portadoras sería adecuada para la transmisión de datos sobre el canal de línea de potencia, en caso de variación de la longitud con un ramal de A-C. El aumento de la longitud de línea directa A-C reduce el ancho de banda de canal y su efecto sobre la respuesta de frecuencia es similar al caso de no tener ramal, con la diferencia de que las muestras de frecuencia se superponen en la respuesta de frecuencia.

A partir de resultados a través de la simulación se observa que el aumento de la longitud de la rama B-D incrementa la atenuación de la línea eléctrica que es especialmente notable en las frecuencias más altas.

En el caso de trayectos múltiples con diferentes números de trayectorias, desde los resultados de la simulación para el número de rutas de acceso de 4 a 10 se muestra en las figuras 3.8 y 3.9, en las que se puede observar que la posición de los cortes no cambia. Pero a medida que el número de trayectorias aumenta de 4 a 10 las atenuaciones de puntos cortados y la distorsión de la señal tienden a aumentar.

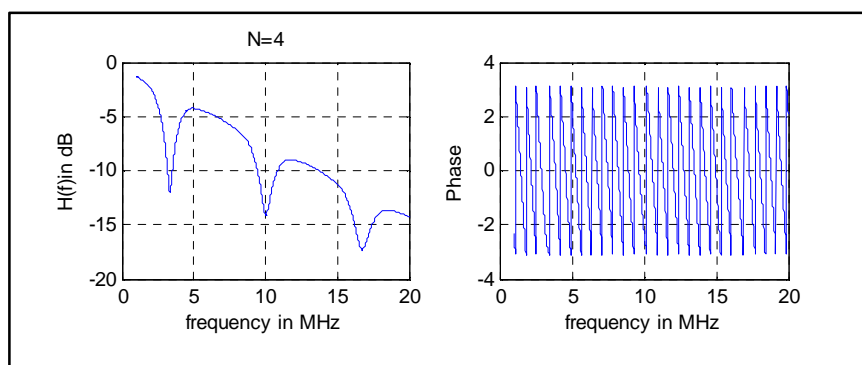


Figura 3. 8. Modelo de canal de trayectos múltiples con el número de ruta = 4.
Fuente: (Hosseinpournajarkolaei, Jahankhani, & Hosseinian, 2014)

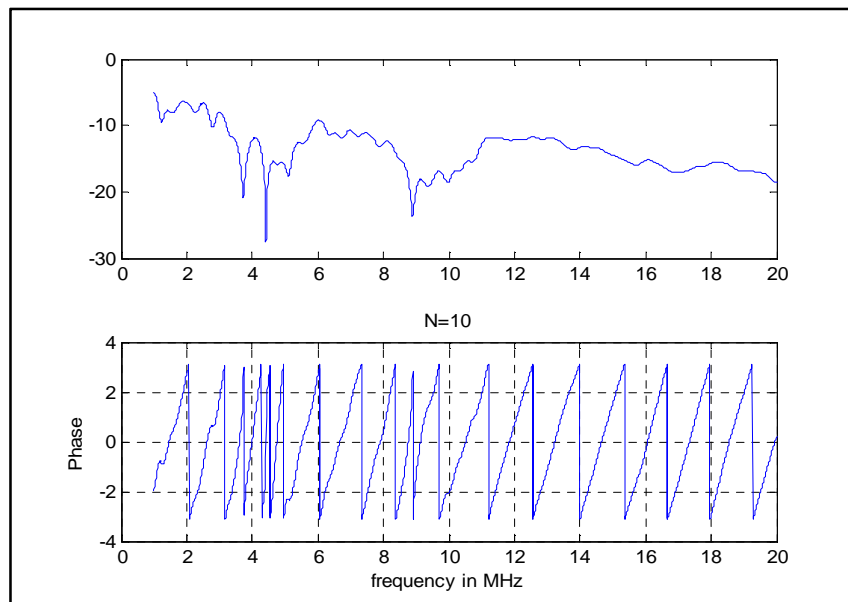


Figura 3. 9. Modelo de canal de trayectos múltiples con el número de ruta = 10
Fuente: (Hosseinpournajarkolaei, Jahankhani, & Hosseinian, 2014)

En otras investigaciones utilizando frecuencias por debajo de 30 MHz se obtienen medidas que se extienden desde 0,1 MHz a 100 MHz, que generalmente es interesante para el potencial de baja densidad espectral.

3.5 Ventajas y desventajas de PLC

En la tabla 3.1 se presentan criterios de ventaja y desventajas para la tecnología PLC.

Tabla 3. 1 Ventajas y desventajas de la tecnología PLC

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - No requiere el uso de tarjetas de red para conectarse a la red. - Se emplea la infraestructura existente, medio físico ya desplegado. - Los servicios ofertados son competitivos en calidad y en precio. - Alternativa válida a las conexiones ADSL. - Gran ubicuidad: permite un despliegue masivo de la tecnología, ya que la red ya está implantada (despliegue viable) - Usa micro filtros para obviar potenciales interferencias causadas por los electrodomésticos. - Supera a ADSL o cable, que muchas veces no alcanza al consumidor final. La red eléctrica ya está instalada y llega a cualquier lugar. - Su velocidad es de 45 Mbps y ya se alcanzan tasas de 135 y 200 Mbps. - Un solo repetidor abastece hasta 256 casas. -Costo competitivo en relación con tecnologías alternativas. - Suministro de múltiples servicios con la misma plataforma tecnológica IP. Un sólo módem PLC permite acceso a Internet, telefonía, domótica, televisión interactiva, seguridad, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Módem de red no siempre es competitivo con el coste de un Módem estándar, utilizado para conectarse a una red de línea telefónica. - Ruido: la mayor cantidad de ruido eléctrico en la línea limita la velocidad de transmisión práctica (los aspiradores, reguladores de luz, aparatos de cocina y taladros son ejemplos de fuentes de ruido que afectan el rendimiento de una red doméstica basada en la línea eléctrica) - La red eléctrica no se construyó para propagar datos y sufre caídas y la calidad de las llamadas telefónicas no es totalmente satisfactoria. - Hay interrupciones al navegar en la Web. - Inseguridad. - Resistencia de las empresas telefónicas. - Escasa competencia tecnológica. -Estabilidad frente a interferencias electromagnéticas y ruido eléctrico de la red.

Nota: Son más las ventajas que las desventajas. **Fuente:** (Álvarez, García , & González, 2010)

3.6 Modulaciones para la tecnología PLC

Se comprende que la modulación es el proceso por el cual una propiedad o un parámetro de cualquier señal se hacen variar en forma proporcional a una segunda señal. (Bustillo, 2008). El tipo de dependencia se determina con la forma de modulación empleada. Para sistemas de comunicación digital es conveniente modular una señal portadora con la señal de datos digitales antes de la transmisión.

Muchos esquemas de modulación y demodulación han sido desarrollados para implementar sistemas de comunicación basados en señales portadoras. Entre ellos hay soluciones que permiten tanto la fabricación de receptores coherentes como no coherentes (Lorenzo, 2000).

3.6.1 Modulación OFDM

La modulación OFDM divide la señal de radio en sub-señales que son transmitidas simultáneamente hacia el receptor en diferentes frecuencias. Reduce la diafonía (interferencia entre canales o cocanal) al propagar la señal, se emplea en otros sistemas como DSL, *WiFi* (802.11), *Wimax* (802.16), métodos de difusión de video y radio *broadcast* (DVB, DAB). (Bernhard & Strange, 1998), (Vite, 2013).

La separación entre portadoras concede "ortogonalidad" para impedir que las frecuencias se superpongan, por eso es inmune a la interferencia cocanal. En OFDM, cada fuente se convierte a una banda de frecuencia diferente; empleando portadoras de frecuencias diferentes que se emiten al mismo tiempo por un solo medio de propagación. OFDM distribuye los datos sobre un número grande de portadoras espaciadas en frecuencias determinadas. (Santos, Sturm, & Pontes, 2015), (Vite, 2013).

En las comunicaciones de gran ancho de banda se necesitan canales para la transmisión que son susceptibles por razones de propagación de la señal a las interferencias, por lo que al dividir el ancho de banda total en canales paralelos más angostos y cada uno en diferente frecuencia se reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en cada subcanal o sub-portadora.

Además, estas subportadoras poseen un espaciamiento que les proporciona "ortogonalidad" en frecuencia, se tendrán dos portadoras en la misma frecuencia sin que éstas se traslapen o interfieran entre ellas. Con ello se reduce el ancho de banda total requerido en el canal, logrando mayor eficiencia espectral y una menor distorsión. (Rohling, 2011)

La cantidad de portadoras y su distribución en el espectro de frecuencia es decisión del proyectista. En la Tabla 2.1, se muestra la cantidad de portadoras y su distribución espectral de frecuencia para dos compañías con dispositivos PLC (Vite, 2013).

Tabla 3. 2 Número de portadoras para el sistema PLC.

Sistema o Estándar	Número de portadoras	Frecuencia (Mhz)	V _{TX} (Mbps)
HOMEPLUG	84	4.5-21	Máxima =14 Efectiva =6-7
DS2	1280→768 ascendente 512 descendente Con 0,2,4,6 u 8 bits de información por portadora	Hasta 30	45 y 200

Fuente: (Vargas & López, 2007)

OFDM puede propagar múltiples señales al mismo tiempo en un medio de transmisión, sea un cable o el espacio libre, cada onda va con su rango de frecuencia (portadora), que se modula en un receptor OFDM para extraer los datos recibidos (texto, voz, vídeo) (Jáuregui, 2012), (Vite, 2013).

Una de las principales ventajas de esta técnica de modulación multi-portadora, en comparación con el sistema de portadora simple, es su robustez frente al desvanecimiento selectivo a frecuencia o interferencias de banda estrecha. Esto es debido al hecho de que, en el sistema de una sola portadora, una pequeña interferencia o un desvanecimiento causa el fallo de todo el enlace. Por el contrario, en los sistemas multi portadoras esto sólo afectará a un pequeño porcentaje de las subportadoras, permitiendo que la codificación de corrección de errores (ECC) se pueda aplicar con el fin de corregir las pocas subportadoras afectados. (Bastidas, 2015, pág. 41)

En el siguiente subcapítulo se analiza un caso de simulación del desempeño OFDM en un canal PLC interior, estos resultados son investigaciones del Grupo de investigadores de la Universidad de Málaga.

3.7 Caso: Simulación OFDM con Matlab

El Grupo de investigación de la Universidad de Málaga tiene como objetivo difundir la tecnología PLC y compartir sus resultados con otros investigadores, con empresas que quieran apostar por el uso de dicha tecnología. Los investigadores han desarrollado un emulador de canal PLC.

Un emulador convierte el código de la máquina original al código de la destino (nuestra PC), por lo que la computadora ni siquiera sabe que está comportándose como otra plataforma (otro sistema operativo diferente al que ejecuta por defecto), y tan solo ejecuta el programa siguiendo su propio juego de instrucciones, pero adaptado desde la plataforma original. (Pasión-Móvil, 2015).

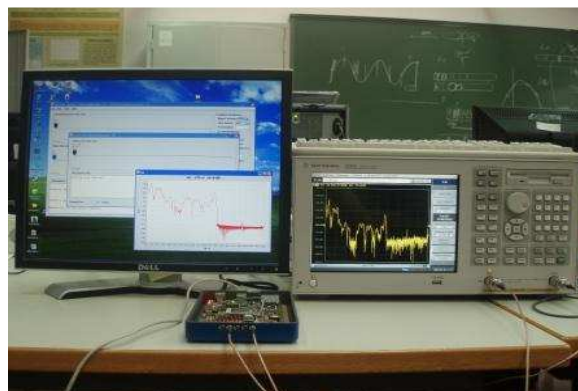


Figura 3. 10. Emulador del grupo U. Málaga
(PLC Málaga, 2014)

Para poder ejecutarse, los desarrolladores de este tipo de aplicaciones se documentan sobre la arquitectura interna de las máquinas a emular (procesador, juego de instrucciones, tipo y cantidad de registros y de memoria, direccionamientos, etc.) e implementan un comportamiento idéntico al de las mismas, gracias a la traducción de cada una de las operaciones al código de la máquina destino.

En las pruebas de canal PLC para interiores, los investigadores utilizan un simulador de PLC basado en el estándar HPAV que toma en cuenta la correlación entre los canales establecidos en el mismo. Implementa las capas físicas y MAC, así como modelos de tráfico para los servicios de red doméstica más comunes (Piñero, Cortés, Malgosa, Cañete, & Manzanares, 2014)

El simulador consta de tres bloques diferentes. El primero genera la respuesta del canal y el ruido para las diferentes estaciones de la red. A continuación, el simulador de capa física calcula la tasa de bits, C_i , para cada canal generado.

Usando estos valores, el bloque de capa MAC simula el protocolo Homeplug AV CSMA/CA con el número de estaciones y los patrones de tráfico correspondientes a los servicios de la capa superior definidos como parámetros de entrada. En la figura 3.11, se muestra la descripción de la estructura (bloque) del simulador.

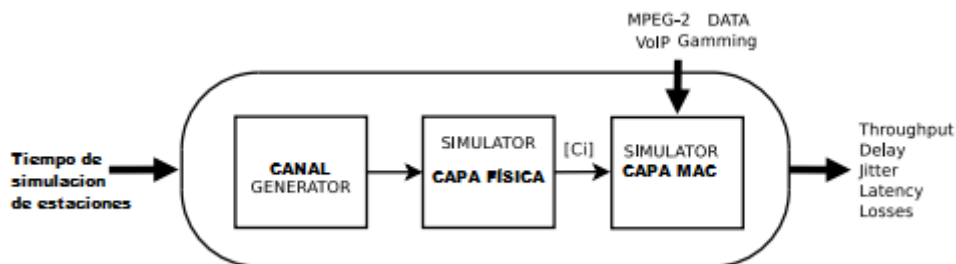


Figura 3. 11. Esquema en bloques del Simulador de la U- Málaga

Fuente: (Piñero, Cortés, Malgosa, Cañete, & Manzanares, 2014)

Se ha evaluado mediante el simulador de redes HomePlug AV para interiores tanto las capas MAC y Física. El simulador de capa física implementa una forma de pulso y 'ventana' OFDM como el definido en el estándar Homeplug AV.

Los canales de la red eléctrica interior pueden modelarse, como se muestra en la figura 3.12, por medio de un filtro lineal y periódicamente variable con el tiempo (*LPTV-Linear and Periodically Time-Varying*) y un ruido ciclo estacionario. El ruido está compuesto por tres componentes: ruido de fondo, ruido impulsivo e interferencias de banda estrecha.

Se pueden descargar los elementos necesarios para realizar simulaciones de técnicas de transmisión conforme a este modelo.

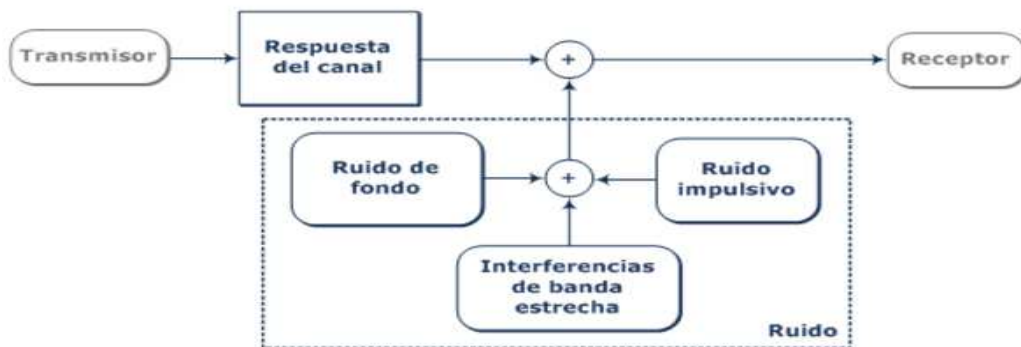


Figura 3. 12. Modelo para canal PLC interior
Fuente; (PLC Málaga, 2014)

La figura 3.13, muestra la señal OFDM que se simula en MATLAB y se utiliza en la línea de transmisión de energía. En este trabajo el tamaño del marco de datos y la longitud de prefijo cíclico (CP) es 2048 y 256 muestras cada una y se transmiten 20 paquetes. Se considera que la línea eléctrica tiene una longitud $l = 500\text{m}$. En esto se emplean esquemas de modulación de 64-QAM, QPSK y 256 QAM. Hay que indicar que el Dr. Cañete y su grupo de investigadores han sido los pioneros en desarrollar generadores de canales PLC en línea y son aplicaciones o programas de software libre que se pueden descargar y simular con MATLAB. (Cañete, Cortés, & Díez, 2011). Las guías y tutoriales de canales están disponibles en: <http://www.plc.uma.es/canales.htm>.

La guía de usuario explica el procedimiento para generar canales de un modo determinista y aleatorio. La guía de usuario es un tutorial para obtener la respuesta en frecuencia de un canal LTI (a) y otro LPTV (b) obtenidos con el generador.

El estándar IEEE P1901, que regula las operaciones del PLC, describe dos técnicas diferentes que deben seguirse para PLC basado en método de modulación que se aplicarán a la capa Física y la capa de Control de Acceso al Medio.

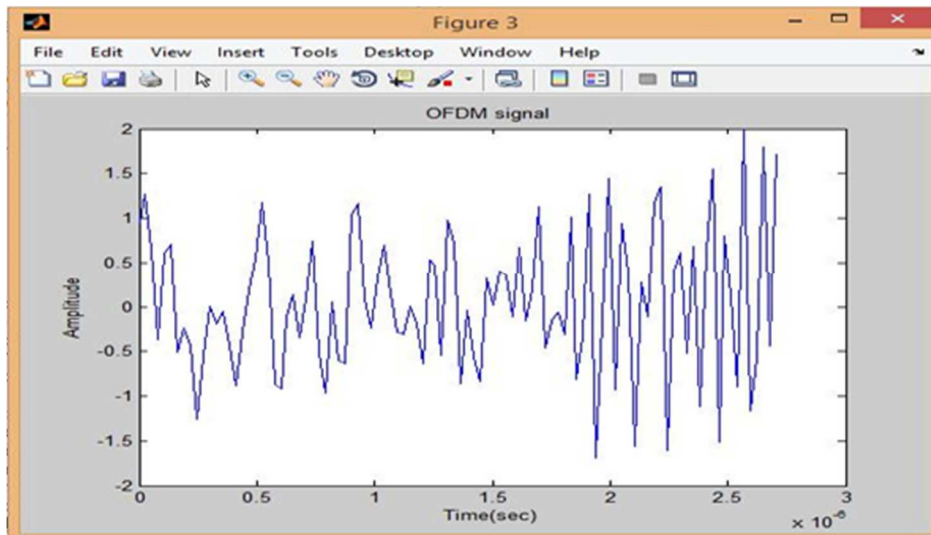


Figura 3. 13. Señal OFDM en Matlab
Fuente: El autor

3.8 Algoritmos para simular ganancia en canal PLC

La ganancia de modelo de canal PLC y el diagrama de fase N° 4, se puede obtener aplicando las siguientes instrucciones, se ingresan al simulador de Matlab, bajo esta programación, se representa una modelación para la ganancia del canal PLC.

```
clear all; clc;
```

```
%%%%%%%%%%%%%% PLC multipath channel model
%%%%%%%%%%%%%%
```

```
N=4; k=1; a0=0; a1=7.8e-10;
```

```
%Path parameters
```

```
g(1:N)=[0.64,0.38,-0.15,0.05];
```

```
d(1:N)=[200,222.4,244.8,267.5];
```

```
%Spread velocity
```

```
vp=1.5e8;
```

```
ff=1:0.01:20;
```

```
f=100:2000; for m=1:N
```

```

%f=1:20000;

%f=transpose(f); % f0=10*f

H(f,m)=g(m).*exp(-(a0+a1.*((ff.*1e6).^k)).*d(m)).*exp(-
2i.*pi.*(ff.*1e6).*(d(m)./vp));

end

H0(f)=H(f,1)+H(f,2)+H(f,3)+H(f,4);

magH(f)=10*log10(abs(H0(f)));

angH(f)=angle(H(f,1)+H(f,2)+H(f,3)+H(f,4));

subplot(2,2,1),plot(ff,magH(f)) title('N=4');xlabel('frequency in MHz');
ylabel('H(f)in dB') grid on

subplot(2,2,2), plot(ff,angH(f)) xlabel('frequency in MHz');
ylabel('Phase') grid on

```

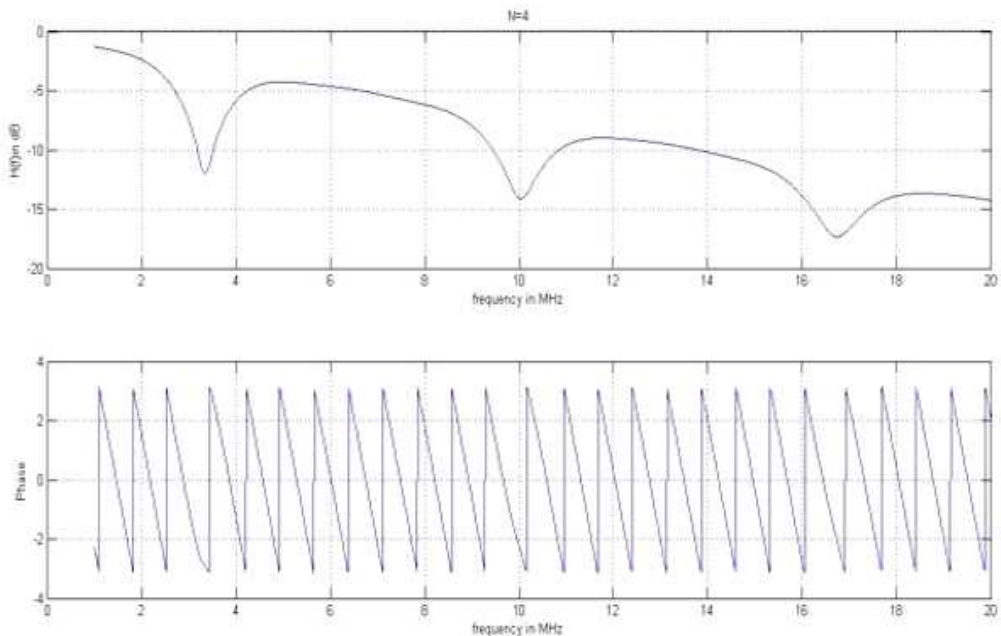


Figura 3. 14. Ganancia de modelo de canal PLC y el diagrama de fase, N = 4
Fuente: El autor

En la tabla 3.3, se muestran los parámetros de atenuación que se obtuvieron:

Tabla 3.3. Parámetros de atenuación y de ruta para modelo de canal de PLC N=4

$k=1$		$a_0=0$		$a_1=7.8 \cdot 10^{-10} \text{ s/m}$	
Parámetros de ruta					
i	g_i	d_i/m	i	g_i	d_i/m
1	0.64	200	3	-0.15	244.8
2	0.38	222.4	4	0.05	267.5

Fuente: El autor

3.9 Ejemplo de simulación del modelo de canal PLC con N muestras.

$N_1 = 15$

$g_2(1:N_1)=[0.029,0.043,0.103,-0.058,-0.045,-0.040,0.038,-0.038,0.071,-0.035,0.065,-0.055,0.042,-0.059,0.049];$

$d_2(1:N_1)=[90,102.4,113,143,148,200,260,322,411,490,567,740,960,110,1250];$

$ff=1:0.01:20;$

$f=100:2000;$ for $m=1:N_1$

$H_2(f,m)=g_2(m) \cdot \exp(-(a_0+a_1 \cdot ((ff \cdot 1e6).^k)) \cdot d_2(m)) \cdot \exp(-2i \cdot \pi \cdot (ff \cdot 1e6) \cdot (d_2(m) \cdot vp));$ end

$H_{02}(f) = \text{sum}((H_2(f,1:15)));$

$\text{magH}_2(f)=10 \cdot \log_{10}(\text{abs}(H_{02}(f)));$

$\text{angH}(f) = \text{angle}(H_{02}(f));$ s

$\text{subplot}(2,1,1), \text{plot}(ff, \text{magH}_2(f))$

$\text{Title}('N=15');$ $\text{xlabel}('frequency \text{ in MHz}');$ $\text{ylabel}('H(f) \text{ in dB}')$

$\text{subplot}(2,1,2), \text{plot}(ff, \text{angH}(f))$

$\text{xlabel}('frequency \text{ in MHz}');$ $\text{ylabel}('Phase')$ grid on

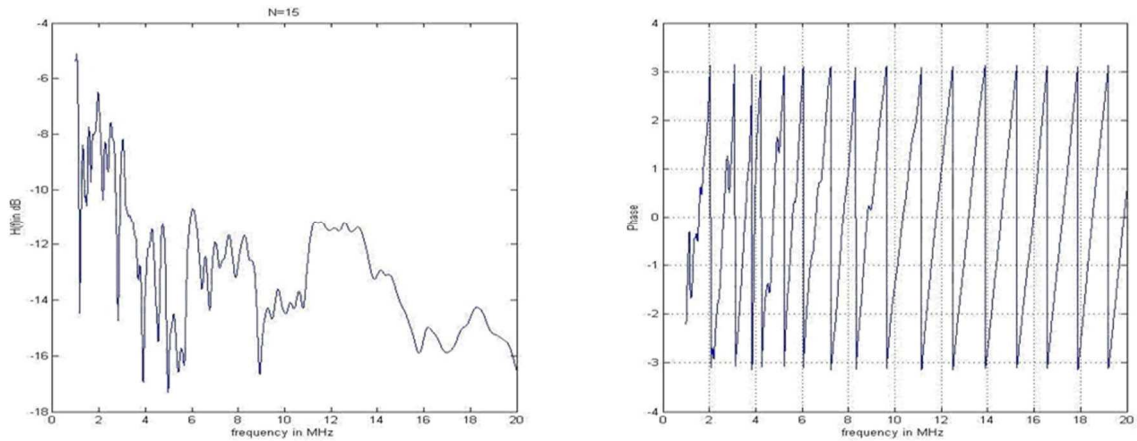


Figura 3. 15. Ganancia de modelo de canal PLC y el diagrama de fase, N = 15
Fuente: El autor

En la tabla 3.4, se muestran los parámetros de atenuación que se obtuvieron

Tabla 3. 4. La atenuación y de trayectoria parámetros de modelo de canal PLC, N = 15

$k=1$		$a_0=0$		$a_1=7.8 \cdot 10^{-10} \text{ s/m}$	
Parámetros de ruta					
i	g_i	d_i/m	i	g_i	d_i/m
1	0.029	90	9	-0.071	411
2	0.0430	102	10	-0.035	490
3	0.0103	113	11	0.065	567
4	-0.058	143	12	-0.055	740
5	-0.045	148	13	0.042	960
6	-0.040	200	14	-0.059	1130
7	0.038	260	15	-0.049	1250
8	-0.038	322			

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta el modelo de líneas eléctricas y los modelos de ruido se deberá simular con modulaciones BPSK, QPSK (opcionales), 16-QAM, 64-QAM y modulaciones 256-QAM del sistema OFDM.

Desde el punto de vista de la comparación de la proporción de bits erróneos (BER) con la señal a ruido normalizada (E_b/N_0). Si se fija el valor deseado de $BER = 10^{-2}$, es decir, menos de un bit defectuoso por cien del valor total, que el valor deseado de señal normalizada a ruido

(E_b/N_0) se obtienen valores característicos de relación señal/ruido por cada tipo de modulación, véase la tabla 3.5.

Tabla 3. 5. Valor de la relación señal a ruido normalizada para una proporción de error (BER) de 10^{-2} para una modulación dada.

Modulación	BPSK	QPSK	16-QAM	64-QAM	256-QAM
E_b/N_0 [dB]	4,7	7,1	10,30	14,8	19,2

Fuente: (Lo & Lee, 2013) y diseñada por el autor

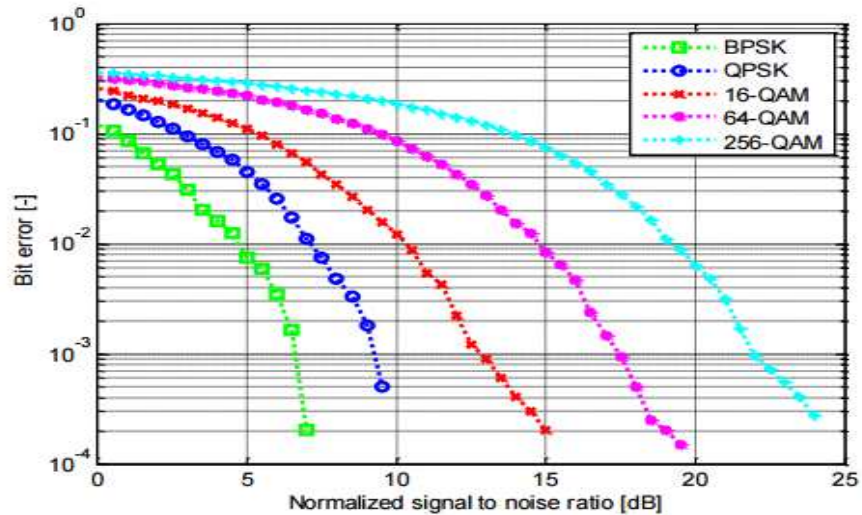


Figura 3. 16 Dependencia de BER con E_b/N_0 para una modulación particular, en sistema OFDM

Fuente: (Lo & Lee, 2013)

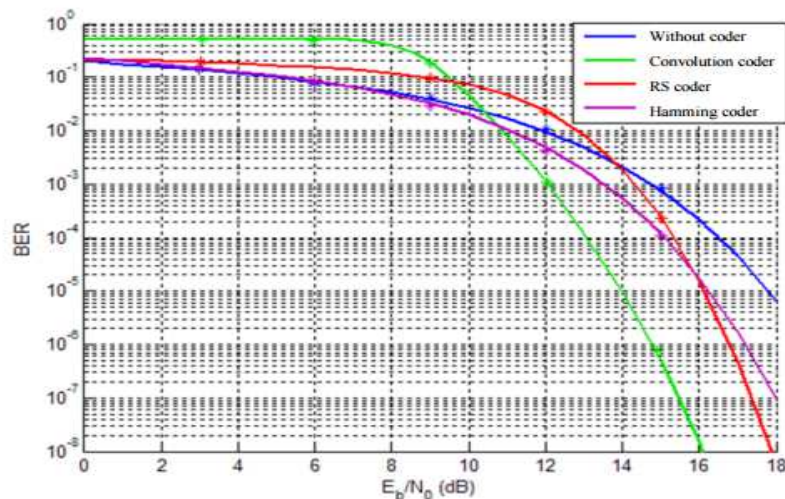


Figura 3. 17 Dependencia de BER en E_b/N_0 para diferentes esquemas de codificación

Fuente: (Lo & Lee, 2013)

La figura 3.17 muestra la dependencia de la tasa de error de bit (BER) con la relación señal a ruido (SRN) con el uso de diversos tipos de codificación para la modulación 64-QAM. La mejor capacidad de corrección alcanza 10 dB.

La calidad de la sincronización de OFDM entre el transmisor y el receptor, en particular, se da por la exactitud de las estimaciones de error de frecuencia y sincronismo.

El uso de OFDM mediante la Transformada Rápida de Fourier es un esquema de modulación multi portadora eficiente para la transferencia de datos sobre canales dispersivos porque ofrecen facilidad de implementación, bajas probabilidades de error y tasas de transmisión superiores a las ofertadas por otras técnicas de modulación digital.

En las pruebas se comprobó la mayor inmunidad al ruido se logra con técnicas de modulación digitales que modulan la información binaria en la frecuencia: (FSK) o en la fase (BPSK), respecto del esquema que modula los datos en la amplitud (ASK), debido a las características aditivas del ruido impulsivo; además, este ruido se incrementa en la transmisión con portadoras digitales de bajas frecuencias o a tasas de bits altas.

3.10 Conclusiones del Capítulo III

La caracterización del canal PLC se puede describir por su función de transferencia, el escenario de ruido, la impedancia de acceso. Sin embargo, también se caracteriza por la atenuación de la señal producida por el comportamiento del canal PLC, que es variable en el tiempo y en la frecuencia, y la determinación del mismo depende de las particularidades físicas y eléctricas de la red la cual a menudo es desconocida.

La atenuación en un canal PLC depende de las características físicas y eléctricas de la línea (longitud, parámetros eléctricos primarios por unidad de longitud (R, L, C y G), frecuencia y valor de las cargas terminales en las ramas.

El canal PLC multi trayecto se puede caracterizar por la distribución estadística de Rayleigh, ya que la naturaleza estadística variable en el

tiempo de la envolvente de la señal recibida se predice bastante bien por medio de esta distribución.

El uso de modulaciones OFDM en transporte de datos en un entorno doméstico presenta mejor desempeño y es robusto al ruido del canal PLC.

Investigaciones comprueban que mayor inmunidad al ruido se logra con esquemas digitales que modulan la información binaria en la frecuencia (FSK) o en la fase (BPSK), respecto del esquema que modula los datos en la amplitud (ASK), debido a las características aditivas del ruido impulsivo.

CAPÍTULO IV: PLC para Alta tensión, Media tensión y Baja tensión

La tecnología PLC constituyen una alternativa tecnológica en fase de expansión y cuya penetración en el mercado y éxito final dependerá de aspectos comerciales, puesto que los retos técnicos básicos han sido superados. A continuación, se consideran aspectos técnicos de PLC para AT, MT y BT. Varios estudios concluyen que tanto en AT y MT el desempeño PLC en tráfico de datos no es convincente.

Se utiliza la etapa de distribución eléctrica en BT para la transmisión de datos a velocidades mayores de 2 Mbit/s (a alta frecuencia > 1 MHz) sobre los cables eléctricos de una vivienda u oficina.

4.1 PLC para Alta Tensión

Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión es el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión tendrán la altura que exigen las normas internacionales de seguridad eléctrica. Los cables de alta tensión están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del aire, etc. (Guimaraes, 2010).

Las líneas de alta tensión presentan un sistema de múltiples conductores compuesto por tres o más conductores de fase y cables de blindaje. Cada uno de estos conductores de fase puede utilizarse para la transmisión de señales. Dado que hay varios conductores de fase, se dispone de diferentes esquemas de acoplamiento que definen cómo está conectado el equipo de comunicación a la línea eléctrica. Cada uno de estos esquemas se caracteriza por su función de transferencia. (Zajc, Suljanović, Mujčić, & Tasič, 2004).



Figura 4. 1. Red de Alta Tensión AT

Fuente: (Echeverri & Madera, 2008)

Un canal PLC puede afectarse en su desempeño utilizando AT, ya que se presentan particularidades a tener en cuenta como:

- Características de la línea de alimentación;
- Características de los dispositivos de acoplamiento y de la unidad de pérdidas de línea (LTU);
- Características del cable coaxial que conecta el equipo de comunicación con un dispositivo de acoplamiento.

Por otro lado, las fuentes de ruido en la línea eléctrica se pueden dividir en dos categorías:

- a) Línea eléctrica de alto voltaje como fuente de ruido: ruido de corona, ruido de impulso debido a fallos de conmutación y línea eléctrica.
- b) Interferencias con otros equipos electrónicos que operen en el mismo dominio de frecuencia: estaciones de radio y navegación, otros sistemas PLC, etc.

El ruido causado por la interferencia es de banda estrecha y determinado por las características del equipo electrónico que lo causa. Por otro lado, el ruido coloreado es un tipo de ruido gaussiano con varianza variable, que depende fuertemente del tiempo. El ruido en un canal PLC (interferencias electromagnéticas) produce bajo desempeño de comunicación.

El sistema PLC es diferente de otros sistemas de comunicación en el sentido de que, excepto los equipos de comunicación, requiere algunos

componentes adicionales debido al alto voltaje en la línea eléctrica. Los dispositivos de acoplamiento se utilizan para proteger el equipo de comunicaciones y el personal de la alta tensión, pero también para el acoplamiento de impedancias entre el cable coaxial y la línea eléctrica.

Debe observarse que los dispositivos de acoplamiento proporcionan el esquema de acoplamiento deseado. La unidad de trampas de línea se utiliza en los conductores de fase empleados para las comunicaciones con el fin de bloquear la propagación de la señal en la dirección no deseada. La presencia del dispositivo de acoplamiento y LTU introduce distorsiones en las características de frecuencia del canal PLC. (Zajc, Suljanović, Mujčić, & Tasič, 2004)

Las condiciones meteorológicas influyen significativamente en las características de frecuencia de la línea de AT. La lluvia, la niebla, la nieve y el hielo influyen en la transmisión de la señal por la línea eléctrica. La influencia más significativa del tiempo se refiere al recubrimiento de hielo en los conductores de la línea de alimentación. El hielo en los conductores de la línea de alimentación puede aumentar o disminuir la atenuación del canal PLC, lo que depende de la banda de frecuencia utilizada.

El segundo problema necesario para ser analizado en las comunicaciones digitales a través de la línea de AT relaciona el efecto de reflexión. La reflexión se produce en las ubicaciones de cambio de impedancia, como terminales de línea, etc. La consecuencia de la reflexión es que las características de AT de la línea de alimentación se ondulan lo que puede causar el aumento de BER en la transmisión de datos de alta velocidad de bits. (Zajc, Suljanović, Mujčić, & Tasič, 2004)

Red de AT: transporta la energía desde los centros de generación hasta las grandes áreas de consumo. Las distancias de transporte son grandes, lo que implica altos voltajes para minimizar las pérdidas (una región, un país, entre países).

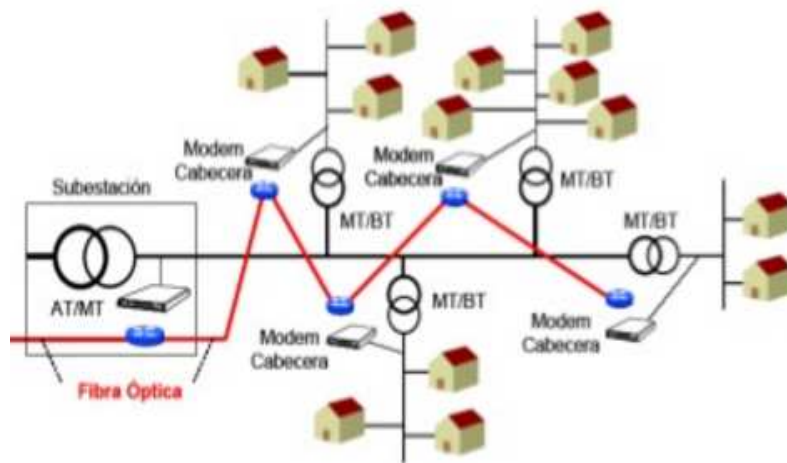


Figura 4. 2 Escenario de Alto Voltaje de PLC

Fuente: (Echeverri & Madera, 2008)

Las líneas de la red de AT se utilizan para transportar señales de telemetría, información de supervisión y órdenes de reconfiguración de la red. También es frecuente que las compañías eléctricas desplieguen una infraestructura de telecomunicación para cubrir sus propias necesidades de comunicaciones entre subestaciones (Bustillo, 2008).

En base a experto y ensayos las líneas de AT. no son aptas para desempeños aceptables de tráfico de datos IP, los mejores resultados se han obtenido en redes MT y mucho mejor desempeño en redes de BT. En la figura 4.3, se esquematiza la organización de distribución eléctrica para la tecnología PLC. En ella se pueden diferenciar cuatro fracciones de utilidad:

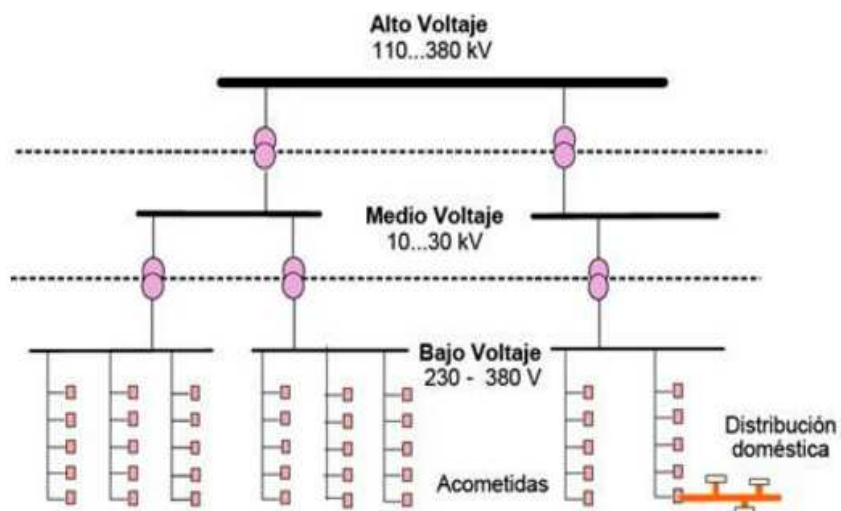


Figura 4. 3 Esquema de organización de la red de distribución eléctrica para PLC

Fuente: (Bustillo, 2008)

Red de AT: Transporta la energía desde las centrales de generación eléctrica hasta las grandes áreas de consumo. Los trayectos de transporte son grandes, lo que implica altos voltajes para minimizar las pérdidas (una región, un país, entre países).

Red de MT: Distribuye la energía dentro de un área de consumo determinada (una ciudad) (Bustillo, 2008).

Red de BT: Distribuye la energía a los locales de usuario final, a los voltajes de utilización final (110V-220V-380V).

Red de distribución doméstica: comprende el cableado de energía y las tomas eléctricas de la residencia del usuario final (Bustillo, 2008).

Las primeras aplicaciones de PLC se remontan a aplicaciones de banda estrecha, siendo su aplicación principal la lectura automática de medidores/contadores, detección y localización de averías y, en algunos casos, control de carga. La PLC de banda ancha o BPL, tiene entre sus aplicaciones no sólo dar servicios de telecomunicaciones a los usuarios finales, sino también soportar este tipo de aplicaciones de operación de la red de energía.

Las líneas de la red de AT se utilizan para transportar señales de telemetría, información de supervisión y órdenes de reconfiguración de la red. También es frecuente que las compañías eléctricas desplieguen una infraestructura de telecomunicación para cubrir sus propias necesidades de comunicaciones entre subestaciones eléctricas (Bustillo, 2008).

4.2 PLC para Media Tensión

Las líneas de MT llevan generalmente hasta 100 kilovoltios, durante unos pocos kilómetros entre las estaciones de distribución de electricidad y transformadores montados en postes. Las líneas de BT transmiten unos pocos cientos de voltios durante unos pocos cientos de metros, por lo general de transformadores de montaje en poste en una casa o negocio. (Bustillo, 2008).

Típicamente, los módems acopladores integran las señales de datos en las líneas de MT en la subestación, con extractores en el transformador de distribución de BT suministra corriente a un grupo de edificios.

El Módems BPL transmiten en media y alta frecuencia (1,6 a 80 MHz portadora eléctrica). La velocidad asimétrica en el módem es generalmente de 256 kbps a 2,7 Mbps. En el repetidor situado en la sala de medidores, la velocidad es de hasta 45 Mbps y se pueden conectar a 256 módems PLC. En las estaciones de MT, la velocidad del Gateway (Equipo cabecera, Head End) es de hasta 135 Mbps. Para conectarse a Internet, los servicios públicos pueden utilizar fibra óptica troncal o enlace inalámbrico (Santos, Sturm, & Pontes, 2015).

Mediante equipos PLC se enlazan las redes de MT/BT a una red troncal de datos o Backbone esto permite la interacción de redes de datos externas con las redes eléctricas hasta llegar a los usuarios como una red de acceso de gran alcance. Del lado de los usuarios en la red de baja tensión domiciliaria estos se conectan con equipos especiales de usuarios los cuales les permitirán poder acceder a la información que viaja a través de la red eléctrica.

En la figura 4.4 se aprecia el backbone que puede ser de algún proveedor de internet o telefonía.

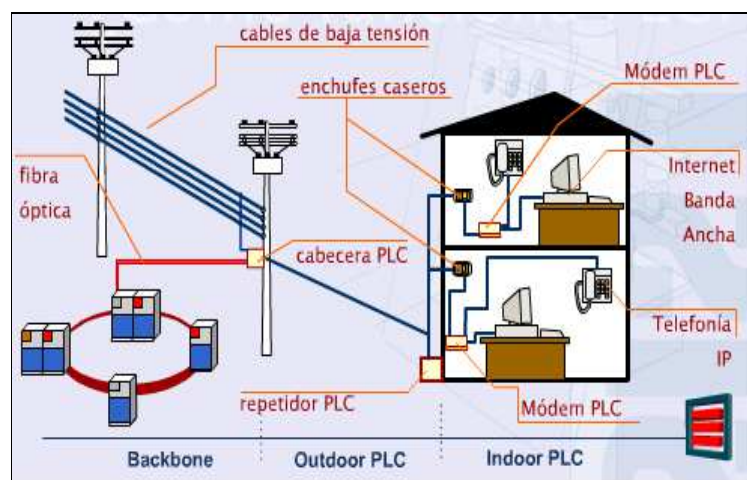


Figura 4. 4 Arquitectura de una red PLC.

Fuente: Cisternas, F. (2007)

Blake (2004) comenta que estas redes de fibra óptica son instaladas bajo la topología anillo, como la de cualquier tecnología. Y debe ser con un cable de fibra óptica que debe conectarse a un equipo de cabecera-PLC.

La arquitectura de una red PLC consta de dos sistemas formados por tres elementos. El primer sistema es denominado “Outdoor o de Acceso”, cubre el tramo de lo que en telecomunicaciones se conoce la “última milla”, y que para el caso de la red PLC consiste de la red eléctrica desde la sección de BT del transformador de distribución hasta el medidor de electricidad (Vite, 2013).

Es decir, el exterior es el que proviene desde las subestaciones, es sin duda el enfoque más propicio desde un punto técnico, es posible aprovechar las líneas de media tensión que salen de una subestación para proporcionar canales troncales de PLC que llegan a los centros de transformación.

En estos lugares se instalan los equipos PLC que regeneran y adaptan las señales de media y baja tensión y viceversa, como se muestra en la figura 4.5.

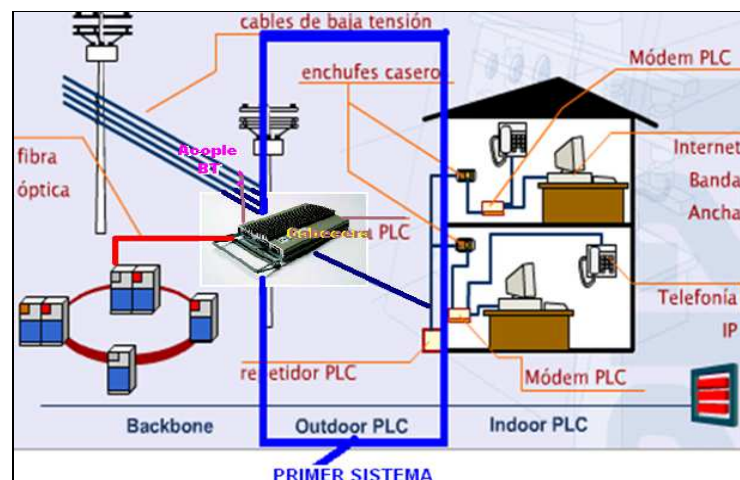


Figura 4. 5 Sistema outdoor PLC (externo)

Fuente: Cisternas, F. (2007).

Este sistema está constituido por:

- Por un nodo (equipo) denominado cabecera PLC (primer elemento de la red PLC, véase la figura 1.10) transmite señales de 50mw y permite conectar la red a un backbone de telecomunicaciones (Vite, 2013).

Así, el dispositivo se conecta a los equipos de la red ATM del proveedor de datos, desde los equipos del proveedor que bien puede estar ubicado en un cuarto dentro de la subestación eléctrica, puede inyectar su señal

de internet o datos a través de los cables del tendido eléctrico en baja tensión.

En otras palabras, es la parte donde la empresa comercializadora de servicios de telecomunicaciones puede “inyectar” la señal referida al tendido eléctrico de BT.

•Un equipo para regenerar la señal (repetidor) para permitir que la onda llegue a toda la red de BT, generalmente se implementa donde se requiere robustecer la señal y puede alimentar hasta unos 250 módems. Este equipo capta la onda que viene del dispositivo cabecera del sistema outdoor (Red de transporte BT) y envía la señal en el tramo indoor, donde cada tomacorriente se convierte en un punto de datos (Vite, 2013). En la figura 4.6 se muestra el equipo de cabecera (Gateway) PLC.



Figura 4. 6 Esquema de conexión de Cabecera PLC

Fuente: Gilbert, P. (2008)

4.2.1 Configuración PLC en Media Tensión

Esta configuración despliega la red de MT y BT como medio de transmisión de señales de datos de alta velocidad. En algunos casos, especialmente en zonas rurales y remotas donde la densidad poblacional es extremadamente baja, pocos clientes locales están conectados directamente a la red de distribución de MT a causa de la larga distancia y la consiguiente caída de tensión (Eveliux, 2010).

En esas áreas, el acceso backbone, por GSM, fibra o satélite, no es realizable por la baja densidad poblacional y solo es viable emitir las señales de los datos sobre las líneas de MT tanto como sea posible de

una zona con mayor densidad de población y una mejor oportunidad de interconexión backbone como la mostrada en la figura 4.7 (Vite, 2013).

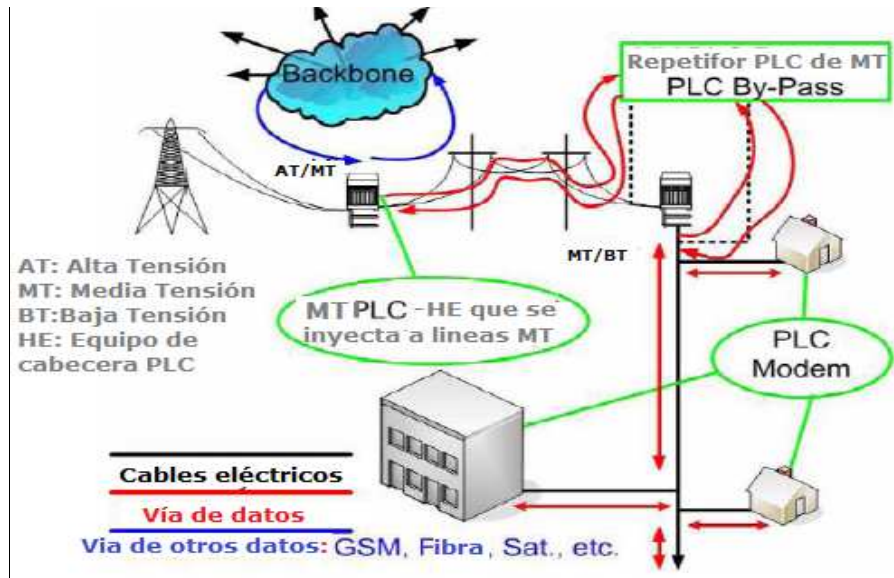


Figura 4. 7 Instalación de PLC incluyendo la red de MT.

Fuente: (Millán, 2014)

Esta distribución requiere dispositivos PLC que suministran altos SNR para emisiones de larga distancia y repetidores de señal. Además, la capacidad de conexión no es una cuestión de diseño como la línea PLC normalmente compartida por varios clientes. Con esta configuración, las señales de datos necesitan 'puentear' los transformadores de MT/BT.

Hay que considerar que se requieren más dispositivos PLC para cubrir una mayor extensión. Al menos dos unidades MT deben estar instaladas en la línea de MT, una para acceso al backbone y otra para la repetición de la señal y puentear el transformador MT/BT y la inyección de señal (Vite, 2013).

4.2.1.1 Infraestructura e instalación de equipos en subestación MT

Se indicaba anteriormente que la arquitectura PLC, desglosa dos tipos de redes: Backbone y una red que a su vez se subdivide en dos subredes: *outdoor* e *indoor*. A continuación, se describen de forma detallada las dos subredes, desde la visión del equipamiento necesario para su instalación en subestaciones y distribuidoras eléctricas.

- El *outdoor* o acceso que cubre la última milla. Consiste en la red eléctrica que va de la sección de BT del transformador de distribución al medidor de electricidad. Es decir, la conexión final en casa del consumidor y está compuesta por tres elementos (Vite, 2013).
 - Equipo cabecera o (Head End – HE) también unidad de acondicionamiento UA
 - Equipo repetidor (Home Gateway – HG) o unidad repetidora UR.
 - Módem terminal o módem cliente (CPE) y unidad de usuario UU.
- El segmento *indoor* va después del medidor de electricidad y donde cada tomacorriente es un punto de acceso de señal de internet provisto desde un proveedor ubicado en una subestación eléctrica (Vite, 2013).

Se detalla a continuación los componentes del sistema outdoor.

HE (HEAD END) O UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO (UA)

En el proyecto externo el equipo de cabecera es uno o varios dispositivos para la conectividad a la red o *backbone* de telecomunicaciones (WAN, internet, etc.) o al proveedor de servicios de internet (ISP), da el interfaz de los protocolos TCP/IP a los computadores.

También conecta el sistema de la red a un backbone de telecomunicaciones (WAN, Internet, etc.) o al proveedor de servicios de Internet (ISP), es la interfaz entre la red de datos y la eléctrica.

Las UA PLC van en cada subestación eléctrica, cerca al transformador de MT a BT, según el modelo PLC que se emplee. Una UA puede contener hasta doce dispositivos transmisores con una estructura típica de armario o rack, integradas en un mismo módulo (Vite, 2013).

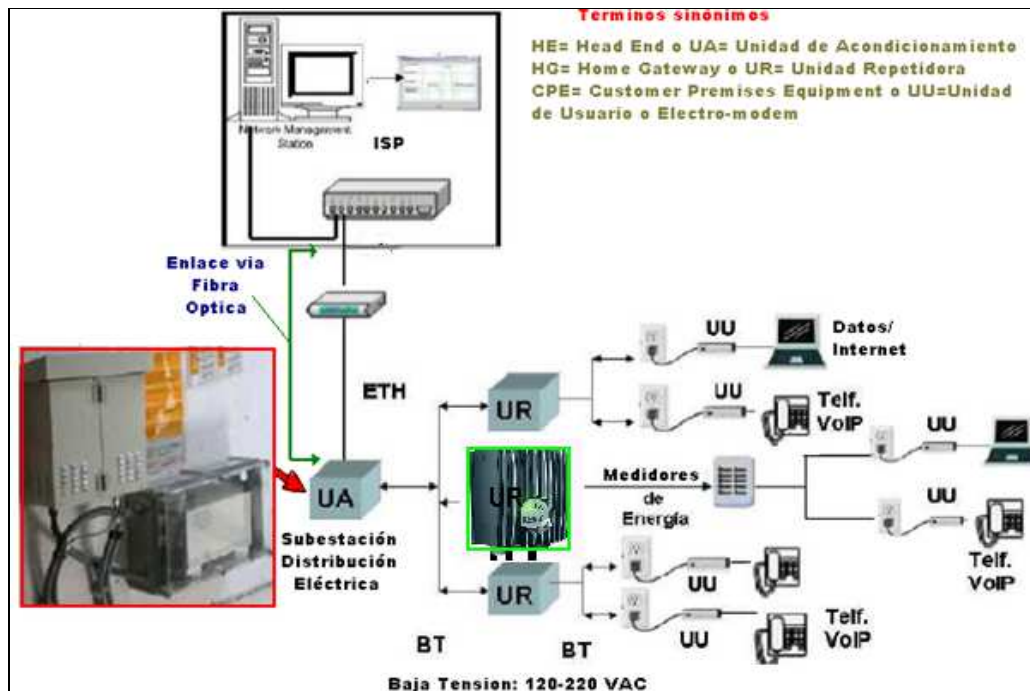


Figura 4. 8 Unidad de Acondicionamiento instalada en un cuarto de Transformación (Subestación eléctrica) más unidad repetidora

Fuente: (Millán, 2014)

Estos equipos poseen varias tarjetas, lo que permite flexibilidad en el desarrollo del diseño.

- Tarjetas BT (Baja tensión): Inyectan la señal de datos a los cables de baja tensión.
- Tarjetas MT (Media tensión): Permiten la interconexión de subestaciones o CT utilizando como red de distribución las redes de MT.
- Tarjetas “Fast Ethernet” o “Gigabit Ethernet”: Permiten la interconexión de subestaciones a través de interfaces RJ-45 o Gigabit Ethernet convencionales. Esta tarjeta permitirá la conexión del enlace de F.O. a la UA.
- Velocidad máxima de 100 Mbps.
- Soporta hasta 256 usuarios.
- DHCP/DNS/FTP Server/ Cliente
- Posee una interfaz Ethernet 10/100 base T.

Según (Huidrobo, 2012) cada una puede comunicar un canal y dar servicio a unos 50 usuarios regularmente. La información ingresa a estas

estaciones y se insertan en la señal eléctrica. Hay UA de MT que envían las señales a unos 1500 m y UA de BT con alcance de 150 m (Vite, 2013).

Unidad Repetidora (UR)

Permite ampliar el alcance de la transmisión de información, se usa si hay un trayecto grande entre la UA y la UU. Este equipo regenera la señal perturbada por la atenuación del medio de transmisión por el recorrido.

Alcanza altas tasas de transmisión en zonas apartadas de la UA. Aumenta la cobertura de servicio y se conecta a las líneas eléctricas mediante acopladores eléctrico (Vite, 2013).

Regularmente se trata no usar repetidores en lo posible pues suman gastos adicionales a la red PLC (Vite, 2013).

- Alcanza tasas de 45 Mbps
- Admite 32 conexiones simultáneas (esclavos).
- Permite manejar 64 direcciones MAC.
- Alta sensibilidad del receptor para garantizar cobertura.
- Emplea el concepto de VLAN y servicios QoS.

Unidad de Usuario (UU) O Modem PLC

Estos dispositivos terminales se conectan a la red eléctrica como medio de transmisión de datos. Enlaza un equipo a la red de información implantada por la UA. Se coloca en los hogares de los consumidores (Vite, 2013).

(Tomasi, 2003) aclara que su función es transformar el tomacorriente en un punto de conexión de terminal de usuario, contiene dos filtros, uno pasa bajos y otro pasa altos. El primero libera la corriente eléctrica de 60 Hz para su propia alimentación, evita los ruidos de la red de los electrodomésticos enchufados en casa del cliente, de no hacerlo, esos ruidos se adicionarían a los de otros usuarios de la red, generando distorsiones apreciables. El pasa alto libera la información que viaja en

portadoras de 2.4 a 38MHz permitiendo el tráfico bidireccional entre el usuario y la red eléctrica (Vite, 2013).

4.3 PLC para Baja Tensión

Esta configuración es la más sencilla y es indicado para la mayoría de las zonas densamente pobladas. Aquí, los datos viajan distancias más cortas entre el cliente y los puntos de acceso Backbone disponibles en los transformadores de BT. Véase la figura 4.9.

Esto simplemente se debe a la bien establecida infraestructura básica en las áreas metropolitanas, zonas urbanas y suburbanas. Debido al mismo hecho, PLC debe proporcionar conectividad de alta capacidad por línea, con el fin de satisfacer la densa presencia de clientes (Vite, 2013).

Se toma en consideración la alta densidad de clientes para proporcionar conectividad PLC de alta capacidad dentro de áreas pequeñas y, por tanto, no tener que inyectar señales de datos en la red MT.

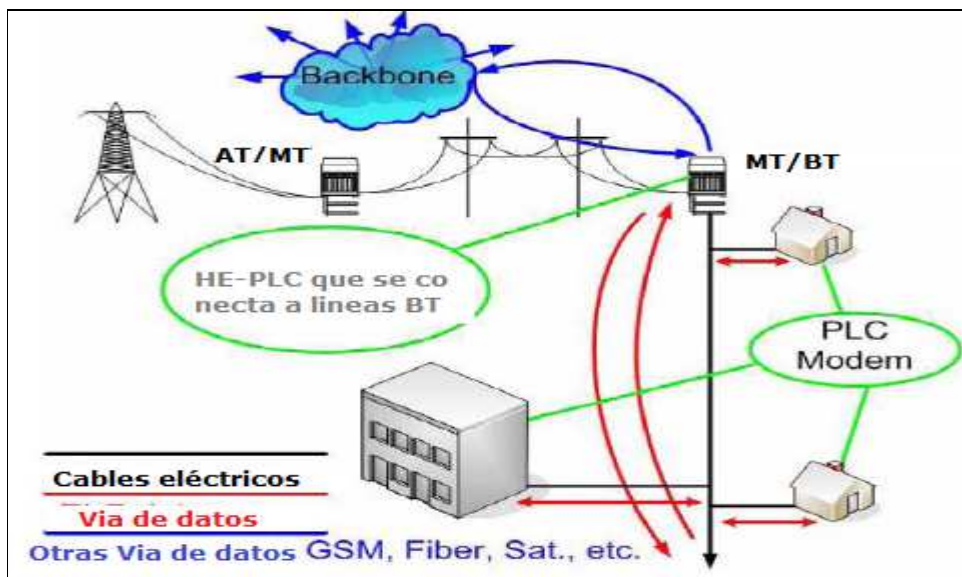


Figura 4. 9 Instalación de PLC en la red BT

Fuente: (Millán, 2014)

Las redes PLC soportan el protocolo de gestión simple de red SNMP (*Simple Network Management Protocol*) y otros servicios como habilitar el monitoreo de redes y dispositivos específicos de empresas (Vite, 2013).

La primordial dificultad al implementar una red PLC en la primera milla es determinar el sitio de la cabecera PLC, esto es el punto de la transformación de un transporte convencional de telecomunicaciones, como fibra óptica, a PLC (Vite, 2013).

4.3.1 Infraestructura de PLC en BT

Esta ruta debe limitarse únicamente a la señal PLC y no a los 60 Hz de electricidad. El *bypass* es barato, fácil de instalar y mantener y no reduce la fiabilidad eléctrica, como se observa en la figura 4.10, está formado por un acoplador inductivo de MT, una UA y un acoplador BT, éste puede ser inductivo o capacitivo, siendo atractivas las soluciones inductivas por comodidad (Vite, 2013).

Uno de los retos de los sistemas PLC es el método a utilizar para acoplar la señal de comunicaciones en la red eléctrica". En el receptor se desea un fuerte rechazo de banda para bloquear la señal de 110 V, 60 Hz, pero sin atenuar las señales de alta frecuencia.

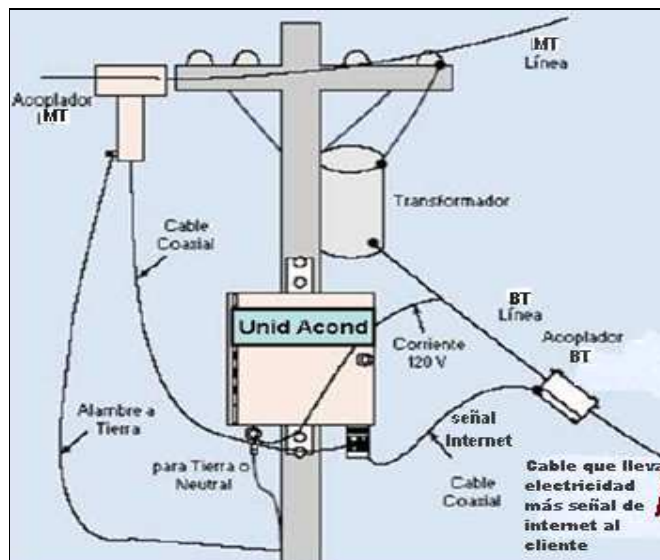


Figura 4. 10. Bypass en el transformador eléctrico

Fuente: (Bañon, Casado, & Rodríguez, 2007)

En el lado del transmisor se desea tener propiedades de paso amplio a la señal de comunicaciones para que no sea atenuada. Además, para que la

atenuación de la señal sea pequeña se desea que el acople tenga una impedancia muy parecida.

Existen dos métodos de acoplamiento: acoplamiento capacitivo paralelo a la red eléctrica o acoplamiento inductivo mediante el uso de un núcleo magnético.

1. Unidades de acoplamiento capacitivo

Este tipo de acoplamiento inyecta la señal en las líneas eléctricas por contacto directo permitiendo el acoplamiento mediante tensión a través del núcleo. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda, optimizando la adaptación de impedancias entre la línea de media ó baja tensión y el equipo de comunicaciones PLC.

Este tipo de acoplamiento es muy utilizado para líneas aéreas y en instalaciones de interiores. Presenta una mínima atenuación de la señal, es de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, etc. (Ver figura 4.11) y se conecta entre fase y neutro.

Tienen menor pérdida que los inductivos, pero su manipulación exige eliminar la corriente por los cables durante su instalación.



Figura 4. 11. Unidad de acoplamiento capacitivo BT
(Energy Groove, 2013)

2. Unidades de acoplamiento inductivo

Introducen la señal sin contacto directo, induciendo un campo magnético que admite ensamblarse a niveles de corriente de 50 a 150A, sin interrumpir el suministro eléctrico. Este dispositivo permite que la señal PLC no se pierda a causa de los transformadores en MT a BT continuando hasta el domicilio del consumidor. Se complementa la

implementación de la red PLC con cajas de distribución, filtros y accesorios de cableado (Vite, 2013).

Cajas de distribución: Se usan para acoplar más de un cable en modo capacitivo, o dos en modo inductivo. (Figura 2.6).

Filtros de Coexistencia: secciones adyacentes de la red de distribución emplean diferentes portadoras para emitir la señal PLC, se requieren filtros de coexistencia antes de insertar en la red la señal que viene de las tarjetas de MT o BT de los equipos PLC (Vite, 2013).

La figura 4.12, muestra los acoplamientos inductivos y los capacitivos cuando se inyectan entre fase y tierra y fase-fase.



Figura 4. 12 Unidad de acoplamiento inductivo BT y modos de inserción
(Energy Groove, 2013)

Filtros de Bloque y Unidades de Adaptación de Impedancias: Es necesario colocar filtros de bloque para eliminar las interferencias que se pueden inducir a otros usuarios u otras partes del edificio, así como, en ocasiones, usar unidades de adaptación de impedancias en la conexión eléctrica del domicilio.

Un **filtro paso alto** (HPF) es un tipo de filtro electrónico en cuya respuesta en frecuencia se atenúan las componentes de baja frecuencia, pero no las de alta frecuencia, éstas incluso pueden amplificarse en los filtros activos. La alta o baja frecuencia es un término relativo que dependerá del diseño y de la aplicación que se tenga con respecto a la aplicación de la tecnología PLC.

4.3.1.1 Proceso de Instalación Residencial

En lugares que se ha implementado PLC, como en España por Iberdrola, se han ejecutado estas etapas:

Levantamiento de la red eléctrica. Al no tener esquemas bifilares, debe hacerse un levantamiento de la red eléctrica para conocer la calidad de la red y elaborar un plano de la misma como base para la instalación. Según las longitudes y las condiciones de la red, esta etapa puede tomar más tiempo, regularmente es más de una semana por transformador (Vite, 2013).

Instalación del módem de cabecera (HE), se instala estratégicamente para que la señal introducida en un sólo punto permita conectividad en todo el bloque (Vite, 2013), tal como se ilustra en la figura 4.10.



Figura 4. 13. Esquema instalación de una red PLC

Fuente: (Vite, 2013)

Se debe considerar que se ubique físicamente en un lugar seguro y protegido. En algunas pruebas piloto, la inyección de la señal del

módem de cabecera sobre la red eléctrica se ha realizado después del contador (medidor) y antes de los tableros de distribución de cada vivienda. Una vez realizada la inyección se pudo verificar que los parámetros de señal observados eran adecuados para poder disponer de conectividad PLC en todos los puntos de la casa

Comprobaciones de cobertura. A continuación, se pasa a verificar el grado de cobertura de la señal PLC en la red eléctrica de los centros, lo que permite comprobar la calidad de la transmisión en los diferentes puntos y la evaluación tanto de la necesidad de eventuales equipos repetidores en la red PLC como la posible ubicación de los mismos.

Realización de un mapa de la red PLC. Una vez realizadas las pruebas pertinentes se procede a configurar un mapa de la red PLC, con todos los datos sobre la ubicación del HE, los repetidores y los equipos de usuario CPE.

Instalación de Equipos Internos. Finalmente se deberá proceder a la instalación de los equipos CPE en sus correspondientes ubicaciones.

4.3.2 Escenario de comunicación integrando PLC con red Smart Grid

Se pueden aprovechar las líneas eléctricas a través de la tecnología PLC que llega a transmitir con banda ancha superior a una señal inalámbrica. Con el enfoque Smart Grid se puede desplegar la planificación y gestión del desarrollo espacial urbano de la Nueva Agenda Urbana entregado por la Naciones Unidas. El apartado 122, indica que deben desarrollar tecnologías de comunicación que impacten menos en el medio ambiente de una ciudad: A fin de fomentar su adopción en los sectores de los usuarios finales, como edificios residenciales, comerciales e industriales, la industria, el transporte, los desechos y el saneamiento, se fomentará la adopción de códigos y normas de edificación, objetivos de cartera renovables, el etiquetado de la eficiencia energética, la adaptación de los edificios existentes y políticas de adquisición pública en materia de

energía, entre otras modalidades, según proceda, a fin de alcanzar los objetivos de eficiencia energética”.

También se dará prioridad a los sistemas eléctricos inteligentes de distribución por distritos y a los planes de energía comunitarios para mejorar las sinergias entre las energías renovables y la eficiencia energética. (ONU-Hábitat, 2016).

En la figura 4.14 se muestra la conexión que facilita comunicar datos desde una subestación eléctrica utilizando PLC y su convergencia a la red eléctrica inteligente, cabe indicar que el paradigma SG implica medidores eléctricos ‘inteligentes’ en el hogar, casa ‘inteligente’ (domótica), artefactos eléctricos con capacidad de conexión a internet.

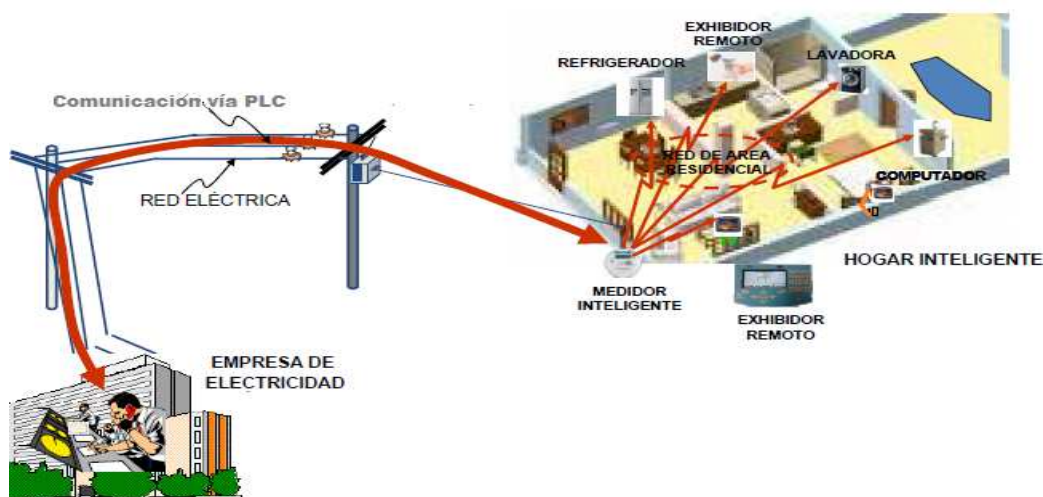


Figura 4. 14 Representación del uso de PLC como tecnología para Smart Grid

Fuente: (Vidrio, 2011)

El objetivo particular de Smart Grid, es la creación de un consumidor ‘inteligente’, por medio de: la integración, en el control y gestión de los sistemas eléctricos, de la demanda activa; el desarrollo de la eficiencia energética de los consumidores finales.

Las redes de distribución conducen la energía eléctrica desde las líneas de transporte a alta tensión hasta los puntos en los que se realiza el consumo en empresas y domicilios particulares.

Conclusiones

- Se caracterizó las redes eléctricas de generación, transporte y distribución, sus estructuras, funcionalidad, servicios y componentes para la integración con las TIC's y lograr eficiencia en el monitoreo y control, para alcanzar la introducción de las SGs., estableciéndose que la generación en una central eléctrica y su red de transporte presentan pérdidas por las características propias de la red y muchas veces no se tiene información de lo que sucede en la red, ni capacidad eficiente de actuación sobre los elementos de la misma, esto repercute en baja eficiencia del proceso de distribución del servicio eléctrico, así la energía facturada y la disponible son elevadas con una tendencia de aumento año tras año. Los índices de pérdidas miden el nivel de progreso de una empresa distribuidora y por consecuencia, el progreso de una colectividad. Las redes inteligentes permiten un control adecuado a las condiciones del sistema en cada momento de forma más automatizada, reduciendo las pérdidas y mejorando la eficiencia del control.
- Para fundamentar el uso de PLC como alternativa para comunicaciones en las SGs., se caracterizó el canal PLC describiéndolo por su función de transferencia, el escenario de ruido, la impedancia de acceso y la atenuación de la señal en el canal PLC, que es variable en el tiempo y en la frecuencia, y la determinación del mismo depende de las particularidades físicas y eléctricas de la red la cual a menudo es desconocida. El canal PLC multi trayecto se puede caracterizar por la distribución estadística

de Rayleigh, ya que la naturaleza estadística variable en el tiempo de la envolvente de la señal recibida se predice bastante bien por medio de esta distribución. El uso de modulaciones OFDM en transporte de datos en un entorno doméstico presenta mejor desempeño y es robusto al ruido del canal PLC. Investigaciones comprueban que mayor inmunidad al ruido se logra con esquemas digitales que modulan la información binaria en la frecuencia (FSK) o en la fase (BPSK), respecto del esquema que modula los datos en la amplitud (ASK), debido a las características aditivas del ruido impulsivo.

- Se efectuó una profundización en el uso de PLC de banda ancha en líneas de baja tensión, con énfasis en interiores, estableciéndose que mediante PLC de banda ancha se tiene una transmisión superior a una señal inalámbrica. El enfoque Smart Grid implica medidores eléctricos ‘inteligentes’, el hogar ‘inteligente’ (domótica), artefactos eléctricos con capacidad de conexión a internet, entre otras aplicaciones. El objetivo particular de Smart Grid, es la creación de un consumidor ‘inteligente’, por la integración, en el control y gestión de los sistemas eléctricos, de la demanda activa; el desarrollo de la eficiencia energética de los consumidores finales.
- Por lo descrito en los numerales anteriores, en este trabajo se ha conseguido caracterizar las redes de distribución de la energía eléctrica en baja tensión, enfocando la misma hacia aquellos aspectos determinantes en la implementación de sistemas PLC, lo

cual constituye el objetivo principal especificado para esta investigación.

Recomendaciones

Desarrollar experimentos con modulación OFDM en etapas de Alta Tensión de la red eléctrica.

Los fabricantes de equipos y dispositivos PLC deben cumplir con la interoperabilidad para la comunicación en la red eléctrica inteligente.

Que exista un marco legal para que empresas utilicen y exploten servicios a través de PLC.

Educar e involucrar a los usuarios para la masificación de PLC.

Planificar procesos de mantenimiento para una mayor fiabilidad, seguridad y eficiencia, en el desempeño de la red PLC y su integración con la Smart Grid.

Que investigadores profundicen estudios en modulaciones eficientes para el canal PLC por ser una tecnología emergente para la integración con Smart Grid.

El aumento de equipos y dispositivos en una red eléctrica inteligente puede ser blanco de ciber ataques, se recomienda sistemas de seguridad avanzada para proteger las comunicaciones de la empresa eléctrica distribuidora como de usuarios.

Bibliografía

- Álvarez, J., García, V., González, D., González, G., Rodríguez, D., Rubio, M., y otros. (2012). *Transmisión de datos por la red eléctrica*. Obtenido de <http://www.victorgarcia.org/files/PLC-v2.0RC.pdf>
- Amirshahi, P., Navidpour, S., & Kavehrad, M. (2006). Performance Analysis of OFDM Broadband Communications System Over Low Voltage Powerline with Impulsive Noise. *IEEE*. 1-4244-0355-3, 367-372.
- Babic, M., Hagenau, M., Dostert, K., & Baush, J. (2005). Theoretical postulation of plc channel models, Tech. rep., the OPERA IST Integrated. 178-183.
- Bañon, J., Casado, J., & Rodríguez, M. (2007). *PLC (Power Line Communications)*. Obtenido de <http://www.tsc.uc3m.es/docencia/SyCT/docencia/SyCT/2007/PLC.pdf>
- Bastidas, H. (2015). *Caracterización de las redes eléctricas para uso en BPL*. Madrid: Acámica Española.
- Bernhard, E., & Strange, E. (1998). *Digital Telephony and Network Integration*. Nueva York. USA: Springer.
- Berrío, L., & Zuluaga, C. (2014). *Smart Grid y la energía solar fotovoltaica*. Obtenido de Ingeniería y Desarrollo, vol. 32, núm. 2: <http://www.redalyc.org/pdf/852/85232596010.pdf>
- Brookside Strategies. (2012). *Origins and Evolution of the Electric Grid*. Obtenido de <http://www.brooksidestrategies.com/resources/origins-and-evolution-of-the-electric-grid/>
- Budka, K. (2014). *Communication Networks for Smart Grids: Making Smart Grid Real*. Londres. Inglaterra: Springer.
- Bustillo, R. (2008). *Banda Ancha sobre Red Eléctrica o BPL*. Obtenido de Andean Lawyers: http://www.andeanlawyers.com/banda_ancha_sobre_red_electrica_.htm
- Cañete, F., Cortés, J., & Diez, L. (2011). *A Channel Model Proposal for Indoor Power Line Communications*. Obtenido de IEEE Communications Magazine, Vol. 49. pp. 166-174.: http://www.plc.uma.es/articulos/A_Channel_Model_Proposal_for_Indoor_Power_Line_Communications_2011.pdf

- CEE. (2013). *Una guía de la industria eléctrica en México*. Obtenido de <http://www.beg.utexas.edu/energyecon/2013%20S.pdf>
- Chong Escobar, A., & Menéndez Sánchez, J. (2006). *“Diseño e implementación de la última milla del servicio de Internet usando las redes eléctricas de media y baja tensión de un sector de la ciudad de Guayaquil usando la tecnología Power Line Communications (PLC)”*. Obtenido de ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL - Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/94378/D-84141.pdf>
- Elek, F. (2010). *Theory and applications of multiconductor transmission line analysis for shielded sevenpiper and related structures*. Obtenido de University of Toronto: https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/26146/3/Elek_Francis_201011_PhD_thesis.pdf
- Energy Groove. (2013). *La red eléctrica*. Obtenido de <http://www.energygroove.net/technologies/electrical-grid/>
- Eveliux. (2010). *Modelo de un sistema de comunicaciones*. Obtenido de <http://www.eveliux.com/mx/Modelo-de-un-sistema-de-comunicaciones.html>
- FEDIT. (2011). *SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA*. Obtenido de http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf
- Ferreira, H., Lampe, L., Newbury, J., & Swart, T. (2010). *Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and BPL*. Nueva Delhi, India: Wiley.
- Garvía, L. (2011). *Economía sostenible. "Redes inteligentes" - Smart grids*. Obtenido de http://garvia.blogspot.com/2011_11_01_archive.html
- Global Electricity. (2013). *Definición de Smart Grids*. Obtenido de <https://globalelectricity.wordpress.com>
- González, R. (2012). *LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU LARGO RECORRIDO*. Obtenido de <https://twenergy.com/a/el-largo-viaje-de-la-electricidad-211>

- Grami, A. (2016). *Introduction to Digital Communications*. San Diego, USA: Academic Press-Elsevier.
- Grupo IEEE. (2010). *IEEE Std 1901-2010, IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*. Obtenido de <http://grouper.ieee.org/groups/1901/>
- Guimaraes, D. (2010). *Digital Transmission: A Simulation-Aided Introduction with VisSim/Comm*. Heidelberg: Springer.
- Hossain, E., & Zhu, H. (2012). *Smart Grid Communications and Networking*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Hosseinpournajarkolaei, A., Jahankhani, H., & Hosseinian, F. (2014). *Vulnerability Considerations for Power Line Communication's (PLC) Supervisory Control and Data Acquisition*. Obtenido de International Journal of Electronic Security and Digital Forensics (IJESDF), Vol. 6, No. 2, : <http://www.inderscienceonline.com/doi/full/10.1504/IJESDF.2014.063108>
- Huidrobo, J. (2012). *PLC. ¿Una alternativa para el acceso?* Obtenido de <https://www.coit.es/publicac/publbit/bit136/quees.pdf>
- ILCE. (2010). *Desarrollo de las máquinas eléctricas*. Obtenido de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_11.htm
- ITS. (2014). *Las redes inteligentes*. Obtenido de <http://itsct.edu.ec/portal/index.php/component/content/article?id=215>
- ITU. (2012). *Logros de los últimos cuatro años*. Obtenido de <https://itunews.itu.int/es/3378-Logros-de-los-ultimoscuatro-anos.note.aspx>
- Jáuregui, E. (2012). *Recepción y distribución de señales de radiodifusión. ELES0108*. Antequera, Málaga: IC.
- Koutny, M., Krajsa, O., & Mlynek, P. (2009). *Modelling of PLC communication for supply networks*. In *Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Communication*. Obtenido de p-p. 185-189. ISBN: 978-960-474-098-7.
- Lo, Y., & Lee, S. (2013). *Antenna Handbook: Theory, Applications and Design*. New York: Springer.

- Lorenzo, M. d. (2000). *Influencia del Ruido Gaussiano Correlacionado en la Sincronización de Sistemas Caóticos*. Obtenido de Universidad de Santiago de Compostela: http://www.usc.es/export/sites/default/en/investigacion/grupos/gfnl/documents/thesis/tesis_Lorenzo.pdf
- Millán, J. (2014). *Configuración de infraestructuras de sistemas de telecomunicaciones*. Madrid: Paraninfo.
- MINTEL . (2016). *Dirección de Políticas de Empresas de Telecomunicaciones y Tecnología de la Información y Comunicación*. Obtenido de PROYECTO: K002 MINTEL - PROGRAMA NACIONAL DE DESARROLLO DE LA BANDA ANCHA: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/01/PROGRAMA-NACIONAL-DE-DESARROLLO-DE-LA-BANDA-ANCHA.pdf>
- Mlynek, P., Koutny, M., & Misurec, J. (2010). *OFDM model for power line communication*. Obtenido de LATEST TRENDS on COMMUNICATIONS and INFORMATION TECHNOLOGY: ISBN: 978-960-474-207-3
- O&P. (2014). *La última milla en PLC*. Obtenido de <http://www.ordenadores-y-portatiles.com/ultima-milla.html>
- Ordoñez, J., & Nieto, L. (2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de Distribución*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2119/15/UPS-GT000156.pdf>
- Ortiz, G. (2017). *El Ecuador no despegó en lo digital*. Obtenido de <http://www.planv.com.ec/ideas/ideas/el-ecuador-no-despega-lo-digital>
- Pasión-Móvil. (2015). *EMULADOR Y SIMULADOR: DIFERENCIAS*. Obtenido de <http://www.poderpda.com/noticias/emulador-y-simulador-diferencias/>
- Pejanovic, M., Kocan, E., & Prasad, R. (2012). *Ofdm Based Relay Systems for Future Wireless Communications*. Aalborg. Dinamarca: River.
- Peralta, A., & Amaya, F. (2013). *EVOLUCIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS HACIA SMART GRID EN PAÍSES DE LA REGIÓN ANDINA*. Obtenido de Revista Educación en Ingeniería Vol. 8, N°. 15, pp. 48-61 ISSN 1900-8260.

- Piñero, J., Cortés, J., Malgosa, J., Cañete, F., & Manzanares, P. (2014). *Analysis and improvement of multicast communications in HomePlug AV-based in-home networks*. Obtenido de Elsevier: http://www.plc.uma.es/articulos/Analysis_and_improvement_of_multicast_communications_in_HomePlug%20AVbased_in_home_networks_2014.pdf
- PLC Málaga. (2014). Obtenido de <http://www.plc.uma.es/index.htm>
- Purkayastha, B., & Sarma, K. (s.f.). *A Digital Phase Locked Loop based Signal and Symbol Recovery System for Wireless channel*. Guhawati. India: Springer.
- Ramírez, S. (2014). *Redes de Distribución de Energía*. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/3393/1/958-9322-86-7_Parte1.pdf
- Rohling, H. (2011). *OFDM: Concepts for Future Communication Systems*. Hamburgo. Alemania: Springer.
- Santos, H. D., Sturm, C., & Pontes, J. (2015). *Radio Systems Engineering: A Tutorial Approach*. California. USA: Springer.
- Suárez, R. (2010). *Tecnologías de la Información Y la Comunicación*. Madrid. España: Ideas Propias.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación.
- Tonello, M., Lampe, L., & Swar, T. (2016). *Power Line Communications: Principles, Standards and Applications*. Nueva Delhi. India: Wiley.
- UIT. (2011). *ITU approves new worldwide smart grid standards*. Obtenido de http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2011/CM16.aspx#.V3GGrrvhDIU
- Vargas, C., & López, W. (2007). *Sistemas de Comunicación Inalámbrica MIMO - OFDM*. Obtenido de *Revistas Bolivarianas*: vol.3 no.4. http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892007000200009&lng=en&nrm=iso
- Vite, R. (19 de Diciembre de 2013). *Estudio y diseño de una red de aresa local bajo PLC para el laboratorio de Electricidad de la FETD-UCSG*. Recuperado el 2016, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1702/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-11.pdf>

Xiao, Y. (2012). *Communication and Networking in Smart Grids*. Boca Raton, USA: CRC Press.

Zimmermann, M. (2002). *A multipath model for the powerline channel* *IEEE Trans. Commun.*, 50 (4) pp. 553-559.

GLOSARIO

AMI Advanced Metering Infrastructure, Infraestructura de Medición Avanzada.

AMM Automated Meter Management, Gestión automatizada del medidor

AMR Automatic Meter Reading, Lectura automática de medidores

BPL Broadband over Power Line, Banda ancha sobre Líneas eléctricas.

BPSK Binary phase-shift keying. Desplazamiento de fase binario.

HAN Home Area Network, Red de área doméstica.

IEC International Electrotechnical Commission, Comisión Electrotécnica Internacional

IED Intelligent Electronic Devices, Dispositivos electrónicos inteligentes

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

IP Internet Protocol, Protocolo Internet

LAN Local Area Network

MT Media Tensión

NIST National Institute of Standards and Technology

OSI Open System Interconnection, Sistema abierto de interconexión.

PLC Power Line Communication, Comunicación por líneas eléctricas.

QAM Quadrature amplitude modulation, Modulación por amplitud de cuadratura.

QPSK Quadrature phase-shift keying. Desplazamiento de fase binario por cuadratura.

RTU Remote Terminal Unit, Unidad terminal remota

SCADA Supervisory Control And Data Acquisition, Control de Supervisión y Adquisición de Datos.

TCP Transmission Control Protocol, Protocolo de control de transmisión.

TI Tecnologías de la Información.

TIC Tecnologías de la Información y la Comunicación.

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, Receptor-Transmisor
asíncrono universal.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Moncayo Asitimbay John Dennys**, con C.C: # **0919032920** autor/a del trabajo de titulación: **Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en las redes energéticas inteligentes (Smart Grids)** previo a la obtención del título de **Magíster 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, 16 de Junio de 2017

f. _____

Nombre: **Moncayo Asitimbay John Dennys**

C.C: **0919032920**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Caracterización de las redes eléctricas para su empleo en las redes energéticas inteligentes (Smart Grids)		
AUTOR(ES)	Moncayo Asitimbay John Dennys		
REVISOR(ES)/TUTOR	MSc. Orlando Philco Asqui; MSc. Luis Córdova Rivadeneira / MSc. Manuel Romero Paz		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de junio de 2017	No. DE PÁGINAS:	81
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes eléctricas, Redes Inteligentes, Modulaciones, Comunicaciones por líneas eléctricas, Modelación, Monitoreo		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	PLC, BPL, OFDM, SMART GRID, MATLAB		
RESUMEN/ABSTRACT: El avance de tecnologías para la supervisión o monitoreo de variables en sectores industriales o residenciales, ha permitido que la diseñado para la propagación de señales de telecomunicaciones (voz, video constituya la plataforma para la comunicación y control de la infraestructura de red eléctrica entre la red de distribución y el usuario a través de las líneas eléctricas. PLC presenta características especiales, ya que converge en dos entornos diferentes: las telecomunicaciones y la electricidad. Actualmente la transmisión de información utilizando PLC ha adquirido una importancia vital para su uso en las llamadas redes energéticas inteligentes Smart Grid (SG). Existe poco conocimiento acerca del desempeño de PLC en las redes energéticas inteligentes. Ante ello el presente trabajo de investigación caracteriza aspectos técnicos determinantes en las redes de transporte y distribución de la energía eléctrica. El alto nivel de atenuación (pérdida de señal o datos) de acceso a los cables de alimentación de PLC tuvo dos efectos importantes por investigar; la red de transporte y red de distribución aspectos donde la tecnología Smart Grid está inmerso pues es en estas dos redes donde se emplea hardware y software de SG. Por lo anterior se hace necesaria una detallada caracterización de dichas líneas en lo concerniente a sus estructuras, funcionalidad, servicios y elementos componentes que permita la toma de decisiones acertadas para el despliegue de la mencionada tecnología. El énfasis estará en las líneas de Baja Tensión (BT) para transmisión en banda estrecha y banda ancha.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-987335677	E-mail: celec_jm@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):::	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail: manuel.romero@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):			