

**ARQUITECTURA DE RED LOCAL PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN
BANDA ANCHA MEDIANTE LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN**



ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA**

2012

**ARQUITECTURA DE RED LOCAL PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN
BANDA ANCHA MEDIANTE LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN**

ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO

**Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería de Sistemas e
Informática**

Director de la investigación:

Sergio Fernando Castillo Castelblanco

Doctor en Ingeniería de Sistemas Telemáticos

Magíster en Informática, Ingeniero de Sistemas

Codirector de la investigación:

Pedro Javier Trujillo Tarazona

Magíster en Informática, Ingeniero de Sistemas

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

A Dios, A mis padres Alirio y Lucia con todo mi amor y a mis hermanos German y Yorguin.

AGRADECIMIENTOS

Al autor agradece a:

Sergio Fernando Castillo Castelblanco, Doctor en Ingeniería de Sistemas Telemáticos, por su apoyo como director de la investigación.

Pedro Javier Trujillo Tarazona, Magister en informática, por su apoyo como codirector de la investigación.

Glenn Elmer Hernández Camelo, Magíster en telecomunicaciones por sus recomendaciones en el desarrollo del libro.

La Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, por su educación brindada y por el apoyo para la ejecución del proyecto.

Sus padres, hermanos y demás familiares, por el apoyo durante toda su carrera profesional.

Su novia por el apoyo incondicional durante todo el proceso de estudio de la maestría.

Sus amigos por estar presentes en los momentos importantes de su desarrollo tanto profesional como personal.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos Específicos.....	21
2. POWER LINE COMMUNICATION PLC	22
2.1 Concepto	22
2.2 Historia.....	22
2.3 Características de una red PLC de banda ancha	25
2.4 Elementos que componen una red plc	25
2.5 Estandarización del PLC en Banda Ancha (IEEE P1901)	28
2.6 Arquitectura de red.....	31
2.6.1 Arquitectura de red PLC.....	31
2.7 Estado del arte	32
2.7.1 A nivel internacional.....	32
2.7.2 A nivel nacional y regional	37
3. LA RED ELÉCTRICA	39
3.1 Distribución de una red eléctrica	39
3.1.1 Centros de generación	39
3.1.2 Líneas de transporte en alta tensión (AT).....	39
3.1.3 Estaciones transformadoras.....	40
3.1.4 Líneas de distribución en media tensión (MT)	40
3.1.5 Centros de transformación de media a baja tensión	40
3.1.6 Líneas de distribución en baja tensión (BT).....	40

3.1.7 Aparatos de medida.....	41
3.2 Distribución eléctrica en Colombia	41
3.3 El ruido Eléctrico	41
3.3.1 Tipos de ruido que pueden afectar las señales PLC	42
3.3.2 Caracterización del ruido eléctrico	44
3.4 Impedancia.	45
3.4.1 Caracterización de la impedancia	45
4. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO Y DE LA IMPEDANCIA EXISTENTE EN LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN	47
4.1 Identificación de la red.	47
4.2 Medición de Ruido en la red eléctrica.....	53
4.3 Caracterización de la impedancia de la red eléctrica	62
4.4 Conclusiones del capítulo.....	65
4.5 Recomendaciones del capítulo	65
5. ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA DISPONIBLES EN EL MERCADO QUE PERMITAN LA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA.....	66
5.1 Tipos de MODULACIONES usadas en Tecnologías plc.	66
5.1.1 Tipos de modulaciones usadas por PLC que usan técnicas estándares	67
5.1.2 Tipos de modulaciones usadas por PLC que usan técnicas de espectro ensanchado	68
5.2 Tecnologías PLC por familia de circuitos integrados.	73
5.3 Dispositivos comercialmente disponibles.....	76
5.4 Conclusiones del capítulo.....	81
5.5 Recomendaciones del capítulo	82
6. DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE RED PARA UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS DE CÓMPUTO USANDO LA RED	

ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN DE LOS DATOS	83
6.1 Conclusiones del capítulo.....	86
6.2 Recomendaciones del capítulo.	87
7. PRUEBAS DE DESEMPEÑO DE DOS TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN.	88
7.1 Indicadores de rendimiento	88
7.2 Herramientas de medición	89
7.2.1 Iperf	89
7.2.2 D-ITG	90
7.2.3 Netperf	92
7.2.4 NetStress	92
7.2.5 MGEN	92
7.2.6 LANforge.....	93
7.2.7 Network Traffic Generator.....	93
7.2.8 Wlan Traffic Visualizer.....	93
7.3 Herramienta de trabajo seleccionada	94
7.4 Selección de las dos tecnologías a medir	94
7.5 Metodología aplicada.....	95
7.5.1 Resultados de las pruebas.....	97
7.5.2 Análisis de los resultados.....	103
7.5.3 Pruebas alternas	104
7.6 Desempeño del PLC ante transmisión de video digital.....	107
7.7 Conclusiones del capítulo.....	108
7.8 Recomendaciones del capítulo	110
8. METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR LA TECNOLOGÍA PLC EN EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.....	111
8.1 Metodología experimental.....	111

8.2 Conclusiones del capítulo.....	114
8.3 Recomendaciones del capítulo.	114
9. TABLA DE CUMPLIMIENTO	115
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
10.1 Conclusiones	116
10.2 Recomendaciones del capítulo	119
11. BIBLIOGRAFÍA.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de la red PLC.	26
Figura 2. Elementos de la red PLC.	27
Figura 3. Estado del arte.	37
Figura 4. Plano semisótano	49
Figura 5. Plano primer piso	50
Figura 6. Plano segundo piso	51
Figura 7. Plano tercer piso	52
Figura 8. Analizador de espectros TECTRONIX 2712.....	54
Figura 9. Esquema para interconexión entre analizador de espectros y red eléctrica	54
Figura 10. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase B semisótano.....	55
Figura 11. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase A primer piso	56
Figura 12. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase B segundo piso.....	56
Figura 13. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase C tercer piso	57
Figura 14. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el semisótano.....	58
Figura 15. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el primer piso	59
Figura 16. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el segundo piso.....	60
Figura 17. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el tercer piso	61
Figura 18. Toma ejemplo de la imagen mostrada por el analizador de espectros .	61
Figura 19. Generación de señales para caracterizar la impedancia de la red eléctrica	62
Figura 20. Belkin HD STARTERKIT.....	76

Figura 21. Dlink DHP-501AV.....	77
Figura 22. Netgear XAVB5001	77
Figura 23. Trendnet TPL-401E2K.....	77
Figura 24. Panasonic BL-PA300.....	78
Figura 25. Actiontec HPE200AVP.....	78
Figura 26. Bewan S200Wi-Fi	78
Figura 27. Hércules ePlug™ 200 Duo	79
Figura 28. Linksys PLEK400.....	79
Figura 29. Monster PowerNet 200 Ethernet Anywhere Starter Kit.....	79
Figura 30. Ovislink PL-DUO211	80
Figura 31. Planet PL-501	80
Figura 32. Micronet SP952	80
Figura 33. Plano semisótano	83
Figura 34. Plano primer piso	84
Figura 35. Plano segundo piso	84
Figura 36. Plano tercer piso	85
Figura 37. Conectividad en el puesto de trabajo.....	85
Figura 38. Conectividad al servicio de red de la universidad (Internet).....	86
Figura 39. Salto de onda para conectividad entre fases	87
Figura 40. jperf (interfaz gráfica de lperf).....	90
Figura 41. Interfaz gráfica para D-ITG	91
Figura 42. Esquema de implementación de un enlace de datos en la UIS.....	96
Figura 43. Toma de datos a 10 metros TRENDNET.....	98
Figura 44. Toma de datos a 20 metros TRENDNET.....	98
Figura 45. Toma de datos a 50 metros TRENDNET.....	99
Figura 46. Toma de datos a 70 metros TRENDNET.....	100
Figura 47. Toma de datos a 10 metros BELKIN	101
Figura 48. Toma de datos a 20 metros BELKIN	101
Figura 49. Toma de datos a 50 metros BELKIN	102
Figura 50. Toma de datos a 70 metros BELKIN	102

Figura 51. Pruebas en diferentes ambientes	104
Figura 52. Pruebas sometido a ruidos constantes	105
Figura 53. Pruebas sometido a ruidos impulsivos.....	106
Figura 54. Esquema de conectividad para pruebas video <i>streaming</i>	107
Figura 55. Interconexión entre fases usando puente inalámbrico.....	113
Figura 56. Interconexión entre fases con cable UTP	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el semisótano.....	57
Tabla 2 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el primer piso	58
Tabla 3 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el segundo piso.....	59
Tabla 4 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el tercer piso	60
Tabla 5 Toma de datos y cálculo de impedancia en el edificio	63
Tabla 6. Descripción del <i>chipset</i> DS2	74
Tabla 7. Descripción del <i>chipset</i> ATHEROS.....	75
Tabla 8. Descripción del <i>chipset</i> GIGLE NETWORKS.....	76
Tabla 9 Equipos PLC con mayores velocidades disponibles en el mercado por marcas	81

RESUESPA

TITULO: ARQUITECTURA DE RED LOCAL PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA MEDIANTE LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN *

AUTOR: ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO**

PALABRAS CLAVES: banda ancha, red de datos, red eléctrica, rendimiento, transmisión de datos.

CONTENIDO:

Analizando el estado del arte de las redes de datos en banda ancha a través de un cableado eléctrico se observa que ha sido un tema de interés en países Europeos. En Diciembre del 2010 es aprobada por parte de la IEEE el estándar P1901 para este tipo de redes. El presente trabajo de investigación consistió en verificar el funcionamiento de esta tecnología en construcciones locales y para ello se tomó como referencia un edificio dentro de la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga (Colombia). Se analizaron las condiciones actuales de la red eléctrica del edificio, se consiguieron módulos competitivos actualmente en el mercado que cumplieran con la reciente estandarización de la IEEE para evaluar su desempeño. Para ello se implementó una red y se tomaron datos que permitieron verificar su rendimiento. Como resultado a la investigación, se propone una arquitectura de conectividad para la instalación de esta tecnología para este edificio y se plantea una metodología para hacerlo en edificios similares. El éxito del proyecto fue demostrar que esta tecnología es competitiva en el mercado, que es compatible con las redes Ethernet actuales, que se acopla al trabajo en paralelo con otras tecnologías de red y que tiene un excelente funcionamiento en edificaciones locales.

* Proyecto de Grado

** Facultad Físico Mecánicas Escuela de Sistemas.

Director Sergio Fernando Castillo Castelblanco

Codirector Pedro Javier Trujillo Tarazona

RESUINGLES

TITLE: LOCAL NETWORK ARCHITECTURE FOR DATA TRANSMISSION BY BROAD BAND LOW VOLTAGE POWER SUPPLY *

AUTHOR: ARIEL YEZID VILLARREAL SOLANO**

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

CONTENT:

Analyzing the state of the art data networks to broadband through electrical wiring is observed which has been a topic of interest in European countries. In December of 2010 is approved by the IEEE P1901 standard for such networks. This research work was to verify the operation of this technology in local construction and for that we took as a building within the Industrial University of Santander in Bucaramanga (Colombia). We analyzed the current condition of the building's electrical network, managed modules are competitive on the market that met the recent standardization of the IEEE to evaluate its performance. This network was implemented and that data were used to verify performance. As a result of research, we propose an architecture connectivity for the installation of this technology to the building and proposes a methodology to do so in similar buildings. The success of the project was to demonstrate that this technology is competitive in the market, which is compatible with existing Ethernet networks, which couples to work in parallel with other network technologies and has excellent performance in local buildings.

* Proyecto de Grado

** Facultad Físico Mecánicas Escuela de Sistemas.

Director Sergio Fernando Castillo Castelblanco

Codirector Pedro Javier Trujillo Tarazona

GLOSARIO

BPL	Broadband power line
BPSK	Biquinary phase shift keying
Bridge o puente inalámbrico	Usado para radioenlaces en redes inalámbricas
BT	Baja tensión
DSSS	Direct sequence spread spectrum
ETHERNET	Estandar usado en redes
HERTZ	Ciclos de una señal por unidad de tiempo
HF	High frequency
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers,
LF	Low frequency
MAC	Control de acceso al medio
MODEM	Equipo que modula y demodula
MT	Media tensión
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
PLC	Power Line Communicatio
QAM	Quadrature amplitud modulation
QPSK	Quadrature phase shift keying
RF	Radiofrecuencia
Turbo convolutional coding	Tipo de codificación usada para detección de errores
UTP	Par trenzado de cobre Usado en redes Ethernet

INTRODUCCIÓN

Con el transcurrir del tiempo ha aumentado la necesidad en la sociedad de la utilización de sistemas de comunicación para la transmisión de datos, en consecuencia, diferentes empresas han ofrecido varias opciones para satisfacer dichas necesidades. Primero fueron los módems que con su conexión vía audiofrecuencia a través de las redes telefónicas, eran limitadas en ancho de banda y en consecuencia no permitían conexiones rápidas.

Fue así que surgieron nuevas tecnologías de banda ancha [1], el envío de datos por otras frecuencias diferentes a las del audio que dio vida a lo que conocemos actualmente como xDSL, o tecnologías de transmisión a través de cable coaxial donde utilizando un modulador demodulador llamado cable modem se transmiten los datos mediante modulación a frecuencias diferentes a las convencionales utilizadas por televisión y de esta manera operadores de televisión por cable ofrecen servicio de datos e internet.

Una alternativa que se suma a las anteriores son las redes de datos inalámbricas, de las cuales se destacan el wifi y el bluetooth.

La presente investigación ha surgido debido a la motivación en la implementación de un sistema diferente de comunicaciones denominado “Comunicación por el cableado eléctrico” (o en inglés Power Line Communication) que desde ya hace algunos años se viene utilizando en la transmisión de audio y de algunos datos en banda angosta pero que hoy en día pretende atender la demanda de una “banda ancha real”[2]. Esta tecnología consiste en utilizar las líneas de distribución eléctricas que llegan a todas las casas, edificios, industrias, etc. para la transmisión de información de manera segura.

Desde inicios de los 90 [3] en países europeos se han hecho intentos fuertes para su implementar este sistema como medio de transmisión de banda ancha. En Inglaterra y Alemania no se dieron resultados positivos, pero España que continuó trabajando en pruebas piloto de este sistema hoy en día se destaca por mantener competente esta tecnología ante otras que ofrece el mercado.

Se podría decir que en los últimos tiempos ha habido un incremento en el uso de esta tecnología a nivel mundial como una alternativa a los sistemas convencionales de comunicaciones, los cuales requieren sus propios cableados. En el caso de una red local inalámbrica se requiere de un medio de transmisión guiado para la conexión de los puntos de acceso por lo tanto puede una tecnología cableada trabajar en conjunto con ella.

Además, no en todo lugar se puede implementar una red inalámbrica ya que puede presentar problemas si su ambiente posee ruido electromagnético que le cause interferencia.

Power Line Communication (PLC) a partir del año 2004 ya ha ofrecido velocidades sobre los 2 Mbps [3] y por tal hecho se considera actualmente como una tecnología de banda ancha, gracias a sus notables avances, en un intento de estandarización, PLC pasa a llamarse BPL Broadband over Power Line.

En junio de 2005, veinte (20) compañías bajo el patrocinio de la sociedad de comunicaciones de la IEEE acordaron formar un grupo de trabajo denominado IEEE P1901 [4]. Con la meta de desarrollar un estándar con velocidades mayores a los 100 Mbps en la capa física utilizando frecuencias inferiores a 100 Mhz. En diciembre 30 de 2010 el estándar fue finalizado.

El presente trabajo verificó el funcionamiento de una red PLC dentro de las instalaciones del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander y mediante este estudio reflejar resultados en edificios de similares condiciones. Inicialmente se presentan los objetivos que limitan los alcances del proyecto, seguido de un marco teórico como refuerzo a conceptos necesarios para el desarrollo de la investigación. El cuerpo del trabajo está enfocado al cumplimiento de los objetivos trazados, para finalizar resaltando los resultados y las conclusiones obtenidas con el trabajo.

1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una arquitectura de red que permita la transmisión de datos entre equipos de cómputo dentro del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander mediante la red eléctrica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una caracterización del ruido y de la impedancia existente en la red eléctrica de baja tensión del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander.
- Realizar un estudio de tecnologías de banda ancha disponibles en el mercado que permitan la transmisión de datos a través de la red eléctrica.
- Diseñar una arquitectura de red para un sistema de comunicación entre dispositivos de cómputo usando la red eléctrica de baja tensión como medio de transmisión de los datos.
- Realizar pruebas de desempeño de dos tecnologías de transmisión de datos a través de la red eléctrica de baja tensión del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander.
- Plantear la metodología para implementar la tecnología PLC en edificios de la Universidad Industrial de Santander, con características similares a la del edificio de Laboratorios Pesados, basado en los resultados obtenidos tras el cumplimiento de los objetivos anteriores.

2. POWER LINE COMMUNICATION PLC

2.1 CONCEPTO

El término “Power Line Communication” (PLC) o comunicación por la línea eléctrica es una tecnología de comunicaciones de datos basada en el transporte de información digital mediante la red eléctrica [1]. La señal PLC comparte la línea eléctrica, aunque hay que destacar que utiliza un rango de frecuencias de bajo tráfico. Este rango espectral se encuentra comprendido entre los 1.6 y los 30 Mhz hallándose en la banda HF.

La red eléctrica es la de más penetración en el mundo, donde hay servicio de energía eléctrica hay una red PLC en potencia. Utilizar la tecnología PLC para la transmisión de voz y datos localmente y conectar esa red a Internet mediante un acceso xDSL, docsis u otro, es una alternativa que podría ser favorable.

En la actualidad, esta tecnología ofrece una alternativa a la banda ancha ya que las PLC utilizan una infraestructura ya desplegada, como son los cables eléctricos. Basta un simple enchufe para estar conectado. Además, ofrece una alta velocidad, suministra servicios múltiples con la misma plataforma y permite disponer de conexión permanente.

Adicionalmente, al utilizar los cables eléctricos, como medio de transmisión, la instalación eléctrica domiciliaria se comporta como una red de datos en donde cada enchufe es un potencial punto de conexión [2].

2.2 HISTORIA

Existen diversos medios de transmisión de datos, pero cada uno de ellos tiene que ser instalado en su lugar de operación, la red eléctrica es una de las más antiguas y debido a esto es una de las de mayor cubrimiento. De allí surge la idea de utilizar el cable de dicha red para la transmisión de información, a esto se le bautizó como PLC o Power line carrier [1] [3], que consiste en llevar información a través de una portadora que va sobre una línea de potencia. El uso del PLC en sus orígenes se limitaba al control de las líneas eléctricas y a la transmisión a baja velocidad de las lecturas de contadores. Más adelante, las propias empresas eléctricas empezaron a utilizar sus propias redes eléctricas para la transmisión de datos a modo interno.

Desde hace más de una década, se vienen realizando experiencias piloto en distintos países [4][5], algunas veces con éxito y otras terminando en fracaso, sobre todo por los motivos económicos que no acaban de hacer viables los proyectos. En varios países sobretodo europeas, empresas le están apostando a esta tecnología, en España por ejemplo, empresas como Endesa, Iberdrola y Unión Fenosa, en Alemania RWE, en Francia RFE, en Italia ENEL y en el Reino Unido British Gas, en América compañías de Estados Unidos, están invirtiendo dinero y tiempo a esta tecnología. Se espera el lanzamiento de las primeras ofertas comerciales a lo largo de los próximos años, siguiendo los estándares desarrollados por el ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) y el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica).

En el año 2000 se creó el PLC Forum [6], que, con sede en Interlaken (Suiza), con más de 100 miembros entre fabricantes, operadores y otras organizaciones interesadas en su promoción y difusión. Empresas como APTEL Brazil, SPiDCOM Technologies Mitsubishi Materials Corporation, Premo SA, entre otras se encuentran asociadas a este foro.

La tecnología PLC tiene como objetivo competir en el mercado de las telecomunicaciones con las otras tecnologías. Para ello, su mejor estrategia es la de poseer una red que llegue al usuario final, en modo similar como las empresas telefónicas han aprovechado su red para llevarle a sus abonados servicios de internet y televisión. Sin embargo, aún habrá que esperar algún tiempo antes de que se desplieguen servicios comerciales basados en tecnología PLC.

Compañías en otros países han apostado por potenciar esta tecnología, que actualmente está consiguiendo unos rendimientos en capacidad de transmisión muy aceptables, llegando a superar los 10 Mbps. Se han realizado varias experiencias piloto en algunas ciudades y ante el éxito obtenido hay planes para extenderlas a otros núcleos urbanos y a un mayor número de hogares.

Por ejemplo, la compañía eléctrica Endesa de España puso en marcha dos pruebas piloto entre algunos de sus clientes con esta tecnología de transmisión de datos y voz a través del cable eléctrico, una en Barcelona y otra en Sevilla. La prueba de Barcelona se basó en la tecnología de la empresa suiza ASCOM, mientras que la de Sevilla se llevó a cabo con tecnología de la empresa valenciana DS2, con la que se están alcanzando velocidades muy altas. Se comprobó que la capacidad del sistema PowerLine superó en 10 veces la de la línea de conexión a Internet RSDI (64 kbps) y funciona a una mayor velocidad que el ADSL actual, requiriendo únicamente de un sencillo adaptador de señal en el enchufe. Además, su condición de línea eléctrica le permite la comunicación con los electrodomésticos y cualquier otro dispositivo eléctrico/electrónico, directamente por el propio cable de conexión a la red.

Ese mismo año (2000), veinte compañías interesadas en el tema se conforma el Home plug Alliance [7][8][9] y en Junio de 2001 se lanza la especificación HomePlug 1.0

En junio de 2005 se hacen mejoras con La especificación HomePlug AV, alcanzando velocidades de 200Mbps

Home plug Alliance Bajo el patrocinio de la sociedad en comunicaciones de IEEE acordaron formar el IEEE P1901 con el objetivo de desarrollar un estándar de alta velocidad basándose en el Home Plug AV.

El 30 de diciembre del año 2010 se acuerda el estándar IEEE P1901 para banda ancha el cual es el que se rige en la actualidad.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE UNA RED PLC DE BANDA ANCHA

Las características que permiten describir una red PLC de banda ancha son [10]:

- Velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps compartidos entre los usuarios.
- Proceso de instalación sencillo y rápido para el usuario final.
- Enchufe eléctrico (Toma única de alimentación, voz y datos.)
- Sin necesidad de obras ni cableado adicional.
- Equipo de conexión Modem PLC.
- Conexión de datos permanente (activa las 24 horas del día).
- Permite seguir prestando el suministro eléctrico sin ningún problema.
- Simetría del ancho de banda.

2.4 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA RED PLC

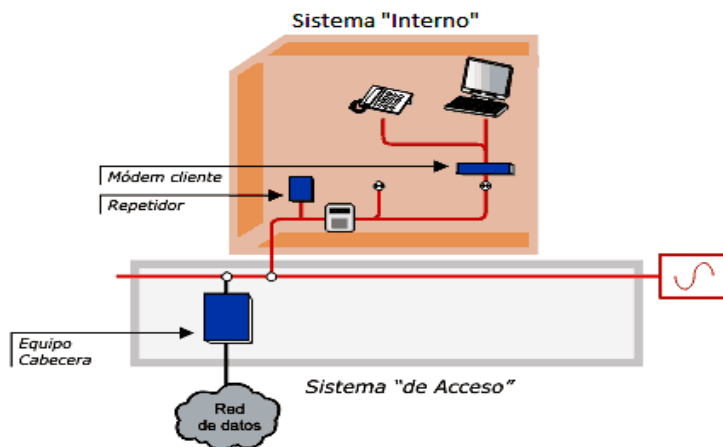
La arquitectura de esta red consta de dos sistemas formados por tres elementos [2]:

Primer sistema: (de Acceso), cubre el tramo de la red eléctrica que va desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el contador de consumo de energía eléctrica. Es administrado por un equipo cabecera que inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

Segundo sistema: (Interno), cubre el tramo que va desde el contador del usuario hasta todas las tomas de corriente ubicados en el interior de los hogares. Para comunicar los dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor, normalmente se instala cerca del contador de energía eléctrica.

El tercer y último elemento de la red PLC lo constituye el módem del cliente, que recoge la señal directamente de la toma de corriente. A este módem se pueden conectar un computador, un teléfono IP u otro equipo de comunicaciones compatible.

Figura 1. Sistemas de la red PLC.



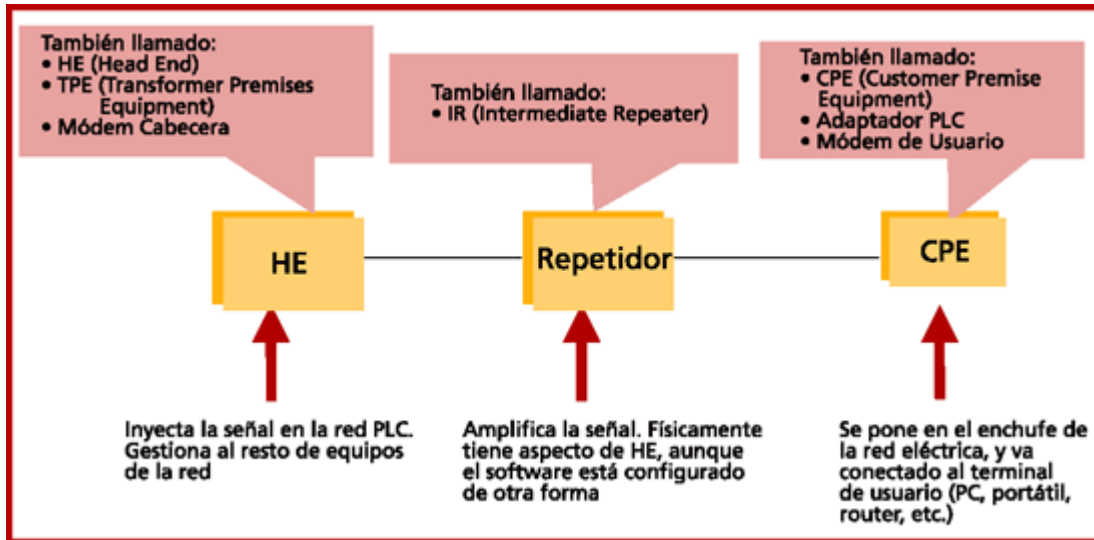
Fuente: <http://www.promaxelectronics.com>

En la tecnología PLC el equipo emisor emite señales de baja potencia en un margen de frecuencias varios miles de veces superior a los 60 Hz en donde opera la energía eléctrica. El hecho de que la energía eléctrica y los datos operen en

frecuencias muy distintas y distantes, permite que estos puedan compartir el medio de transmisión sin interferirse.

Elementos del sistema [5]:

Figura 2. Elementos de la red PLC.



Fuente: <http://www.promaxelectronics.com>

El componente principal en la topología de una red PLC es el HE (Head End), que se suele denominar también TPE (Transformer Premises Equipment) o MODEM de cabecera. Este equipo actúa como maestro y autentica, coordina la frecuencia y actividad del resto de equipos que conforman la red PLC de forma que se mantenga constante en todo momento el flujo de datos a través de la red eléctrica. Además permite conectar al sistema con la red externa (WAN, Internet, etc.) por lo que es el interfaz adecuado entre la red de datos y la red eléctrica. La elección de su ubicación es un aspecto clave de la arquitectura de una red PLC, ya que es esencial que la inyección de datos se produzca de forma ventajosa y permita proporcionar la máxima cobertura posible dentro de la red.

El CPE (Customer Premises Equipment), también conocido como adaptador o MODEM de usuario permite conectar un equipo a la red de datos establecida gracias al HE. Su misión es convertir cada toma eléctrica en un punto de red al cual poder conectar un equipo informático.

Tanto el HE como el CPE poseen una serie de elementos encargados de filtrar y separar la corriente alterna eléctrica (60 Hz de frecuencia) de las señales de alta frecuencia, que son las que soportan los servicios de VIDEO, datos, voz, etc.

En función de la solución PLC empleada, así como de la calidad y nivel de ruido de la instalación eléctrica de baja tensión, la distancia entre equipos oscila entre los 150 metros y los 400 metros sin necesidad de dispositivos intermedios regeneradores. Para los casos en los que el tendido eléctrico supera esas distancias se utilizan repetidores (IR, Intermediate Repeater), extendiendo así el alcance de la red. Estos dispositivos regeneran la señal, altamente degradada por la atenuación provocada por los cables eléctricos, asegurando la calidad en el enlace PLC. Por tanto, el repetidor aumenta la cobertura del servicio ofrecido y consigue unos elevados valores de throughput en lugares alejados del HE.

2.5 ESTANDARIZACIÓN DEL PLC EN BANDA ANCHA (IEEE P1901)

En la actualidad para mencionar las redes PLC que proporcionan servicios de telecomunicaciones de banda ancha y de alta velocidad de banda ancha es muy común utilizar el término BPL (Broadband over Power Lines).

Esta es una tecnología que está ganando popularidad debido a que ofrece a los clientes otra alternativa de servicios y a las empresas formas de rentabilizar las inversiones en infraestructuras, en tanto obtienen ingresos adicionales por la prestación de servicios avanzados de telecomunicaciones.

El IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) se encuentra trabajando en los proyectos enfocados en el área de las BPLs conformando grupos de trabajos con fines específicos, entre estos se encuentran el IEEE P1901, P1675 y el P1775, los cuales buscan desarrollar una serie de estándares para sistemas BPL que cubran los aspectos más importantes de dicha tecnología como lo son: la seguridad, compatibilidad electromagnética, medios, coexistencia e interoperabilidad. El estándar generado por cada grupo de trabajo toma el mismo nombre del grupo.

El **IEEE P1901** aprobó su primer estándar a finales del 2010 [11] y es conocido en la actualidad como el Estándar para redes de banda ancha por líneas eléctricas de potencia encargado de especificar la capa física y de control de acceso al medio. El objetivo de este estándar está enfocado para comunicaciones de alta velocidad (mayores a 100 Mbps en la capa física) entre dispositivos en sistemas BPL.

Este estándar trata sobre el uso eficiente del canal de comunicaciones, para lo cual especifica los mecanismos para la coexistencia e interoperabilidad entre dispositivos BPL, mecanismos de calidad de servicio y de ancho de banda; así como mecanismos de seguridad. El estándar solo cubre las capas física y de enlace de datos (MAC) definidas en el modelo de referencia OSI.

Entre sus principales características se encuentran:

- Modulación en frecuencias ortogonales OFDM
- Corrección de errores: Turbo convolutional coding
- Frecuencias de trabajo: menores a 100Mhz
- Frecuencias recomendadas: 1,6 a 30Mhz
- Velocidades de transferencia de datos: Superiores a 100Mbps

Sin embargo no sobra mencionar los otros proyectos en los que se encuentra trabajando:

- El IEEE P1675 es un estándar sobre dispositivos para banda ancha por líneas eléctricas de potencia cuyo objetivo es desarrollar un estándar para proporcionar protocolos para pruebas y verificación de dispositivos (hardware) comúnmente usado en sistemas BPL como acopladores, envolventes, así como métodos de instalación para asegurar el cumplimiento con los códigos y estándares relacionados [12].
- El IEEE P1775 es un estándar para equipo de comunicación de banda ancha por líneas eléctricas de potencia enfocado en la parte de requerimientos de compatibilidad electromagnética y métodos de medición y pruebas [13]. El objetivo de este proyecto es desarrollar un estándar para proporcionar consensos y criterios de compatibilidad electromagnética para equipos y sistemas BPL.

El grupo de trabajo IEEE 1901 inicia en el año 2005 y publicó su primer estándar en 2010.

La norma creada por el IEEE 1901 incluye dos capas físicas diferentes, una basada en OFDM y la otra basada en la modulación de ondas Wavelet. La OFDM se deriva de la tecnología HomePlug AV y la Wavelet proviene principalmente de Japón.

Además de estas dos capas físicas, y de sus correspondientes capas MAC enfocadas a la corrección de errores se realizaron dos enfoques diferentes para su implementación, una para la creación de redes en el hogar y otra para la red de acceso.

2.6 ARQUITECTURA DE RED

Una arquitectura de red es el recurso más efectivo en cuanto a costos para desarrollar e implementar un conjunto dispositivos que se puedan interconectar. La arquitectura es la metodología con la que se conectan una serie de protocolos de red para lograr el objetivo buscado en benéfico tanto para los usuarios de la red como para los proveedores de hardware y software.

La finalidad de toda arquitectura de red planteada es garantizar el cubrimiento total de las zonas sobre las cuales se pretende ofrecer servicios mediante la red.

2.6.1 Arquitectura de red PLC

Cuando se habla de una arquitectura de red PLC nos referimos a los dispositivos necesarios para la instalación de una distribución de datos por la red eléctrica dentro de un local, edificación, campus o área predeterminada.

Según el estándar P1901 [11] una arquitectura de red PLC es la conectividad entre equipos necesarios para la transmisión de datos usando como medio de transmisión un cableado de potencia eléctrica y garantizando flexibilidad y soporte para acceso integrado de servicios

Una arquitectura de rede debe incluir:

- Dispositivos con sus características
- Distribución física y topológica
- Tipos de conectividad

Y debe incluir las siguientes facilidades

- Proveer un consistente alto ancho de banda optimizando al máximo el uso de su medio de transmisión
- Mantener una baja latencia en la transmisión de datos
- Mantener una calidad de servicio

2.7 ESTADO DEL ARTE

2.7.1 A nivel internacional

La visión de una red eléctrica más inteligente que utiliza herramientas avanzadas de computación y comunicaciones para mejorar la confiabilidad, seguridad, calidad, de la producción de energía y entrega. La premisa es la disponibilidad de una plataforma de comunicaciones confiable y presente en todos lados que esté sobrepuesta al sistema eléctrico, donde PLC tiene el potencial de ser esa plataforma.

El desarrollo de los modelos de negocio simplificado de primer paso para sistemas PLC es necesario para proveer un enfoque temprano sobre los criterios claves técnicos y financieros, por medio de los cuales la inversión y el retorno de inversión podrían ser considerados. Es importante tanto para desarrolladores como inversionistas entender los retos técnicos y las oportunidades de negocio ofrecidas por PLC.

También se reporta el modelo de telecomunicaciones y el caso de negocios de PLC, que dada la intensidad de competencia de los servicios de cable -modem y DSL (Línea Digital de Suscriptor), no es probable que un sistema de acceso de PLC sea capaz de competir sobre una base de precio-desempeño.

La mayoría de los proyectos están orientados a proveer acceso de banda ancha a internet, pero algunos están también proveyendo TV por cable (CATV), voz y servicios de negocios [3].

PLC tiene a favor el reducir costos al usar la infraestructura existente, el servicio rural posible y pudiera permitir lectura remota de medidores. PLC tiene en contra que es una nueva tecnología que requiere de una instalación de equipos, no posee estándares a nivel mundial, pocas herramientas de administración, las empresas eléctricas no se han interesado en el mercado de banda ancha, el servicio rural sería costoso y preocupan las diferentes interferencias que se pueden encontrar en la red dependiendo de los equipos electrónicos y eléctricos que se encuentren conectados a la red.

Las empresas eléctricas pueden no necesariamente querer entrar al negocio de comunicaciones. Pueden querer dejar esa parte de PLC a un socio, quizás un ISP (Proveedor de Servicio de Internet), un portador de central telefónica local competitiva o una compañía de larga distancia, que buscan una alternativa de última milla para sus clientes.

El estándar IEEE P1901 – banda ancha sobre líneas eléctricas, menciona varias aplicaciones: conexión de primera milla/última milla a servicios de banda ancha (Internet, VoIP-Voz sobre IP, IPTV-Televisión IP), audio y video dentro del hogar, extensiones dentro del hogar de servicios de banda ancha, administración de redes de electricidad/lectura de medidores, LANs (Red de Área Local Inalámbrica) de edificios/oficinas, etc.

Las empresas eléctricas municipales se están expandiendo dentro de los servicios de telecomunicaciones y casan dos caminos potenciales para el crecimiento de la infraestructura de acceso de telecomunicaciones y servicios, como dueño público de las instalaciones de última milla y la expansión de la compañía eléctrica dentro

de las telecomunicaciones. Este análisis muestra que en estas empresas tendrán mejores ingresos si también proveen servicios de comunicaciones debido a que están relativamente cerca de áreas metropolitanas (costos más bajos de transporte); están en mercados con menos alternativas competitivas (limitada la disponibilidad del servicio de DSL y cable-modem); y que están menos impedidos por barreras regulatorias para introducirse (en comunidades que no restringen legalmente estos servicios de telecomunicaciones).

Para banda ancha se mencionan las tecnologías de fibra-al-hogar (FTTH), DSL, CATV, WiMAX y PLC, donde se pueden lograr velocidades de banda ancha de 30 Mbps o mayores.

Dentro de los temas en investigación y desarrollo se encuentran: Caracterización de la emisión electromagnética, Modelado de sistemas eléctricos como canales de comunicaciones, Mediciones y desarrollos experimentales para estandarización.

Por otro lado, los más fuertes oponentes son los radioaficionados, quienes establecieron que PLC es una amenaza letal al servicio de radioaficionados. Lo mismo sucede con las fuerzas armadas, las oficinas de gobierno, el sistema mundial de enlaces de radio de embajadas y la radiodifusión sobre onda corta, media y larga.

Se requiere controlar también la situación debajo de 30 Mhz a lo largo de los conductores, manteniendo una pacífica coexistencia de los varios servicios. Esto puede ser, entre otros, radiodifusión pública, servicios de seguridad, los militares, el servicio secreto, los radioaficionados y las bandas de seguridad aeronáutica.

Otros que están en riesgo son: Las “Ondas Cortas” – la única parte del espectro de radio que soporta larga distancia con comunicación de radio intercontinental.

Las ondas cortas se usan para Radiodifusión Internacional, Aeronáutica, Marítima, Recuperación de Desastres y otros servicios incluyendo los Militares [3]. Respecto al “VHF de Banda Baja” – este rango de frecuencias que es densamente usado

por los Departamentos de Bomberos Voluntarios, la Policía y otros de primera respuesta, y sistemas de Radiolocalización. Dependiendo de su distancia desde un sistema PLC, algunos sistemas de radio de Seguridad Pública y del Gobierno podrían recibir interferencia perjudicial.

Todavía se está considerando el posible impacto sobre los usuarios de radio y aparte de basarse en la estandarización sobre EMC (Compatibilidad Electromagnética), sería necesario conocer las posibles técnicas de mitigación cuando ocurrieran casos de interferencia sobre los usuarios de radio con el PLC de banda ancha, incluyendo pruebas de campo.

Aparte de la preocupación por la interferencia y que deben proteger los servicios de radio con licencia de cualquier interferencia perjudicial que podría ocurrir, también evaluar la utilidad de cualesquiera técnicas de mitigación de la interferencia (p.e. “notching” programable).

Por lo que se recomienda investigar las técnicas de mitigación de la posible interferencia, del posible aumento del ruido de fondo (que reduce la sensibilidad de los receptores) y la aplicación de filtrado (“notching”).

Cabe recordar que si alguien llega después y ocasiona interferencia perjudicial a un sistema ya autorizado, quien llegó después debe resolver esa interferencia y ambos deben de cumplir con lo que se les autoriza (cumpliendo así con la normatividad nacional e internacional aplicable).

Sin embargo, existen formas de entregar banda ancha que no contaminan el espectro de radio como lo hace el PLC. Éstas incluyen fibra-al-hogar, cable, DSL y banda ancha inalámbrica.

La respuesta correcta respecto a la tecnología para los “Carriers” (Portadores) de gobierno es probablemente inalámbrico fijo (WiMAX), usando espectro que requiere licencia.

La parte de la regulación aún no está definida, por lo que es necesario tomar en cuenta los estándares internacionales, los estándares de facto, las normas internacionales y nacionales, el PLC Forum, las organizaciones de desarrollo de estándares nacionales, regionales e internacionales, y la construcción de consensos, proyectos en sociedad y proponentes de tecnologías. Todo esto basado en: el lugar en el mercado, el espectro de radiofrecuencias, el aspecto regulatorio y la tecnología, incluyendo las tendencias.

Es necesario verificar si el desempeño del PLC es interferido por los rayos y por cargas como aparatos encendidos. Por otro lado, al haber la interrupción del suministro eléctrico, por alguna causa, aparte de no contar con energía tampoco se cuenta con el PLC y un parámetro que se puede considerar es el Tiempo de Interrupción de Usuario. También, tomar en cuenta la existencia de instalaciones eléctricas obsoletas.

Por otro lado, los beneficios para los usuarios finales, las empresas eléctricas y la sociedad, son por el lado de esta solución atractiva que combina voz, datos y energía a sus clientes. Como usuarios finales se benefician de servicios avanzados y competitivos, a las empresas eléctricas se les presenta una oportunidad de negocio única, ya que PLC introduce por primera vez una real competencia en la última milla en términos de costos y servicios.

La tecnología tiene una potencial competitivo: si se consigue una alta eficiencia se podría soportar el servicio de TV tipo cable, lo que quiere decir que el “triple play” (triple servicio: voz, datos y video) sería un servicio probablemente ofrecido por empresas distribuidoras de energía. Por otro lado, las empresas eléctricas nunca leerán medidores sobre cable, DSL o fibra.

Una evaluación estratégica de la tecnología PLC, muestra evidencias de que el PLC es una tecnología de acceso competitiva muy real para los servicios de

telecomunicaciones. Los resultados indicaron que muchas innovaciones tecnológicas no alcanzan el mercado debido a la falta de modelos de negocios apropiados.

Figura 3. Estado del arte.

CONCEPTO	HACE 10 AÑOS	HACE 5 AÑOS	HOY
Velocidad	Hasta 45 Mbps	Hasta 200 Mbps	500 Mbps
Instalación	Compleja	Procedimentada	Fácil y Bajo coste
Sistema	Soluciones Propietarias	Solución propietaria multifabricante	Estándar plug & play y multifabricante
Despliegue Comercial	Incipiente	Selectivo	Masivo
Servicios Multimedia sobre PLC	Pruebas	Pilotos	Comercialización
Estándar PLC	No existe	En proceso	Internacional
Cuota de Mercado de Banda Ancha	<< 1%	<< 1%	> 10%

Fuente: Autor

2.7.2 A nivel nacional y regional

En Colombia se ha utilizado el PLC desde hace años en la transmisión de voz entre las subestaciones eléctricas [2][4][22], algunos trabajos investigativos recopilan esta información como el artículo realizado por el ingeniero electromecánico, Especialista en Mecatrónica Hernando Efraín Rodríguez llamado. "POWER LINE COMMUNICATIONS". y publicado en la revista colombiana de "Tecnologías de avanzada" de la Universidad de Pamplona en el año 2003

En Bucaramanga se han estudiado las diversas tecnologías de comunicaciones como en el caso del trabajo de grado de José Manuel Huidobro Moya titulado "Tecnologías avanzadas de telecomunicaciones" en donde menciona el PLC entre

otras tecnologías de comunicaciones para optar por el título de Ingeniero Electrónico de la Universitaria de Investigación y desarrollo UDI en el año 2003.

En la Universidad Industrial de Santander últimamente se han realizado proyectos como:

- “Transmisión de datos por las líneas de distribución de baja tensión” para optar por el título de magister en informática en la cual se analiza como transmitir la información de consumo de energía desde un contador hasta la empresa.
- Una investigación sobre “acceso a internet a través de la red eléctrica domiciliaria” en la especialización en telecomunicaciones ofrecida por la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones
- Actualmente se encuentran realizando un proyecto estudiantes de la maestría en ingeniería electrónica para transferir los datos de los contadores de luz a la Electrificadora de Santander y uno de los métodos opcionados en dicha investigación es la tecnología PLC

En el área de banda ancha (BPL) no se han encontrado proyectos significativos y de reconocimiento en el área investigativa.

3. LA RED ELÉCTRICA

3.1 DISTRIBUCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA

El sistema eléctrico se conforma de una variada serie de elementos, entre los que cabe destacar los siguientes [14]: Centros de generación, líneas de transporte en alta tensión (AT), estaciones transformadoras (AT/MT), líneas de distribución en media tensión (MT), centros de transformación de media a baja tensión, líneas de distribución en baja tensión (BT), aparatos de medida y elementos consumidores.

3.1.1 Centros de generación

Son los elementos del sistema que producen la energía eléctrica. Dependiendo del recurso energético que utilicen pueden clasificarse en instalaciones de energía renovables (hidráulica, eólica, solar) y no renovables (carbón, gas, fuel, nuclear).

3.1.2 Líneas de transporte en alta tensión (AT)

Cubre el territorio formando una malla que permite el suministro de la energía entre ciudades desde los generadores (En Colombia los más utilizados son los generadores hidráulicos). Hay en ella distintos escalones de tensión, desde los 30.000 a los 400.000 voltios.

Las líneas de alta tensión son necesarias:

- Para transportar eficientemente la energía eléctrica a largas distancias.
- Para satisfacer la demanda creciente de los centros de consumo.

- Para incrementar la potencia transportada, disminuyendo el número de líneas necesarias.

3.1.3 Estaciones transformadoras

Se encuentran en cada nodo principal de una ciudad o municipio, en ellas los transformadores adecuan la tensión a los distintos escalones de la red de transporte o a la tensión de la red de distribución en media tensión.

3.1.4 Líneas de distribución en media tensión (MT)

Se encuentran dentro de los municipios, llevan la energía a los centros de transformación. En grandes poblaciones suelen formar mallas, generalmente subterráneas, que unen los distintos centros de transformación. La tensión en estas líneas varía desde 1.000 a 30.000 voltios.

3.1.5 Centros de transformación de media a baja tensión

En ellos se reduce la tensión de forma apropiada para que la corriente pueda ser utilizada por los consumidores.

3.1.6 Líneas de distribución en baja tensión (BT)

Es la que lleva la energía al usuario final. Tienen menos de 1.000 voltios, en Colombia es equivalente a un voltaje de 120/110 Voltios a una frecuencia de 60Hz.

3.1.7 Aparatos de medida

Miden la energía consumida y facilitan su comercialización. Se sitúan en las instalaciones que son propiedad del consumidor de la energía.

3.2 DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN COLOMBIA

En Colombia los sistemas de distribución, como todo lo relacionado con los sistemas de potencia, están regulados por la Comisión de Energía y Gas (CREG). En resolución 097 del 2008 se establecen los siguientes niveles de tensión:

- Nivel de tensión I: tensiones inferiores a 1 kV
- Nivel de tensión II: tensiones comprendidas entre 1 a 30 kV
- Nivel de tensión III: tensiones comprendidas entre 30 kV y 62 kV
- Nivel de tensión IV: tensiones de valor mayor a 62 kV

Donde se puede concluir que el nivel I equivale a baja tensión, el nivel II a media tensión y los niveles III y IV a alta tensión donde el nivel III sería una especie de alta tensión y IV estaría haciendo las veces de una muy alta tensión

3.3 EL RUIDO ELÉCTRICO

Se designa con el nombre de ruido a toda señal no deseada que se encuentra superpuesta a una señal útil. De esta definición general resulta que hay un fuerte elemento subjetivo en la cuestión de determinar qué parte de la señal es útil y qué parte es ruido.

Se puede suponer, como ejemplo, que dos personas A y B sintonizan dos emisoras de radio E_a y E_b respectivamente, cuyas frecuencias estén muy próximas entre sí. Debido a que los circuitos de sintonía no son pasabandas ideales, parte de la señal de E_b será captada por el receptor de A y parte de la señal de E_a por el de B. Es claro que la señal útil para A será ruido para B y viceversa.

Aún en casos en que la parte ruidosa de la señal está perfectamente identificada, ésta puede transformarse en señal útil, por ejemplo cuando se desea medir o caracterizar espectralmente el ruido de un amplificador. Con estos ejemplos se pone de manifiesto la naturaleza de la determinación de qué es señal deseable y qué es ruido.

3.3.1 Tipos de ruido que pueden afectar las señales PLC

Esencialmente el ruido puede dividirse en dos categorías generales, correlacionado y no correlacionado [16][17][18][19]. El ruido correlacionado implica una relación entre la señal y el ruido el cual no es relevante en este estudio ya que se desea averiguar es el funcionamiento de una red de datos, no la generación de ruidos desde el origen.

El ruido no correlacionado está presente dentro de un medio de transmisión y es independiente a la señal transmitida [16]. A continuación se presentan los diferentes tipos de ruidos correlacionados que pueden afectar directamente transmisiones de datos por la red eléctrica.

- El ruido hecho por el hombre es el que producen las chispas de automóviles, los conmutadores de motores eléctricos y equipos de conmutación de potencia. Dentro de esta gama se encuentran los “**ruidos**

impulsivos” [20] el cual es aquel ruido cuya intensidad aumenta bruscamente durante un impulso. La duración de este impulso es breve en comparación con el tiempo que transcurre entre un impulso y otro. Según varios autores este tipo de ruido influye en la transmisión de datos PLC, se debe básicamente a fuertes inducciones consecuencias de conmutaciones electromagnéticas. Una forma de generarla intencionalmente es mediante el encendido y apagado continuo de equipos eléctricos.

- El ruido térmico es eléctrico y es producido por la energía interna de la materia. Está asociado con el movimiento browniano de las partículas, el cual produce energía que se disipa en modo de calor. Pero algunas de dichas partículas se comporta interferencia eléctrica. Nyquist, de los laboratorios Bell, observó en 1928 que la interferencia eléctrica era proporcional a la agitación de electrones proveniente de lo que denominó “energía browniana”, y estableció la base para el cálculo. Entre las características más sobresalientes del ruido térmico, prevalecen que es aleatorio, porque los electrones agitados por la energía browniana tienen un movimiento aleatorio; es blanco, denominación que recibe por analogía con la luz blanca, al estar presente en todas las frecuencias; y es resistivo, porque depende lineal y directamente de la resistividad del material. El ruido térmico recibe el nombre alternativo de ruido plano, porque su respuesta es plana.
- El ruido de disparo es causado por la llegada aleatoria de portadores en el elemento de salida de un dispositivo electrónico. Fue observado por primera vez en la corriente del ánodo de los amplificadores de tubo de vacío y fue descrito por W. Schottky en 1918 [18]. También es conocido como ruido de transistor.

- Ruido de tiempo de tránsito. Cualquier modificación a una corriente de portadores conforme pasa desde la entrada hasta la salida de un dispositivo (tal como del emisor al colector de un transistor) produce una variación aleatoria irregular calificada como ruido de tránsito.

3.3.2 Caracterización del ruido eléctrico

Según artículos relacionados sobre la caracterización los niveles de ruidos existentes en un cableado eléctrico [19], para realizar la caracterización del ruido se debe tener en cuenta el comportamiento de dicho cableado con respecto a cada uno de sus componentes en frecuencia.

Caracterizar el ruido en función de su potencia y frecuencia puede expresar que tanto puede afectar la señal que se quiere transmitir. Mientras la señal a transmitir sea significativamente mayor a la señal de ruido podrá enviarse hasta lugares remotos. Si no se tiene en cuenta este factor de relación señal a ruido probablemente la señal a transmitir al recorrer una distancia respectiva será atenuada debido a la influencia del ruido, limitando así su alcance.

El análisis del espectro en frecuencia permite seleccionar el rango de frecuencias a utilizar para la transmisión de una señal, mientras más lejana se encuentre la frecuencia de transmisión a la frecuencia de la señal ruido, se tiene menor probabilidad de interferencias.

Como resultado a una caracterización de ruido en un edificio se espera detectar las diferentes señales que puedan interferir en una transmisión de datos resaltando su frecuencia y potencia. La toma de medidas puede realizarse en diferentes sectores del edificio y a diferentes horas, para así al final concluir cuales

son los sectores y las horas en las que aparezcan mayores interferencias eléctricas.

3.4 IMPEDANCIA.

Una dificultad más para la transmisión de información sobre la red eléctrica es la variabilidad de la impedancia [21]. La impedancia representa la influencia de los parámetros distribuidos entre los conductores y en los equipos de la red, que afectan el flujo de corriente que porta los datos, es decir, se oponen al paso de corriente a través del medio conductor. Se encuentra compuesta por una componente real llamada resistencia y una componente imaginaria llamada reactancia generalmente provocada por efectos inductivos o capacitivos dentro de la red provocados por bobinas y condensadores y en la mayoría de los casos por efectos parásitos.

3.4.1 Caracterización de la impedancia

Según artículos relacionados sobre la caracterización de impedancias de cableados eléctricos [21], la impedancia se puede calcular analizando los niveles de una señal enviada a través de una red comparándola con la señal resultante o incluso en muchos casos enviando una señal de retorno para calcular la impedancia total de un sistema de comunicación bidireccional completo o bien llamado fullduplex. Considerar la influencia de la impedancia que afecta dinámicamente el comportamiento eléctrico del enlace para la transmisión de los datos es esencial, si se quiere lograr alcances mínimos o confiables.

La impedancia puede ser muy variante si se cambian las condiciones y los elementos conectados a una red, por lo tanto se deben realizar medidas en

diferentes puntos y a diferentes horas para observar los cambios que se puedan tener durante un día y tabular los resultados para así llegar a conclusiones de estabilidad o de variabilidad.

4. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO Y DE LA IMPEDANCIA EXISTENTE EN LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN

La red eléctrica de baja tensión está caracterizada por la fuerte dependencia de la impedancia de la línea con la frecuencia, además de una estructura con múltiples caminos o derivaciones en las cuales puede haber o no carga conectada. El trabajo consiste en estudiar todos estos efectos, incluyendo fuentes de ruido, y tratar de modelar el comportamiento de la red para obtener gráficas del canal lo más cercana a la realidad, que permita predecir su comportamiento bajo el proceso de transmisión de una señal de datos.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA RED.

Lo primero es identificar la distribución de las fases eléctrica, por lo cual se procede a la obtención de planos eléctricos del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander por parte de planta Física.

Sin embargo con los planos suministrados se encontraron los siguientes inconvenientes:

- El tercer piso se encuentra sin la última reforma realizada.
- La información de la distribución de fases fue verificada y se encontraron inconsistencias

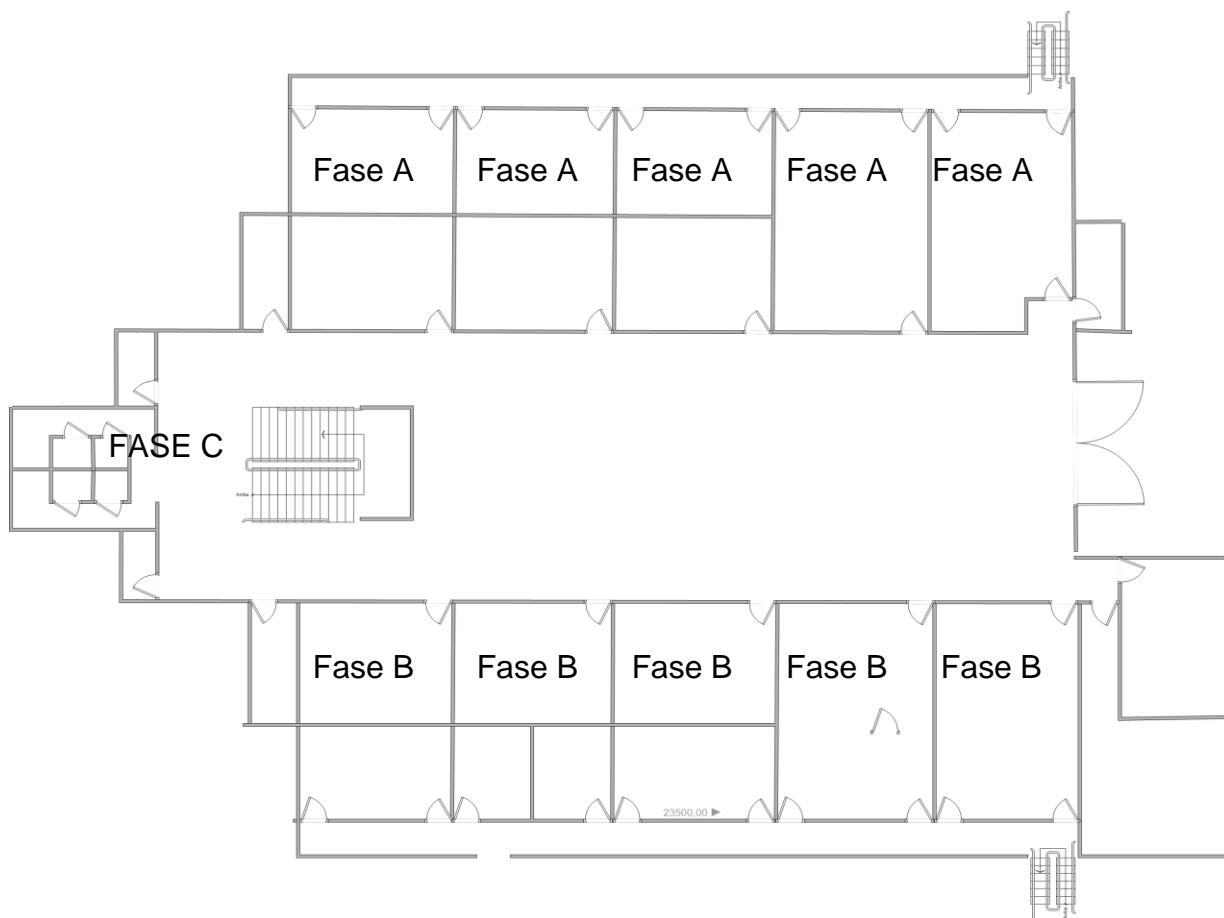
Por la razón anterior se procede a realizar por parte del autor un plano que nos muestre la distribución de las fases eléctricas.

Desde la figura 4 hasta la 7 se presentan ilustraciones donde se actualiza la información de distribución de fases eléctricas sobre planos del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander.

Para identificar las fases se utilizaron un par de módulos PLC, los cuales solo se interconectan y sincronizan si ambos módulos se encuentran conectados en tomas que se encuentren dentro de la misma fase. Dentro de cada oficina o salón no se encontraron cambios de fase por lo tanto se realizaron los planos de cada uno de los pisos del edificio y se tomó nota de la fase a la cual pertenecía.

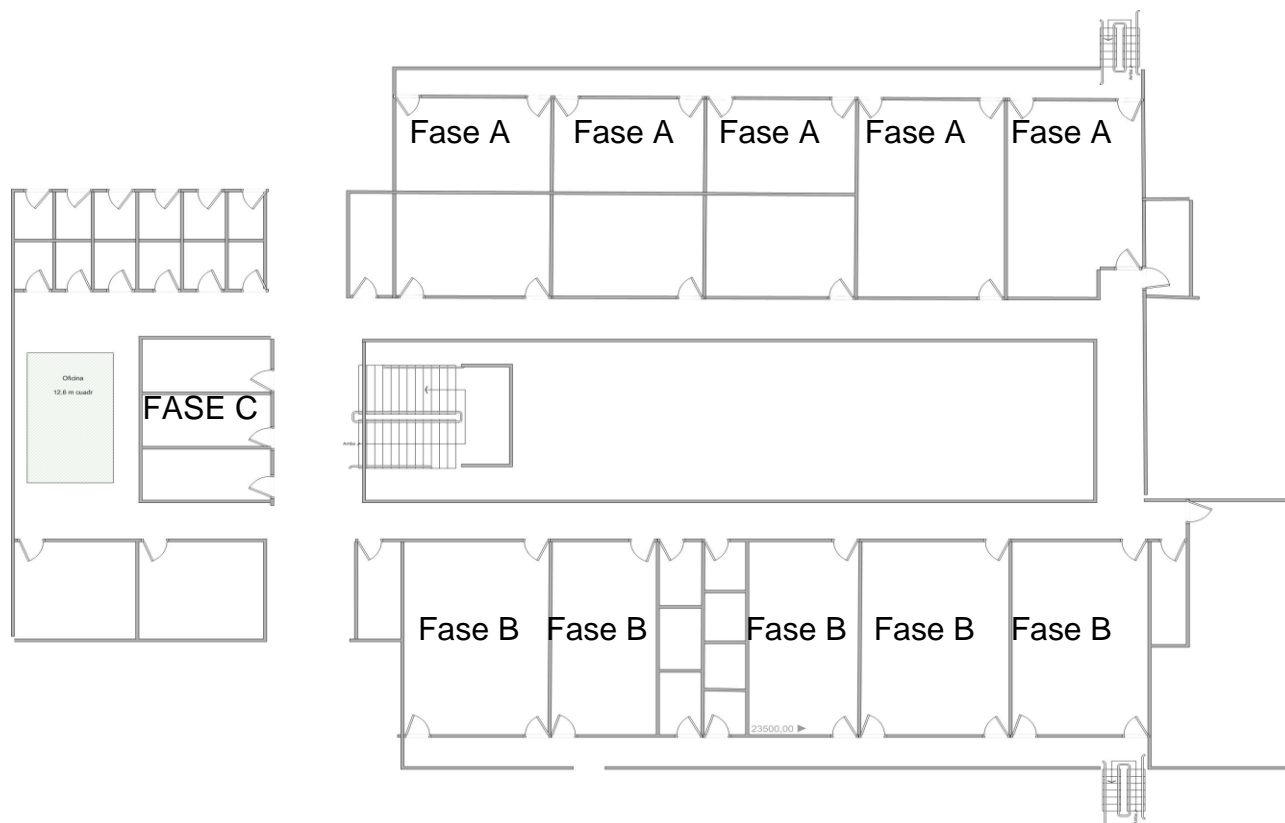
Aleatoriamente se le denominó a cada una de las fases con las letras A B o C, pero este valor no representa ninguna prioridad dentro de la red general de la Universidad.

Figura 4. Plano semisótano



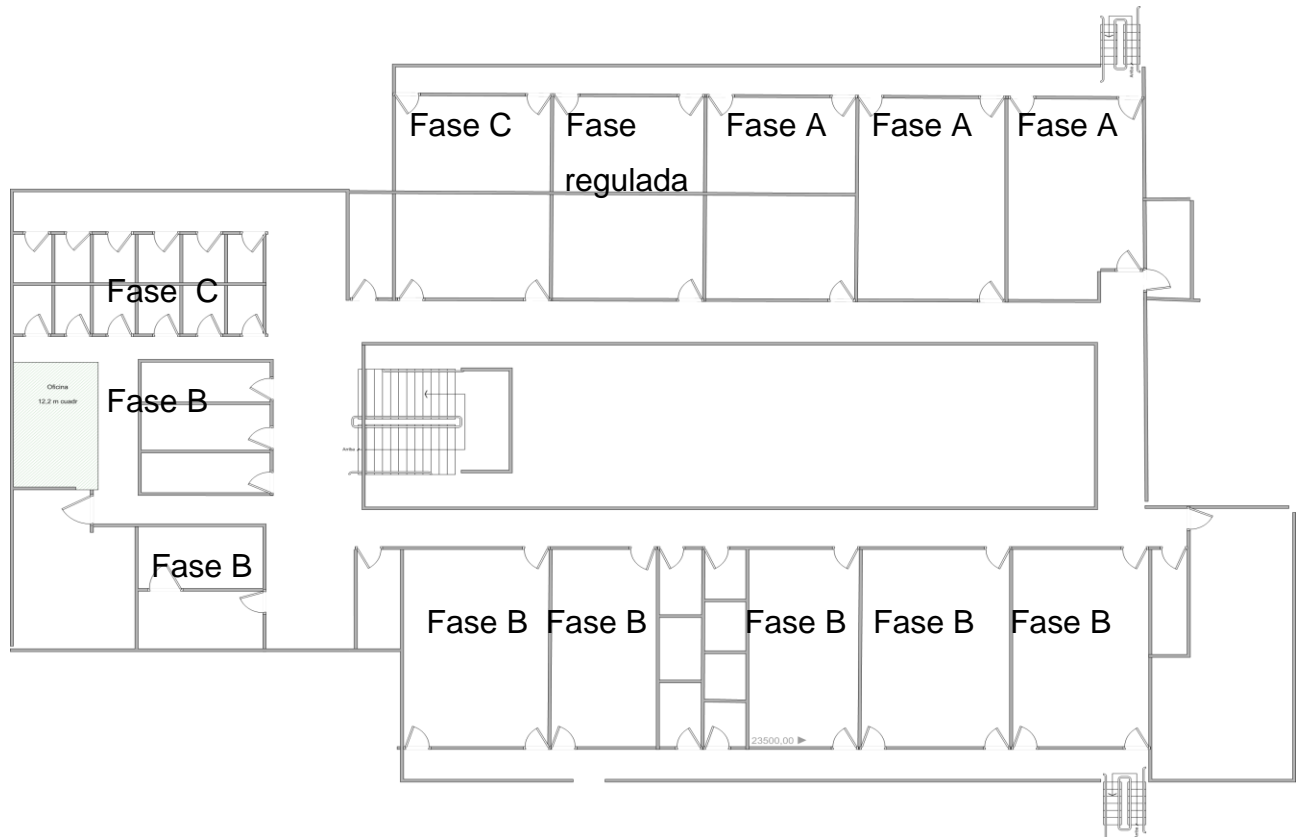
Fuente: Autor

Figura 5. Plano primer piso



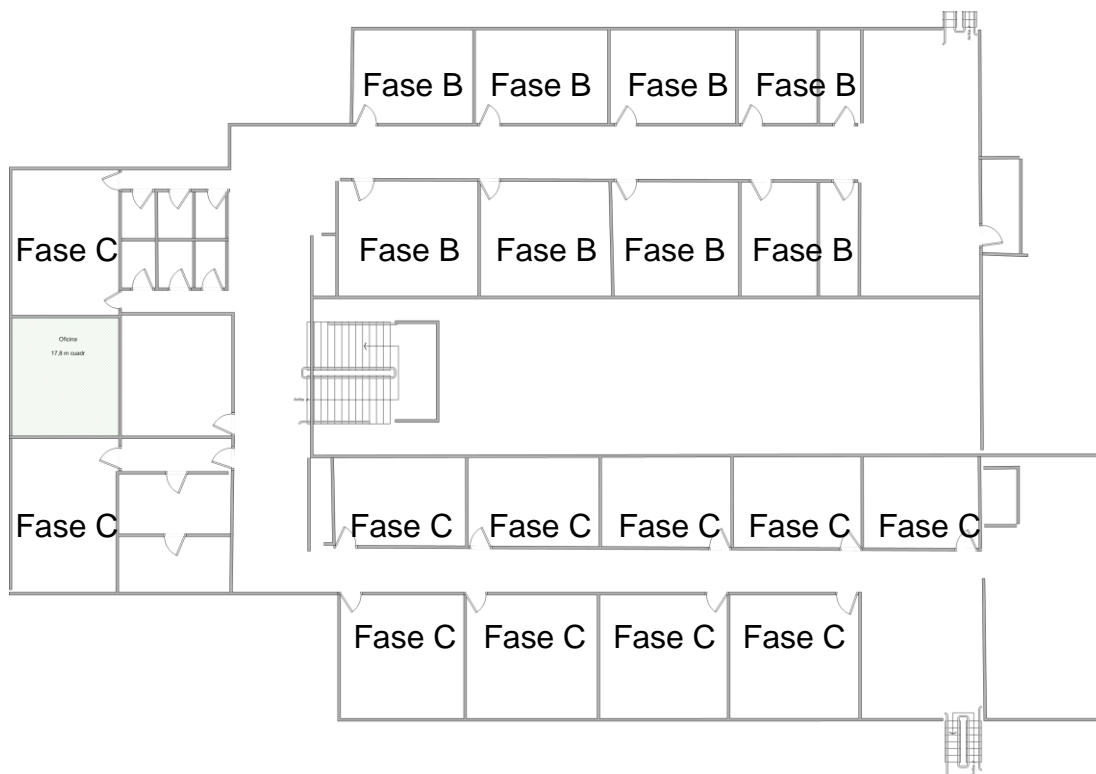
Fuente: Autor

Figura 6. Plano segundo piso



Fuente: Autor

Figura 7. Plano tercer piso



Fuente: Autor

4.2 MEDICIÓN DE RUIDO EN LA RED ELÉCTRICA

Dentro de las fuentes de ruido que afectan una red PLC se encuentran de manera destacada la propia señal de 60Hz y aquellas provocadas por fuentes conmutadas, las cuales poseen un alto contenido de armónicos relacionados con su frecuencia de conmutación. La corrosión en el alambrado del edificio también tiene un efecto no lineal inducido en cada medio ciclo de señal [16]. Cada aparato conectado a la línea produce ruido, así como el introducido por el acople a la línea de potencia de fuentes de radiofrecuencia. La característica del ruido tiene implicaciones en el dominio del tiempo y la frecuencia.

La modelación del ruido en los posibles escenarios del proceso de comunicación, también forma parte importante del estudio de las características del canal.

Los valores de frecuencia a utilizarse se escogen de acuerdo con el estándar P1901 el cual especifica que se recomienda trabajar a frecuencias entre 1,6 Mhz y 30 Mhz [23] para verificar las razones por las cuales no se utilizan frecuencias inferiores a 1,6 Mhz se hacen medidas desde los 100 Khz

Para la medición del ruido se procede a realizar una acople entre la red eléctrica y un equipo de medición de voltaje de señales con respecto a la frecuencia [16][17][19], para ellos e cuenta con un analizador de espectro marca tectronix 2712, el cual se caracteriza por:

- Sensibilidad a -139 dbm (-92 dbmv) con preamplificador integrado
- Contador de frecuencia interna
- 4-Trace Display Digital Plus analógico

- 124 K de memoria RAM
- Teclado numérico
- Rutinas de medición incorporadas
- Medidas de barrido a 1,8 Ghz con Generador opcional de seguimiento interno o externo
- Certificado CSA C22.2 N ° 231-M89

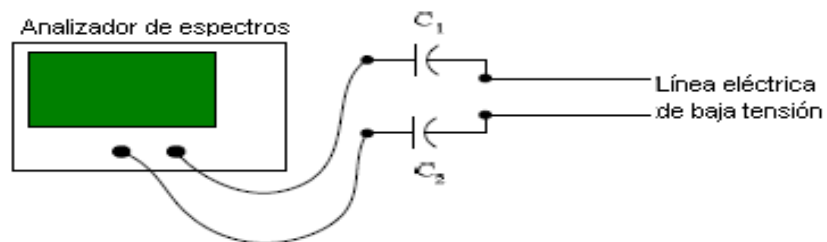
Figura 8. Analizador de espectros TECTRONIX 2712



Fuente: Autor

El siguiente esquema se utiliza para el acoplamiento entre el analizador de espectros y la red de baja tensión.

Figura 9. Esquema para interconexión entre analizador de espectros y red eléctrica



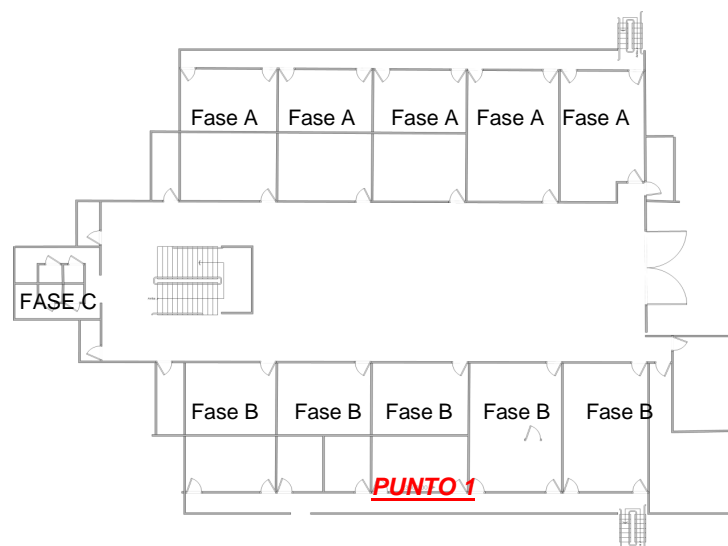
Fuente: Autor

Se utilizan condensadores en serie a la red actuando como filtro pasa altos, estos condensadores son porcelanizados de 100 nF que soporten tensión máxima de operación de 630 voltios, con ellos se evita el paso de la señal de 120VRMS a frecuencia de 60Hz existente dentro del cableado eléctrico hacia el osciloscopio.

Se procede a tomar por debajo de 30 Mhz dado que el estándar P1901 recomienda rangos de trabajo entre 1,6 Mhz y 30 Mhz, para ello se seleccionan aleatoriamente puntos para tomar muestras experimentales de medición una por cada piso y en diferentes fases de la red.

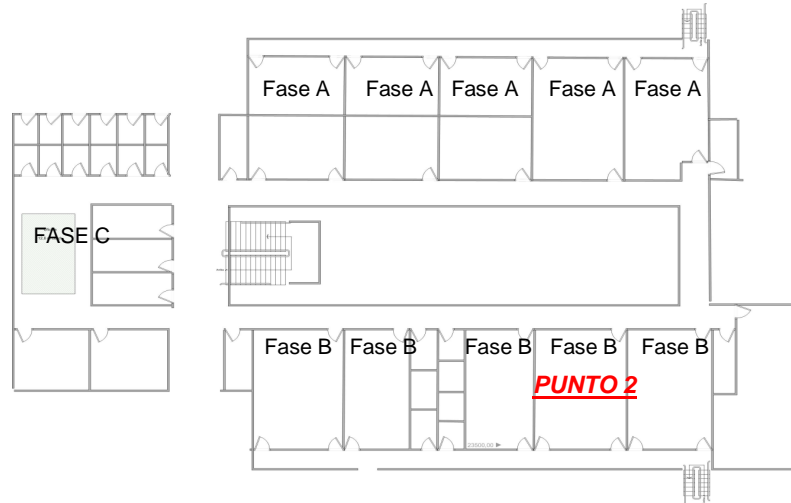
Las siguientes figuras muestran los puntos seleccionados para realizar las medidas en horarios de lunes a viernes durante una jornada normal de clases en la UIS.

Figura 10. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase B semisótano



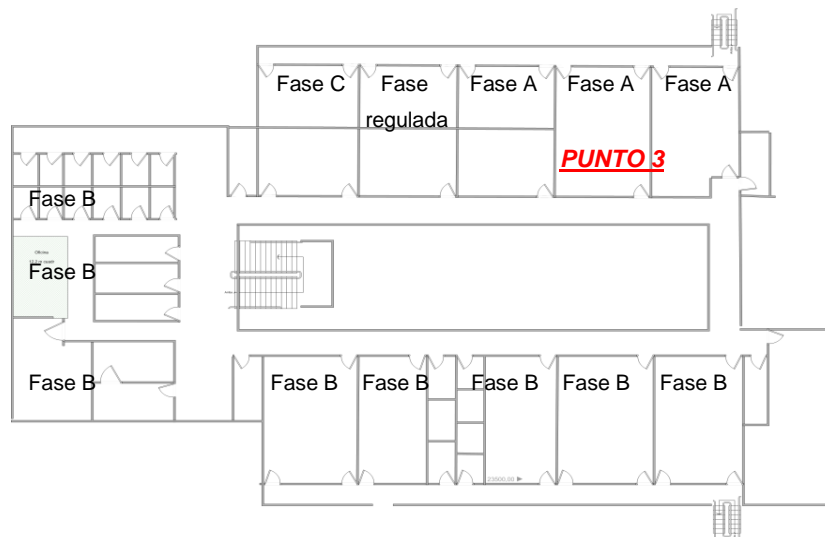
Fuente: Autor

Figura 11. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase A primer piso



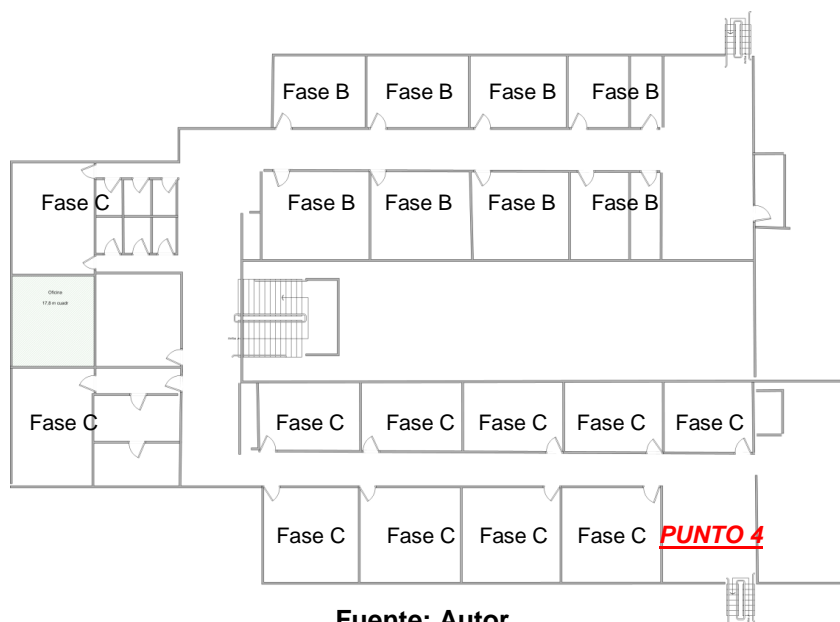
Fuente: Autor

Figura 12. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase B segundo piso



Fuente: Autor

Figura 13. Puntos de toma de datos de ruido e impedancia de red eléctrica Fase C tercer piso



A continuación se anuncian los valores promedios, es decir, los valores de lunes a viernes sumados y divididos en 5.

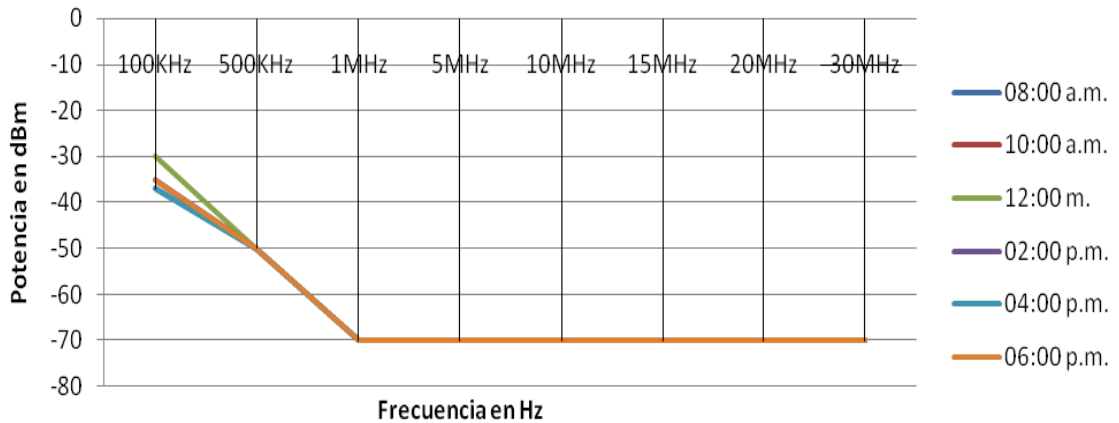
Tabla 1 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el semisótano

Punto 1 : semisótano								
HORA	POTENCIA [dBm]							
	100Khz	500Khz	1Mhz	5Mhz	10Mhz	15Mhz	20Mhz	30Mhz
08:00 a.m.	-37	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
10:00 a.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
12:00 m.	-30	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
02:00 p.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
04:00 p.m.	-37	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
06:00 p.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70

Fuente: Autor

Para observar mejor los datos y poderlos analizar, se grafican los resultados

Figura 14. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el semisótano



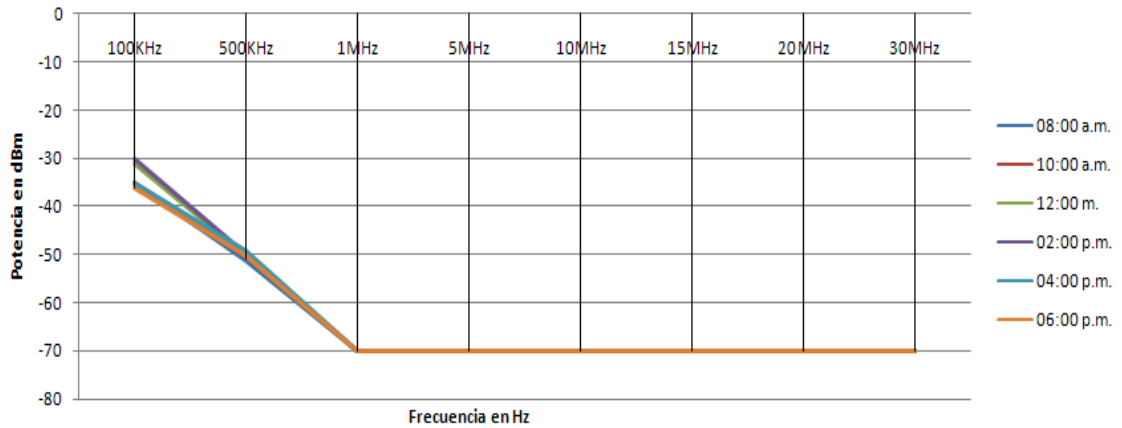
Fuente: Autor

Tabla 2 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el primer piso

Punto 2 : primer piso								
HORA	POTENCIA [dBm]							
	100Khz	500Khz	1Mhz	5Mhz	10Mhz	15Mhz	20Mhz	30Mhz
08:00 a.m.	-35	-51	-70	-70	-70	-70	-70	-70
10:00 a.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
12:00 m.	-31	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
02:00 p.m.	-30	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
04:00 p.m.	-35	-49	-70	-70	-70	-70	-70	-70
06:00 p.m.	-36	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70

Fuente: Autor

Figura 15. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el primer piso



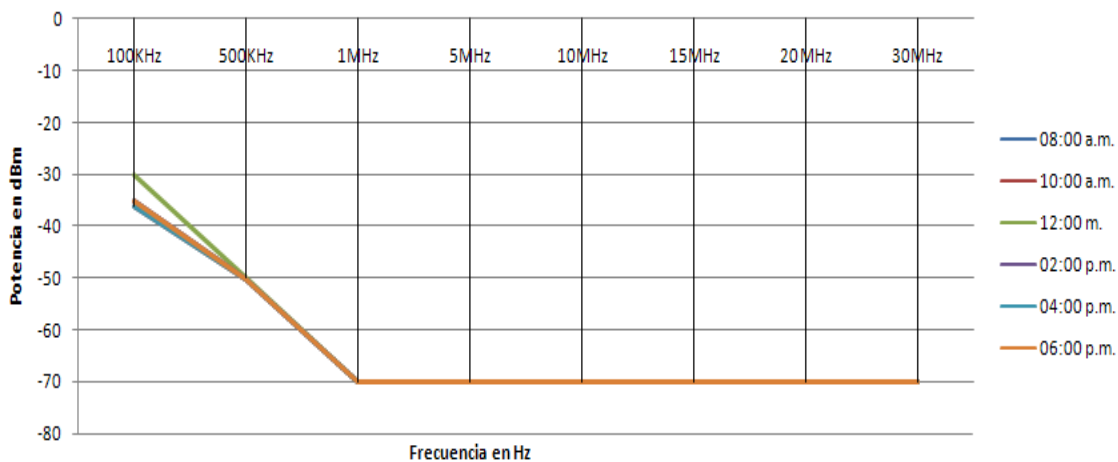
Fuente: Autor

Tabla 3 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el segundo piso

Punto 3 : segundo piso								
HORA	POTENCIA [dBm]							
	100Khz	500Khz	1Mhz	5Mhz	10Mhz	15Mhz	20Mhz	30Mhz
08:00 a.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
10:00 a.m.	-36	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
12:00 m.	-30	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
02:00 p.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
04:00 p.m.	-36	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
06:00 p.m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70

Fuente: Autor

Figura 16. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el segundo piso



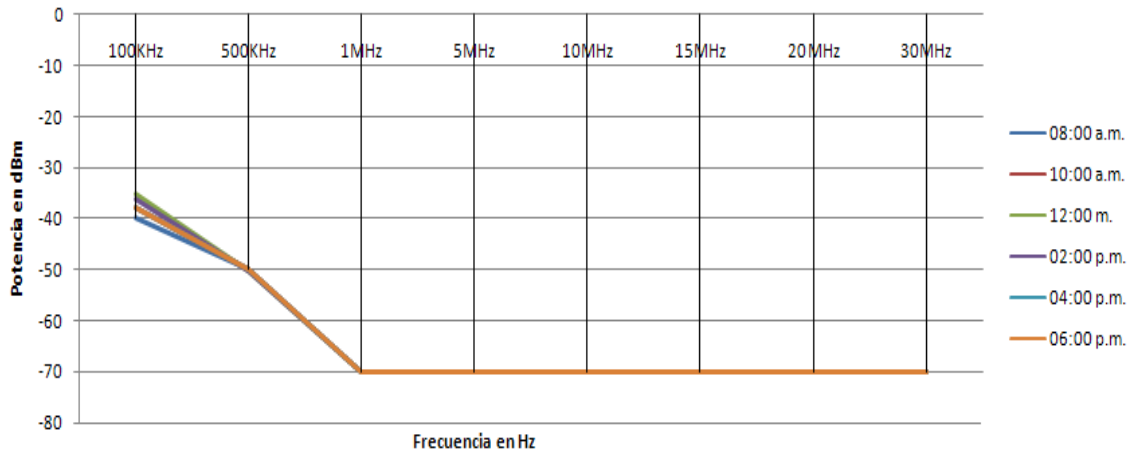
Fuente: Autor

Tabla 4 Promedios de niveles de ruido eléctrico en el tercer piso

Punto 4 : tercer piso								
HORA	POTENCIA [dB]							
	100Khz	500Khz	1Mhz	5Mhz	10Mhz	15Mhz	20Mhz	30Mhz
08:00 a.m.	-40	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
10:00 a.m.	-38	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
12:00 m.	-35	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
02:00 p.m.	-36	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
04:00 p.m.	-38	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70
06:00 p.m.	-38	-50	-70	-70	-70	-70	-70	-70

Fuente: Autor

Figura 17. Gráfico de los datos de ruidos tomados en el tercer piso



Fuente: Autor

La siguiente figura es una fotografía de la imagen mostrada por el equipo de medición conectado a la red eléctrica.

Figura 18. Toma ejemplo de la imagen mostrada por el analizador de espectros



Fuente: Autor

La señal observada al inicio de la figura se encuentra por debajo de 1 Mhz, por encima no hay niveles significativos de ruido por lo tanto se aspiran buenos

resultados con una red BPL estandarizada, ya que en ella se trabajan frecuencias dentro de un rango entre 1,6 Mhz y 30 Mhz

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA IMPEDANCIA DE LA RED ELÉCTRICA

Una línea de transmisión y la línea eléctrica se diferencian en que la de transmisión presenta grandes discontinuidades en cuanto a impedancia que causan la reflexión de la señal. En amplios rangos de frecuencia, la impedancia de la línea exhibe características inductivas o capacitivas. La conductancia por unidad de longitud crece linealmente con la frecuencia debido al incremento de la pérdida dieléctrica. La resistencia por unidad de longitud crece con la frecuencia debido al efecto piel.

Las distorsiones lineales son introducidas por la topología y los materiales de la red eléctrica, que pudieran ser representados por un filtro que puede ser descrito por la respuesta impulsiva o función de transferencia del canal.

Figura 19. Generación de señales para caracterizar la impedancia de la red eléctrica



Fuente: Autor

Mediante los siguientes pasos se puede calcular la impedancia de la red eléctrica para diferentes valores de frecuencias [21]:

1. Se inyectan señales dentro de la red eléctrica, midiendo el valor de la tensión eléctrica en cada una de las frecuencias.
2. Medimos la potencia en paralelo a dicho generador de señales.
3. Calcular la corriente dividiendo la potencia sobre el voltaje aplicado la ecuación $P/V=I$
4. Teniendo el valor de voltaje y corriente se puede calcular la impedancia para cada una de las frecuencias medidas mediante la ecuación $V/I=Z$

Se tomaron valores de frecuencia que permitan verificar la funcionalidad de los equipos PLC que cumplen con el estándar P1901, una toma por día durante los días hábiles de una semana de clases dentro del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander en los puntos seleccionados en las figuras 10, 11, 12 y 13, y se registraron los resultados promedios en la siguiente tabla.

Tabla 5 Toma de datos y cálculo de impedancia en el edificio

Punto 1: Semisótano						
FRECUENCIA	VOLTAJE APLICADO [Vpico]	POTENCIA [dBm]	POTENCIA [W]	CORRIENTE CALCULADA [mA]	IMPEDANCIA CALCULADA (Ω)	
100Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
500Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
1Mhz	1,0	-40	0,1	100	10	
5Mhz	1,4	-40	0,1	71,42	19,6	
10Mhz	1,5	-40	0,1	66,67	22,5	
15Mhz	1,5	-40	0,1	66,67	22,5	
20Mhz	1,6	-40	0,1	62,5	25,6	

Punto 2: Primer piso						
FRECUENCIA	VOLTAJE APLICADO [Vpico]	POTENCIA [dBm]	POTENCIA [W]	CORRIENTE CALCULADA [mA]	IMPEDANCIA CALCULADA (Ω)	
100Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
500Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
1Mhz	1,0	-40	0,1	100	10	
5Mhz	1,2	-40	0,1	83,33	14,4	
10Mhz	1,3	-40	0,1	76,92	16,9	
15Mhz	1,3	-40	0,1	76,92	16,9	
20Mhz	1,4	-40	0,1	71,43	19,6	
Punto 3: Segundo piso						
FRECUENCIA	VOLTAJE APLICADO [Vpico]	POTENCIA [dBm]	POTENCIA [W]	CORRIENTE CALCULADA [mA]	IMPEDANCIA CALCULADA (Ω)	
100Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
500Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
1Mhz	1,1	-40	0,1	90,9	12,1	
5Mhz	1,2	-40	0,1	83,33	14,4	
10Mhz	1,2	-40	0,1	83,33	14,4	
15Mhz	1,4	-40	0,1	71,43	19,6	
20Mhz	1,4	-40	0,1	71,428571	19,6	
Punto 4: Tercer piso						
FRECUENCIA	VOLTAJE APLICADO [Vpico]	POTENCIA [dBm]	POTENCIA [W]	CORRIENTE CALCULADA [mA]	IMPEDANCIA CALCULADA (Ω)	
100Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
500Khz	1,0	NA	NA	NA	NA	
1Mhz	1,0	-40	0,1	100	10	
5Mhz	1,0	-40	0,1	100	10	
10Mhz	1,1	-40	0,1	90,9	12,1	
15Mhz	1,3	-40	0,1	76,92	16,9	
20Mhz	1,4	-40	0,1	71,43	19,6	

Fuente: Autor

4.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Las frecuencias de trabajo para redes PLC recomendadas por el estándar P1901 se encuentran libres de ruidos en la red eléctrica de del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander, tal y como se comprueba al realizar la caracterización del ruido eléctrico. En las gráficas resultantes de dichas medidas se observa que el rango de 1,6 Mhz a 30Mhz se encuentra disponible para realizar transmisiones de señales.

La red eléctrica del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS cumple los requisitos mínimos dados por el estándar P1901 para el uso de equipos PLC, en donde se recomiendan valores de impedancia inferiores a los 100 Ω [9], esto se puede afirmar durante la caracterización de la impedancia realizada en la investigación donde se demuestra que en el peor de los casos la máxima impedancia medida fue de 25.6 Ω .

4.5 RECOMENDACIONES DEL CAPÍTULO

Para detectar si dos puntos de una red eléctrica se encuentran dentro de la misma fase eléctrica, se puede utilizar un módulo transmisor y receptor bajo cualquier tipo de modulación y acoplarlos a la red eléctrica mediante filtros, de esta manera se puede evitar la compra previa de módems PLC.

5. ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA DISPONIBLES EN EL MERCADO QUE PERMITAN LA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA

Las tecnologías utilizadas para la transmisión de datos se pueden dividir en [5][15]:

- El tipo de modulación empleado para el envío de los datos.
- La familia de dispositivo integrado que se encarga de hacer el proceso de modulación y compresión de información.

5.1 TIPOS DE MODULACIONES USADAS EN TECNOLOGÍAS PLC.

Las técnicas de modulación utilizadas en los equipos PLC han sido variantes en el tiempo mientras se creaba el estándar. En si cualquier tipo de modulación puede ser utilizada pero cada una de ellas presentará diferentes tipos de resultados, motivo por el cual se requiere de este estudio entre tecnologías. Como lo que se requiere es la transmisión de datos, moduladores basados en comunicaciones análogas resultarían obsoletos, dichos dispositivos PLC se utilizaban para la transmisión de audio a través de la red. En el presente estudio se recopilan los tipos de modulaciones que se han venido utilizando por los diferentes fabricantes para equipos que permitan la transmisión de datos en la red, comenzando por aquellos que no permitían anchos de banda notablemente superiores, hasta OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) utilizado por el estándar actual y con el cual se han llegado a valores nominales de 1Gbps.

5.1.1 Tipos de modulaciones usadas por PLC que usan técnicas estándares

BPSK (Binary phase shift keying).

Fue una de las primeras utilizadas para equipos PLC. Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying).

Es una forma de modulación en la que la señal se envía en cuatro fases, 45, 135, 225, y 315 grados, cada fase representa un conjunto de dos bits. A diferencia del anterior método se logra transmitir el doble de datos en el mismo tiempo.

QAM (Quadrature Amplitud Modulation).

La Modulación de Amplitud en Cuadratura o QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia de ancho de banda que se consigue con esta modulación.

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Es un esquema de modulación continua en fase, una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por tanto reducir los requisitos de ancho de banda.

Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1, -1) son transformados a pulsos gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro gaussiano para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la mayoría de los casos, la duración del pulso gaussiano supera a la de un bit, dando lugar como consecuencia a lo que se conoce como interferencia inter-simbólica (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro gaussiano y la duración de un bit. Este producto se conoce normalmente como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos gaussianos.

La portadora resultante es una señal continua en fase lo cual es importante porque las señales con transiciones suaves entre fases requieren menor ancho de banda para ser transmitidas. Por otra parte, este suavizado de la señal hace que el receptor tenga que realizar un trabajo mayor en la demodulación de la señal ya que las transiciones entre bits no están bien definidas.

5.1.2 Tipos de modulaciones usadas por PLC que usan técnicas de espectro ensanchado

Hoy en día son las técnica más utilizadas en para los equipos comerciales de PLC.

Las técnicas de espectro ensanchado (Spread Spectrum) son métodos en los cuales la energía generada por un transmisor es distribuida intencionalmente, ya sea en tiempo o en frecuencia. Estas técnicas pueden utilizarse para una variedad de aplicaciones, incluyendo comunicaciones seguras, inmunidad al ruido y acceso múltiple al medio.

El ancho de banda utilizado para realizar la transmisión es mucho mayor que el mínimo necesario para enviar la información. Este espectro ensanchado puede obtenerse mediante saltos de frecuencia, mediante modulación con una secuencia directa, o mediante una combinación de ambas técnicas. En cada caso, se utilizan secuencias de números pseudo-aleatorios para determinar y controlar el patrón de ensanchamiento a lo largo de la porción del espectro deseada.

En general, todas las técnicas de espectro ensanchado tienen las siguientes características:

- Inmunidad al ruido y a la interferencia. Al recuperar una señal que ha sido ensanchada, se disminuye la potencia de ruido, por lo que disminuye notoriamente su efecto.
- Dificultad para interceptarlas. Una señal que ha sido ensanchada aparenta ser solamente un incremento en el ruido del canal para un receptor de banda angosta.
- Eficiencia en el uso del espectro. Las transmisiones de espectro ensanchado agregan un ruido mínimo a las transmisiones de banda angosta, de modo que pueden compartir el espectro sin mayores problemas.

Entre las técnicas de modulación por espectro ensanchado utilizadas en sistemas PLC se destacan:

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum).

El espectro ensanchado por salto de frecuencia es una técnica de modulación en espectro ensanchado en el que la señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatorias, saltando de frecuencia en frecuencia sincrónicamente con el transmisor. Los receptores no autorizados escucharán una señal ininteligible. Si se intentara interceptar la señal, sólo se conseguiría para unos pocos bits. Una transmisión en espectro ensanchado ofrece 3 ventajas principales:

1. Las señales en espectro ensanchado son altamente resistentes al ruido y a la interferencia.
2. Las señales en espectro ensanchado son difíciles de interceptar. Una transmisión de este tipo suena como un ruido de corta duración, o como un incremento en el ruido en cualquier receptor, excepto para el que esté usando la secuencia que fue usada por el transmisor.
3. Transmisiones en espectro ensanchado pueden compartir una banda de frecuencia con muchos tipos de transmisiones convencionales con mínima interferencia.

A pesar de anterior, su gran desventaja y motivo por el cual no se utiliza en la actualidad es su bajo ancho de banda

DSSS ("Direct Sequence Spread Spectrum")

El espectro ensanchado (SS) es una técnica de transmisión en la cual un código pseudoaleatorio, independiente de los datos de información, es empleado como forma de onda modulante para “desparramar” la energía de la señal sobre un

ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información de la señal original. Los sistemas de secuencia directa (DS) son sistemas de espectro ensanchado en los cuales la portadora está modulada por un código de dispersión de alta velocidad y una corriente de datos de información. La secuencia del código de alta velocidad es el causante directo del ensanchamiento de la señal transmitida.

Entre sus Características se destacan:

- Se basa en la multiplicación de la secuencia de bits original por una secuencia digital (chips) de velocidad mucho mayor.
- El código de expansión expande la señal por una gran banda de frecuencias.
- La expansión es proporcional al número de bits usados.
- Se combina la información digital de la secuencia de bits con los bits de la secuencia de expansión, usando OR exclusivo.
- La señal binaria de datos modula una portadora RF, y la señal modulada resultante es modulada por la señal código (la señal código consiste en una sucesión de bits de código entre +1 y -1).

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

Es el esquema de modulación recomendado en el estándar IEEE P1901 utilizado en la actualidad por la mayoría de fabricantes de equipos PLC en el mercado en el cual se divide el espectro disponible en varios subcanales de poco ancho de banda, cada uno centrado en una portadora, todas cercanas y ortogonales entre sí. Gracias a la ortogonalidad de las mismas, se elimina el cross-talk entre los subcanales y se simplifica el diseño del transmisor y el receptor, ya que no se

requiere un filtro para cada subcanal. También nos permite una mayor eficiencia en el uso del espectro acercándonos a la capacidad máxima del canal.

Dado que el ancho de los subcanales es pequeño, su atenuación resulta prácticamente constante dentro del mismo, lo cual simplifica la ecualización que se va a realizar con respecto a la necesaria en modulaciones de única portadora.

El proceso de modulación en OFDM consiste en la paralelización del mensaje en bloques, cada uno es modulado en QAM y luego se realiza una transformada inversa de Fourier. Para demodular la señal se realiza el proceso inverso.

La modulación QAM se realiza a baja velocidad, lo que facilita la detección. Sin embargo, se obtiene una velocidad total de transmisión de datos similar a la obtenida con una modulación de una portadora.

OFDM se popularizó gracias al avance en la tecnología de los procesadores de señales digitales, que permitió la implementación del algoritmo de la FFT con bajo costo.

Este esquema de modulación requiere de una precisa sincronización en frecuencia entre el receptor y el transmisor. Cualquier desviación entre las portadoras perjudica su propiedad de ortogonalidad, causando interferencia entre portadoras (ICI). Este problema se genera por el des apareamiento de los osciladores, y el efecto Doppler, entre otros. Las técnicas para solucionar este problema agregan complejidad al receptor.

El origen del OFDM fue en la década de los 50 y 60 en aplicaciones de uso militar que trabajan dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras.

OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-portadora considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como empresarial.

La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de portadoras que están espaciadas entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias.

Al no existir un estándar para PLC la modulación OFDM varía según los fabricantes de esta nueva tecnología.

Actualmente el **estándar IEEE P1901** [8] basa su tecnología en esta modulación destacando que aún las tasas de transferencias varían según los fabricantes de esta nueva tecnología.

5.2 TECNOLOGÍAS PLC POR FAMILIA DE CIRCUITOS INTEGRADOS.

AITANA++ (DS2)

El *chipset* AITANA++ o también conocido como AETHEROS 6400 es una generación de Circuitos Integrados DS2 que trabaja a 200 Mbps [24]. Aitana++ consiste en el chip DSS9501 digital y el chip DSS7800 analógico que ofrece una solución con un coste optimizado lista de materiales. Una solución segura que ofrece un diseño compacto y productos para redes domésticas, redes inteligentes, edificios inteligente o Ethernet sobre cable coaxial productos, y establece nuevos estándares de ahorro de energía.

La solución es totalmente compatible con Ethernet y establece lo siguiente:

Tabla 6. Descripción del *chipset* DS2

FACTOR	VALOR
TASA DE BITS	200Mbps
MODULACIÓN	OFDM
RANGO DE FRECUENCIAS	2-32Mhz

Fuente: Autor

QUALCOMM ATHEROS

Qualcomm Atheros powerline (PLC) [25] es una tecnología Powerline que ofrece conectividad de banda ancha fácil y confiable de apoyo de alta definición multimedia y aplicaciones en tiempo real. Posee certificación Home Plug y el apoyo del estándar P1901 de la IEEE, fue ratificado en septiembre de 2010.

Qualcomm Atheros AMP también permite soluciones de bajo consumo ideal para la conectividad de redes inteligentes y aplicaciones de domótica, la conexión de los medidores inteligentes de la casa, el termostato y los aparatos eléctricos, para que siempre en el seguimiento y control del uso del poder dentro de la casa. Qualcomm Atheros ha recibido una subvención del Departamento de Energía de EE.UU. para desarrollar nuevos chips de líneas de alta tensión diseñados para proporcionar comunicaciones bidireccionales de datos más actuales de cableado AC. Los chips se basan en la especificación PHY y cumplen con la norma IEEE P1901.

Tabla 7. Descripción del *chipset* Atheros

FACTOR	VALOR
TASA DE BITS	500Mbps
MODULACIÓN	OFDM
RANGO DE FRECUENCIAS	1,6-30Mhz

Fuente: Autor

GIGLE NETWORK

Gigle Networks ofrece circuitos integrados de sistema en chip y soluciones de sistema completas para redes domésticas multimedia que pueden ampliar la Ethernet por cable e inalámbrica en cualquier lugar del hogar, sin necesidad de nuevos cables [26]. Dirigida a aplicaciones como televisión sobre el protocolo IP (IPTV), televisión de banda ancha (BBTV), video bajo demanda (VoD) y voz sobre IP (VoIP), los productos de Gigle Networks ofrecen un rendimiento, cobertura y calidad de servicio superior en comparación con tecnologías de la comunicación alternativas, y se han diseñado para integrarse con facilidad dentro de los productos informáticos y electrónicos de consumidor. Gigle Networks apoya con convicción los estándares abiertos, es miembro del consejo directivo de HomePlug Powerline Alliance y un participante activo en iniciativas de estandarización del registro eléctrico G.hn ITU-T y IEEE P1901. Gigle Networks dispone de oficinas en Redwood City (California, EE.UU.), Barcelona (España) y Edimburgo (Reino Unido).

Las características de Gigle networks son

Tabla 8. Descripción del *chipset* GIGLE NETWORKS

FACTOR	VALOR
TASA DE BITS	1000Mbps
MODULACIÓN	OFDM
RANGO DE FRECUENCIAS	1,6-30Mhz

Fuente: Autor

5.3 DISPOSITIVOS COMERCIALMENTE DISPONIBLES

En el comercio se encuentran diversos tipos de productos que permiten la transmisión de datos a través de la red eléctrica. Son particularmente reconocidos dentro del as empresas como la línea de productos powerline[27][28][29][30].

A continuación se presentan los productos con mayores velocidades dentro de cada una de las marcas encontradas en el mercado actual

Figura 20. Belkin HD STARTERKIT



Fuente: www.Belkin.com

Figura 21. Dlink **DHP-501AV**



Fuente: www.Dlink.com

Figura 22. Netgear **XAVB5001**



Fuente: www.Netgear.com

Figura 23. Trendnet **TPL-401E2K**



Fuente: www.Trendnet.com

Figura 24. Panasonic BL-PA300



Fuente: www.Panasonic.com

Figura 25. Actiontec HPE200AVP



Fuente: www.Actiontec.com

Figura 26. Bewan S200Wi-Fi



Fuente: www.Bewan.com

Figura 27. Hércules ePlug™ 200 Duo



Fuente: www.Hercules.com

Figura 28. Linksys PLEK400



Fuente: www.Linksys.com

Figura 29. Monster PowerNet 200 Ethernet Anywhere Starter Kit



Fuente: www.Monster.com

Figura 30. Ovislink PL-DUO211



Fuente: www.Ovislink.com

Figura 31. Planet PL-501



Fuente: www.Planet.com

Figura 32. Micronet SP952



Fuente: www.Micronet.com

Tabla 9 Equipos PLC con mayores velocidades disponibles en el mercado por marcas

MARCA	REFERENCIA	MODULACIÓN	CHIPSET	VELOCIDAD MAX
Belkin	HD STARTERKIT	OFDM	GIGLE	1000 Mbps
dlink	DHP-501AV	OFDM	ATHEROS	500 Mbps
netgear	XAVB5001	OFDM	ATHEROS	500 Mbps
trendnet	TPL-401E2K	OFDM	ATHEROS	500 Mbps
panasonic	BL-PA300	OFDM	DS2	210 Mbps
Actiontec	HPE200AVP	OFDM	DS2	200 Mbps
bwan	S200Wi-Fi	OFDM	DS2	200 Mbps
hercules	ePlug™ 200 Duo	OFDM	DS2	200 Mbps
linsys	PLEK400	OFDM	DS2	200 Mbps
monster	powernet 200	OFDM	DS2	200 Mbps
ovislink	PL-DUO211	OFDM	DS2	200 Mbps
planet	PL-501	OFDM	DS2	200 Mbps
micronet	SP952	OFDM	DS2	14 Mbps

Fuente: Autor

5.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Aunque en países latinoamericanos poco se usa esta tecnología según Carlos Toledo en su monografía “Acceso a internet mediante la red eléctrica domiciliaria” [2], en el mercado las empresas ya tradicionalmente conocidas por producir equipos y dispositivos para redes vienen ofreciendo varias alternativas de soluciones PLC. Los precios son competitivos con otras tecnologías como lo es el WiFi, para verificar ello se recomienda visitar las páginas webs de las marcas

mencionadas en este libro o visitar catálogos de empresas de ventas de equipos de redes de datos.

Las tecnologías actuales de banda ancha disponibles en el mercado actual con mejores resultados se encuentran usando el tipo de modulación de espectro ensanchado OFDM recomendado por el estándar P1901 tal y como se muestra en la tabla 9.

La máxima velocidad de transferencia se consigue en la actualidad usando la tecnología del *chipset* GIGLE NETWORKS, la cual muestra una tasa de transferencia de 1Gbps. Sin embargo solo una marca es la que la está trabajando. Las marcas de más reconocimiento utilizan el *chipset* ATHEROS el cual trabaja a 500Mbps.

5.5 RECOMENDACIONES DEL CAPÍTULO

Para conseguir referencias de equipos PLC, se recomienda visitar las líneas de productos de empresas especializadas en el campo de las redes de datos. El término más utilizado para esta línea de productos es “powerline” o “adaptadores powerline”. Constantemente renuevan sus características por lo tanto un estudio de tecnologías puede desactualizarse fácilmente.

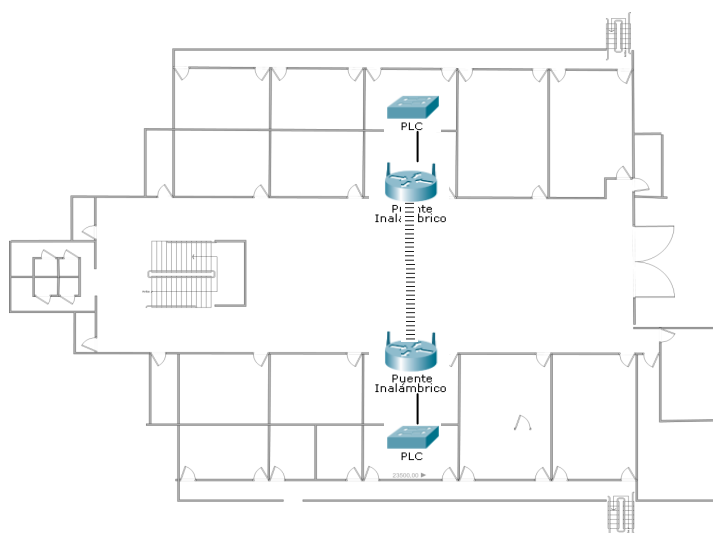
6. DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE RED PARA UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS DE CÓMPUTO USANDO LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN DE LOS DATOS

Mediante los siguientes esquemas se permite crear una red dentro del edificio de Laboratorios Pesados que permita amplia conectividad con otras redes, compartir recursos, administración de red mediante software típico de Ethernet, facilidad de uso, administración de datos, normalización, conectividad mediante interfaces estándares e instalación de cualquier aplicación convencional de red. El diseño se comprobó mediante un método experimental comprobando físicamente etapa por etapa usando un par de módulos PLC y un par de *routers* inalámbricos usados en modo de puente (bridges).

Los dispositivos presentes en la siguiente arquitectura de red son:

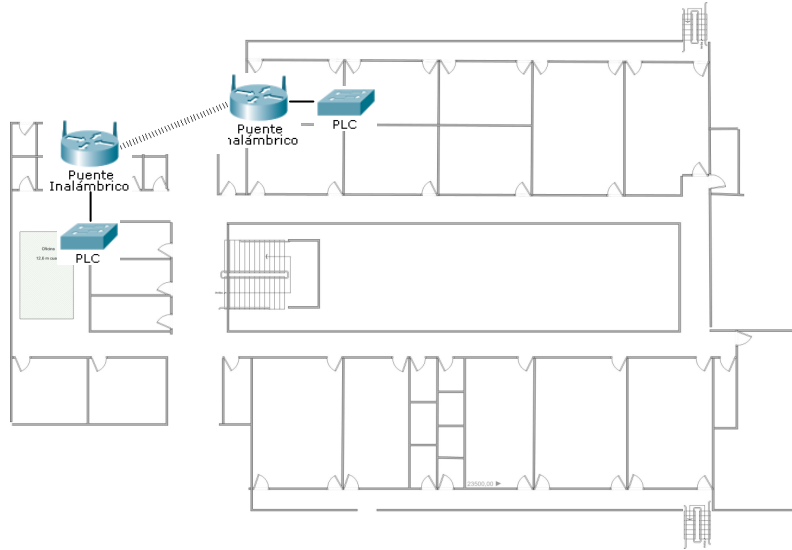
- PLC - Módems PLC - Encargados de repartir la señal a través de una fase
- Puentes inalámbricos - Utilizados como enlace entre fases.

Figura 33. Plano semisótano



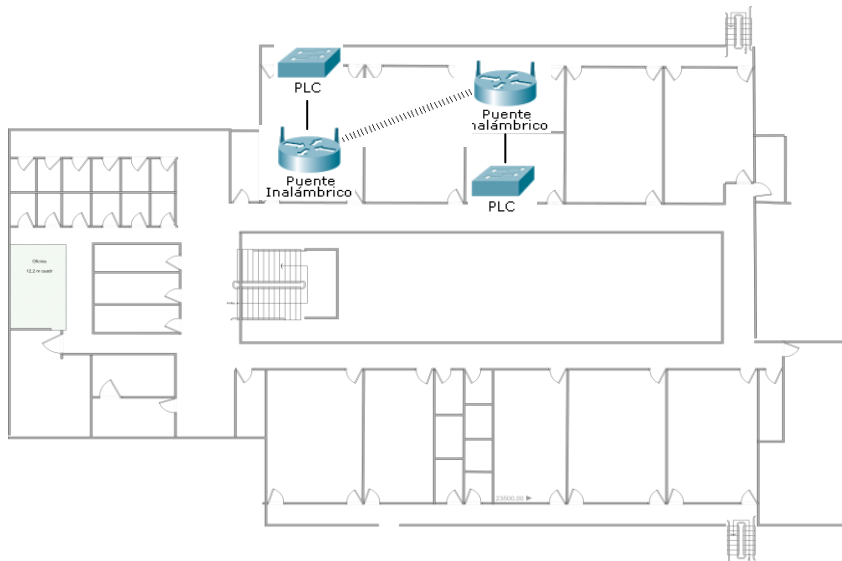
Fuente: Autor

Figura 34. Plano primer piso



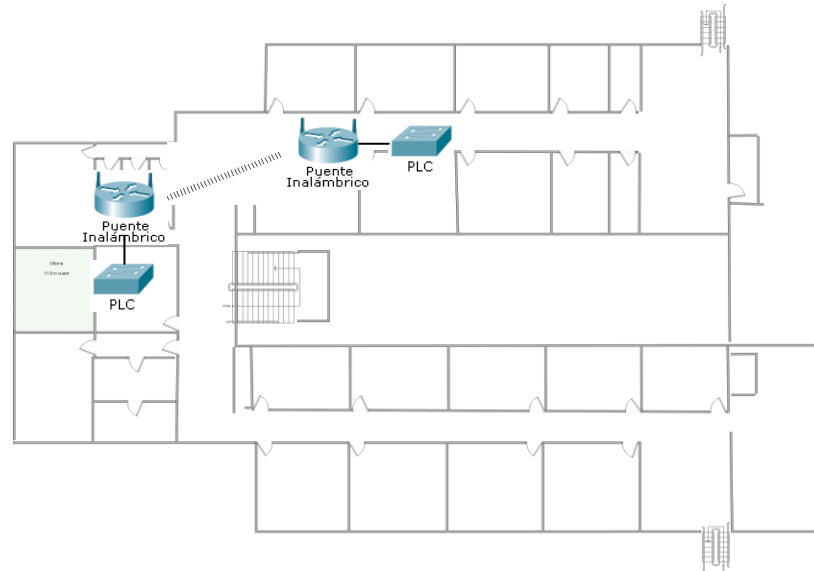
Fuente: Autor

Figura 35. Plano segundo piso



Fuente: Autor

Figura 36. Plano tercer piso



Fuente: Autor

En cada sitio de trabajo se debe implementar:

Figura 37. Conectividad en el puesto de trabajo



Fuente: Autor

Para implementar servicio de internet en cualquier punto del edificio que posea Internet se debe implementar:

Figura 38. Conectividad al servicio de red de la universidad (Internet)



Fuente: Autor

6.1 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

Una arquitectura de red PLC debe garantizar un cubrimiento total de una red de datos dentro de un edificio según el estándar PLC. Para ello se debe identificar si se tienen cambios de fase eléctrica dentro de la construcción. En caso de no tener cambios de fase la red solo consiste en inyectarle los datos a la red eléctrica mediante un modem PLC y donde se requiera un punto de acceso se coloca otro modem PLC. En el caso de que si se detecten diferentes fases se procede a identificar la distribución de dichas fases, con esta información se puede diseñar un mecanismo de interconexión entre fases que garantice conectividad total entre todos los puntos de acceso a la red de datos creada.

La coexistencia entre la tecnología PLC y WiFi es posible y se pueden usar de manera complementarias tal y como se presenta en el diseño de la arquitectura de red para el edificio de Laboratorios Pesados de la UIS, en el cual se usan puentes inalámbricos para realizar la interconexión entre fases.

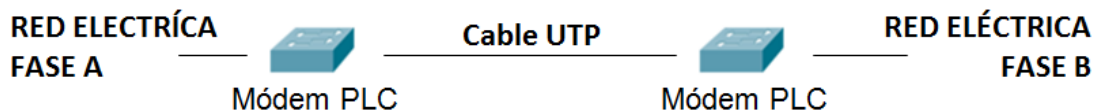
Un Par de equipos PLC permiten realizar un buen estudio de campo para el diseño de una red dentro de cualquier mobiliario, esto se puede afirmar con el presente trabajo en el cual se logra realizar una propuesta, mediante esta metodología, garantizando conectividad total dentro del edificio de Laboratorios

Pesados de la UIS comprobando la conexión paso a paso con tan solo dos módems PLC.

6.2 RECOMENDACIONES DEL CAPÍTULO.

En caso de que un edificio no permita la implementación de redes inalámbricas debido a motivos de interferencia electromagnética, el método recomendado para realizar la conectividad entre fases debe ser mediante el uso de medios guiados, el cual consiste básicamente en interconectar dos módulos PLC con un cable cruzado UTP y conectar cada módulo a diferente fase eléctrica, tal y como se observa en la Figura 39. Las dos fases quedarían de esta manera dentro de la misma red de datos PLC.

Figura 39. Salto de onda para conectividad entre fases



Fuente: Autor

7. PRUEBAS DE DESEMPEÑO DE DOS TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN.

Es común que investigadores y/o administradores de red necesiten medir distintos indicadores de red.

7.1 INDICADORES DE RENDIMIENTO

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

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

Tasa de transferencia efectiva. Si bien es cierto el ancho de banda representa la capacidad máxima de transferencia, esto no significa que siempre se mantenga dicha velocidad. Los datos pueden presentar latencias dependiendo del tráfico de información que fluye por el medio de transmisión. La tasa de transferencia efectiva representa el ancho de banda real medido en un momento concreto

normalmente es inferior a la capacidad del ancho de banda debido a varios aspectos como:

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

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

7.2 HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

Existen varias herramientas disponibles para este propósito [31][32][33][34][35], pero no todas poseen las mismas características o evalúan los mismos parámetros de rendimiento.

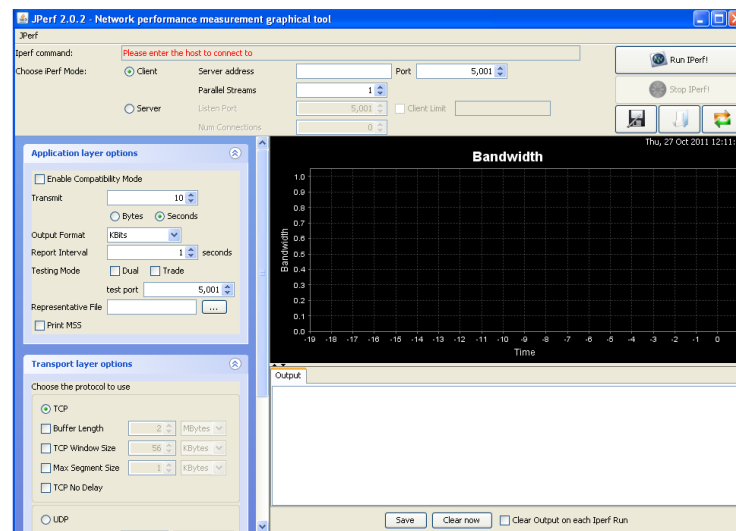
7.2.1 Iperf

Es una de las más utilizadas a nivel mundial por ser de uso práctico y confiable, *Iperf* [31] es una herramienta de código abierto que puede usarse para medir varios aspectos del rendimiento de una red, como lo son el retardo de ida y vuelta, la tasa de pérdida de paquetes, el jitter y el ancho de banda. Su enfoque principal es en la transferencia de grandes volúmenes de datos y el desempeño en tráfico de tipo solicitud/respuesta, usando TCP y UDP. *Iperf* está diseñado siguiendo el

paradigma cliente-servidor. Tiene tan solo un ejecutable (iperf.exe) el cual se puede correr desde consola tanto en windjows como en Linux debido a que se soporta mediante Java , el comando iperf –s activa la herramienta como servidor y el comando iperf –c seguida de parámetros de medición que activa la herramienta como cliente.

Existe una interfaz gráfica llamada Jperf la cual presenta la siguiente visualización:

Figura 40. jperf (interfaz gráfica de Iperf)



Fuente: Autor

7.2.2 D-ITG

D-ITG2 (Distributed Internet Traffic Generator) [32] es una plataforma de código abierto para la generación de tráfico, capaz de producir tráfico IPv4 e IPv6 para paquetes con tamaño y tiempo inter-salida variable. Está concebida para ser usada como una herramienta distribuida de medición de rendimiento, capaz de calcular el retardo de ida y vuelta, la tasa de pérdida de paquetes, el jitter y el throughput. *D-ITG* sigue el modelo cliente-servidor. Hay cuatro ejecutables básicos que implementan los componentes de la plataforma: ITGSend, ITGRecv, ITGLog, e ITGDec.

ITGSend actúa como el cliente, y puede generar varios flujos de datos de forma simultánea siguiendo las especificaciones del archivo de entrada (o archivo de configuración).

ITGRecv actúa como el servidor y puede recibir varios flujos de datos de diferentes clientes de forma simultánea.

ITGLog es el servidor de almacenamiento (log) de la plataforma, y recibe información

de ITGSend e ITGRecv.

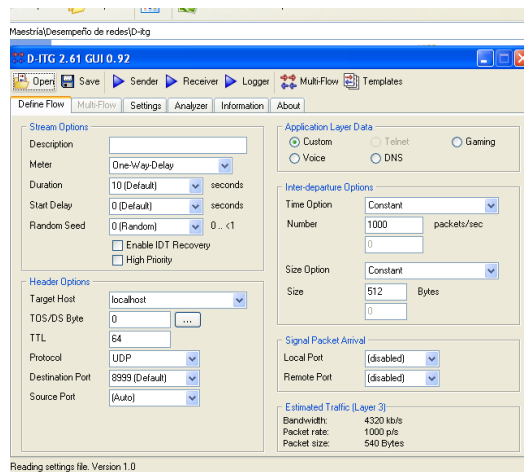
ITGDec es una utilidad que permite analizar los resultados de los experimentos realizados.

Adicionalmente se cuenta con dos ejecutables más: ITGPlot e ITGapi.

ITGPlot es una herramienta para graficar los datos contenidos en los archivos log construidos con ITGDec

ITGapi es un API de C++ que permite el control remoto de la generación de tráfico. Cuando *D-ITG* se ejecuta, se establece una conexión de control al sistema remoto, para entregar los parámetros de configuración de la prueba, como el protocolo de red a utilizar.

Figura 41. Interfaz gráfica para D-ITG



Fuente: Autor

7.2.3 Netperf

Netperf1 es una herramienta de benchmark de código abierto que puede usarse para medir varios aspectos del rendimiento de una red. Su enfoque principal es en la transferencia de grandes volúmenes de datos y el desempeño en tráfico de tipo solicitud/respuesta, usando TCP y UDP.

Netperf está diseñado siguiendo el paradigma cliente-servidor. Hay dos ejecutables (*netperf* y *netserver*). El programa *netserver* puede ser invocado por *inetd* (el demonio del sistema), o puede ser ejecutado como un demonio *standalone*. En el primer método, el usuario deben tener privilegios de administrador; el segundo método implica que el usuario debe recordar ejecutar el programa de forma explícita.

7.2.4 NetStress

NetStress4 es una herramienta de benchmark sencilla que permite calcular el desempeño de redes cableadas e inalámbricas. Emplea transferencia de grandes volúmenes de datos con TCP. El rendimiento de la red se reporta en términos de *throughput*. Nuevamente, se emplea el modelo cliente-servidor durante el proceso de pruebas.

7.2.5 MGEN

Multi-Generator5 (*MGEN*) es una herramienta de código abierto desarrollada por el grupo de investigación PROTOcol Engineering Advanced Networking (PROTEAN) del Laboratorio de Investigación de la Armada (NRL - Naval Research Laboratory). *MGEN* ofrece la posibilidad de realizar pruebas de rendimiento sobre redes IP y mediciones usando tráfico UDP/IP. Soporta tanto generación de tráfico unicast como *multicast*. Sigue el modelo cliente-servidor, usando el mismo programa para ambos extremos.

Actualmente, existen dos versiones disponibles de *MGEN* (3.X y 4.X), que no son interoperables. Algunas versiones (3.X) poseen interfaz gráfica. *MGEN* 4.X actualmente debe ser ejecutada por líneas de comando.

7.2.6 LANforge

LANforge8, de Candela Technologies, consiste en dos herramientas: LANforge-FIRE, usada para generación de tráfico que simula el extremo de la red simulada; y LANforge-ICE que es usada para simular el *core* de una red. *LANforge* es una herramienta propietaria que puede ser adquirida en su sitio web. Candela Technologies ofrece una gran variedad de opciones de compra. Para obtener esta herramienta, también es posible crear una cuenta que permite la posterior descarga de una versión de prueba de la misma.

7.2.7 Network Traffic Generator

Network Traffic Generator9 es una herramienta de código abierto que genera tráfico TCP y UDP de cliente(s) a servidor(es) a manera de saturar *routers* y firewalls bajo una carga pesada de tráfico. No reporta resultados de rendimiento de la red (throughput, retardo, tasa de pérdida), sino que sólo envía tráfico con el objetivo de saturar dispositivos de red.

7.2.8 Wlan Traffic Visualizer

WLAN Traffic Visualizer11 (WlanTV) permite medir la carga de la red y visualizar secuencias de tramas en redes WLAN IEEE 802.11 [16]. Se encuentra publicada bajo licencia GPL. Está desarrollada en Java, y se encuentran disponibles para la descarga en el sitio web versiones fuente y JAR.

7.3 HERRAMIENTA DE TRABAJO SELECCIONADA

La implementación de Iperf en nuestro caso es el más adecuado debido a que nos da los elementos necesarios la medida de tasa de transferencia efectiva entre dos dispositivos de red.

Aunque la herramienta presenta una interfaz gráfica, se realiza un script de comandos bajo DOS que permita ser más prácticos a la hora de tomas de medidas y que aloje en el pc utilizado para la medición un archivo con los resultados almacenados.

7.4 SELECCIÓN DE LAS DOS TECNOLOGÍAS A MEDIR

En la actualidad el estándar invade el mundo comercial mediante el desarrollo de equipos con diferentes características, excepto en el método de modulación. Todas usan el OFDM cumpliendo con los requerimientos del estándar P1901.

Estudiando el mercado, La principal distinción entre tecnologías se encuentra en el tipo de chipset utilizado

Empresas como Actiontec, Bewan, Hercules, Micronet, linksys, monster, Ovislink, Panasonic, Planet, y Powernet trabajan en sus últimos desarrollos con DS2 a velocidades de 200Mbps

Trendnet, NETGEAR y Dlink trabajan sus últimas referencias con Atheros presentando equipos con velocidades de 500Mbps

Belkin con el *chipset* Gigle presenta equipos con velocidades de 1Gbps

Por lo anterior se decide trabajar con los equipos de TRENDNET y BELKIN

MARCA	REFERENCIA
Trendnet	TPL-401E2K
Belkin	HD STARTERKIT

Se realizan unas pruebas previas para probar la máxima capacidad de los equipos marca TRENDNET Y BELKIN a una distancia de un metro

MARCA	REFERENCIA	MODULACIÓN	CHIPSET	VELOCIDAD MAX
Trendnet	TPL-401E2K	OFDM	DS2	500Mbps

RESULTADOS: 441Mbps

MARCA	REFERENCIA	MODULACIÓN	CHIPSET	VELOCIDAD MAX
Belkin	HD STARTERKIT	OFDM	GIGLE	1000Mbps

RESULTADOS: 955 Mbps

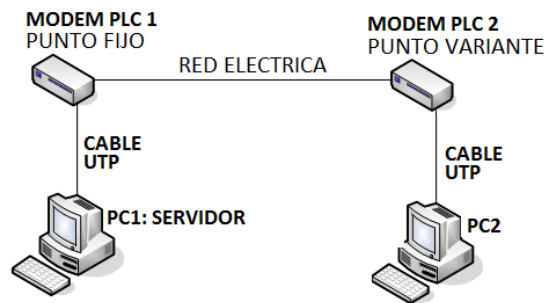
Lo cual refleja que si es cierto lo descrito por los fabricantes.

7.5 METODOLOGÍA APLICADA

Inicialmente se requiere implementar el enlace de datos dentro del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander siguiendo el esquema mostrado en la Figura 42; después se realiza la instalación de las herramientas de desempeño; en seguida, se ejecutan las rutinas de mediciones y

por último, se analizan los resultados obtenidos. Con los anteriores pasos se realiza la evaluación del enlace de datos [35].

Figura 42. Esquema de implementación de un enlace de datos en la UIS



Fuente: Autor

Se implementó una red con una transferencia de datos esperada de 100Mbps, velocidad que será punto de referencia para el análisis de rendimiento. La idea de utilizar una velocidad inferior es para tener un punto de referencia común entre las dos tecnologías, se pensaría que ambas deben comportarse de manera óptima debido a que se le está exigiendo mucho menos de su capacidad. Los módems PLC Utilizados cumplen con el estándar P1901 y permiten según sus especificaciones velocidades de transmisión superiores a los 100 Mbps (específicamente 500 Mbps¹ y 1Gbps²), los equipos de cómputo usados poseen una tarjeta de red que trabajan a 100Mbps los cuales marcaran el punto de referencia esperado, el cable UTP usado fue categoría 5E de longitud no mayor a un metro, y la red eléctrica sobre la que se hicieron las pruebas fue la del edificio UIS

Se escogió un punto fijo y cuatro puntos variantes, uno a aproximadamente a 10 metros, a 20 metros, a 50 metros y finalmente otro a 70 metros de distancia en

¹ Modems PLC TPL – 401E de TRENDnet

² Modem PLC Gigabit Powerline HD de BELKIN

cableado eléctrico. El estándar P1901 recomienda distancias inferiores a 100 metros

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

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

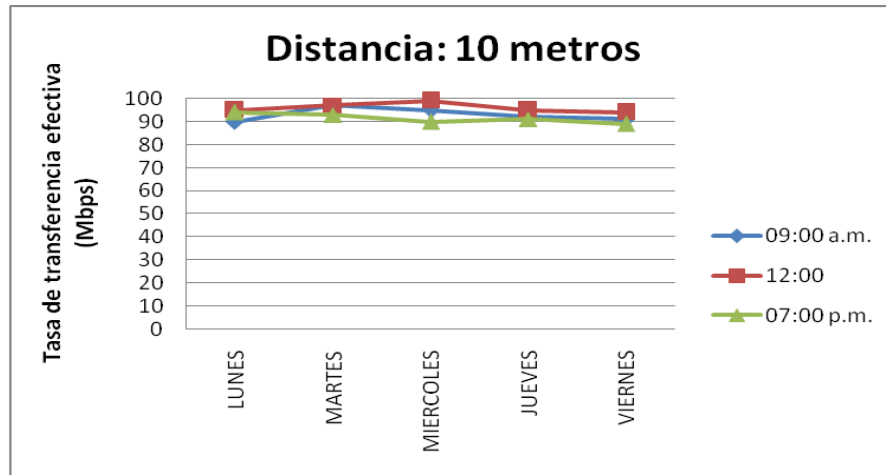
Al final se analizan los resultados obtenidos mediante promedios y gráficas resultantes que comparan los parámetros de red para diferentes horarios y diferentes días.

7.5.1 Resultados de las pruebas

- Utilizando tecnología ATHEROS (TRENDNET)

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

Figura 43. Toma de datos a 10 metros TRENDNET

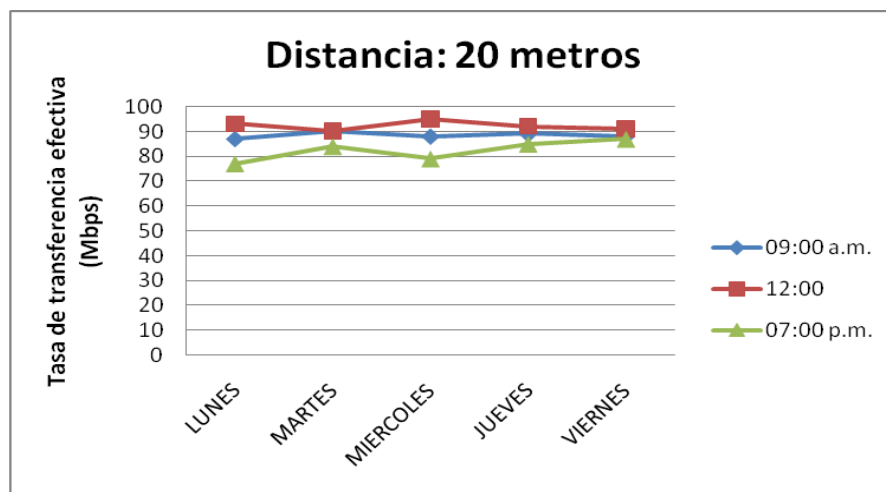


Fuente: Autor

La Figura 43 muestra valores de tasas de transferencias muy cercanas a lo esperado que el cual es 100Mbps., los valores más altos se encuentran a medio día y los más bajos en el horario nocturno

Para una distancia aproximada de 20 metros de distancia entre módems PLC:

Figura 44. Toma de datos a 20 metros TRENDNET

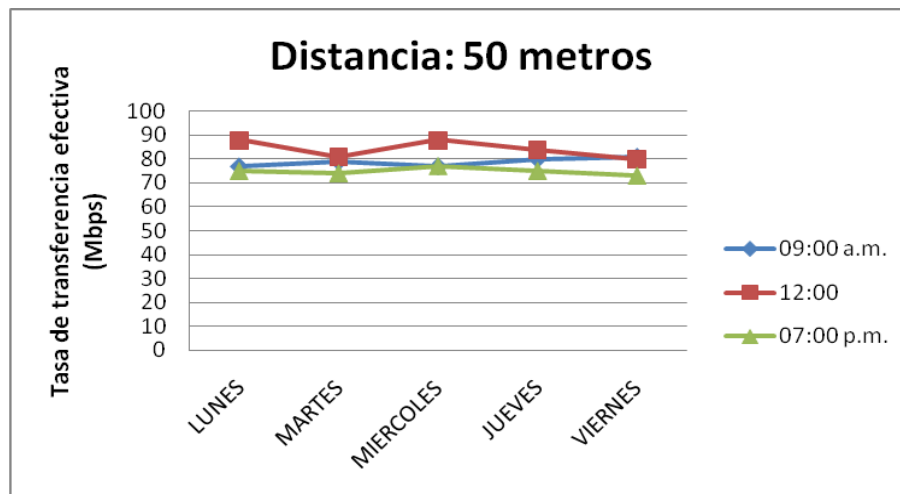


Fuente: Autor

A 20 metros la figura Figura 44 nos muestra que aun en el peor de los casos se poseen valores por encima del 75 % del resultado esperado. Al igual que la figura anterior, la tasa de transferencia más baja sucede en el horario nocturno y el mejor en el horario de mediodía.

Para una distancia aproximada de 50 metros de distancia entre módems PLC:

Figura 45. Toma de datos a 50 metros TRENDNET

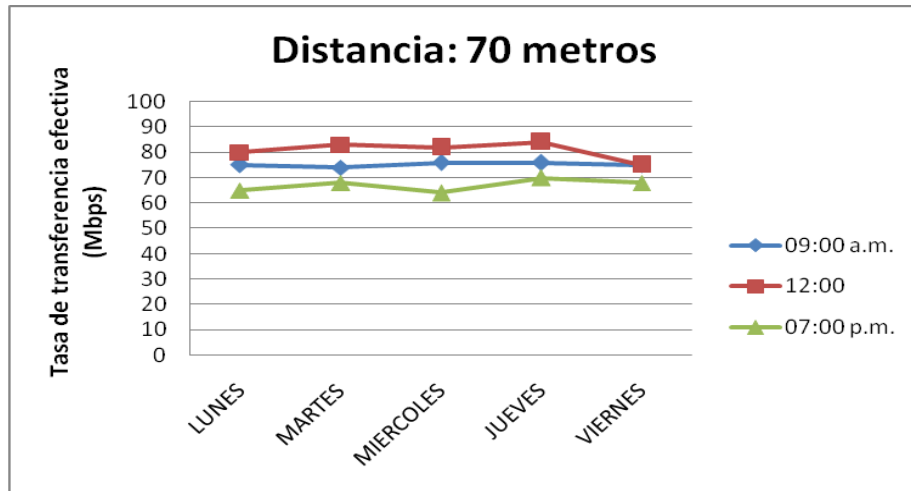


Fuente: Autor

A medida que aumenta la distancia los valores de tasas de transmisión bajan debido a la impedancia de la red y a los posibles ruidos que, aunque son muy leves según la caracterización de ruido, pueden estar presentes, de no ser así las gráficas serian unas rectas horizontales. Las tendencias de la Figura 45 se mantienen igual que en las medidas anteriores, a mediodía se encuentran los mejores resultados y en la noche los resultados más bajos

Para una distancia aproximada de 70 metros de distancia entre módems PLC:

Figura 46. Toma de datos a 70 metros TRENDNET



Fuente: Autor

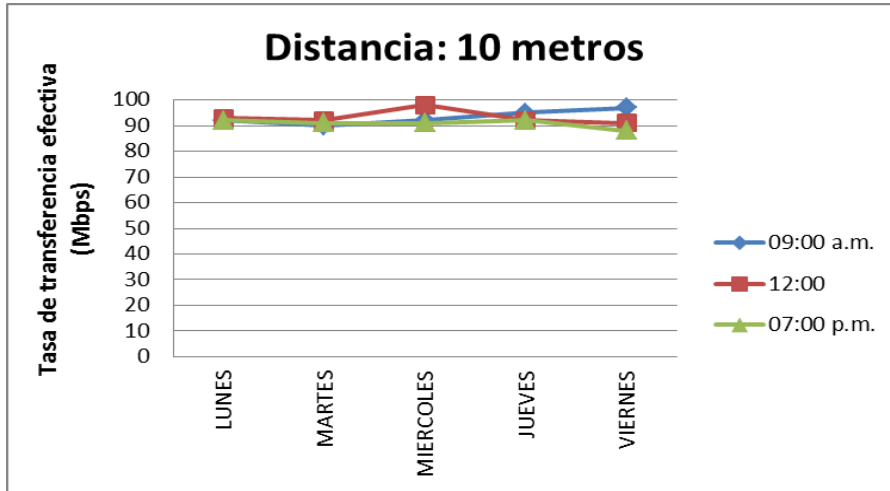
En la Figura 46 el peor caso se sigue manteniendo en el horario de la noche pero este valor aún sigue siendo por encima del 60% de la tasa de transferencia esperada.

- **Utilizando tecnología GIGLE (BELKIN)**

La metodología de las siguientes medidas es igual a la usada anteriormente pero ahora se usa la tecnológica que posee el *chipset* Gigle Networks. Como los equipos de cómputo usados para la toma de datos son los mismos, nuevamente se espera una respuesta ideal de 100 Mbps de tasa de transferencia

Para una distancia aproximada de 10 metros de distancia entre módems PLC:

Figura 47. Toma de datos a 10 metros BELKIN

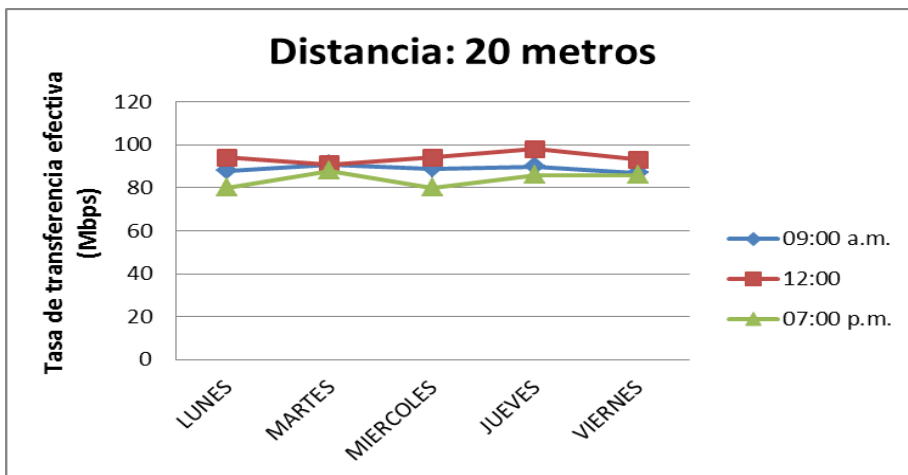


Fuente: Autor

Los resultados aunque con valores diferentes, ofrecen como resultados la misma tendencia que los resultados obtenidos con los equipos con tecnología Atheros

Para una distancia aproximada de 20 metros de distancia entre módems PLC:

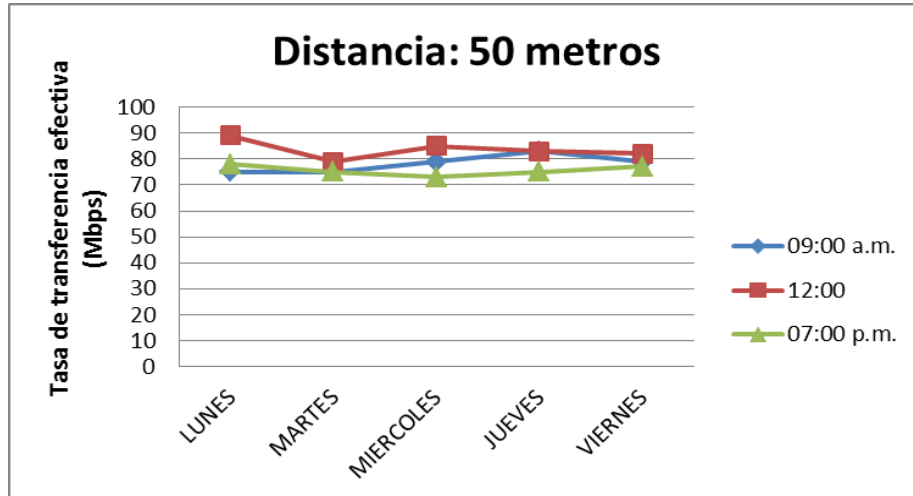
Figura 48. Toma de datos a 20 metros BELKIN



Fuente: Autor

Para una distancia aproximada de 50 metros de distancia entre módems PLC:

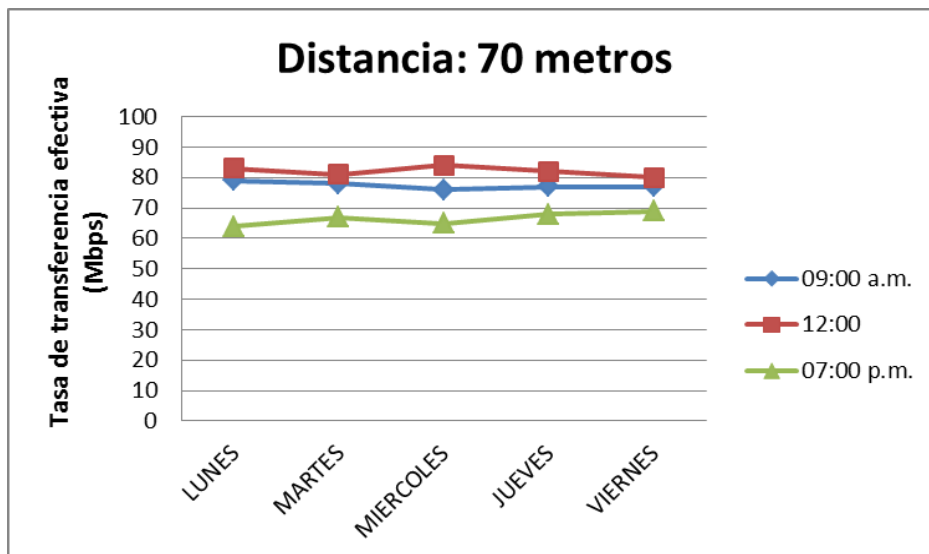
Figura 49. Toma de datos a 50 metros BELKIN



Fuente: Autor

Para una distancia aproximada de 70 metros de distancia entre módems PLC:

Figura 50. Toma de datos a 70 metros BELKIN



Fuente: Autor

Al igual que las medidas realizadas con la tecnología ATHEROS, siempre se mantiene que los mejores resultados se obtienen a mediodía y los valores más bajos en el horario nocturno.

7.5.2 Análisis de los resultados

En la medición de rendimiento de los equipos, la capacidad de ancho de banda esperada es de 100Mbps debido a las tarjetas de red utilizadas en los equipos de cómputo.

La peor tasa de transferencia sucede un miércoles a la distancia de 70 metros con una tasa de transferencia igual a los 64Mbps la cual representa una caída en rendimiento del 36% con respecto a la tasa de transferencia esperada.

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

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

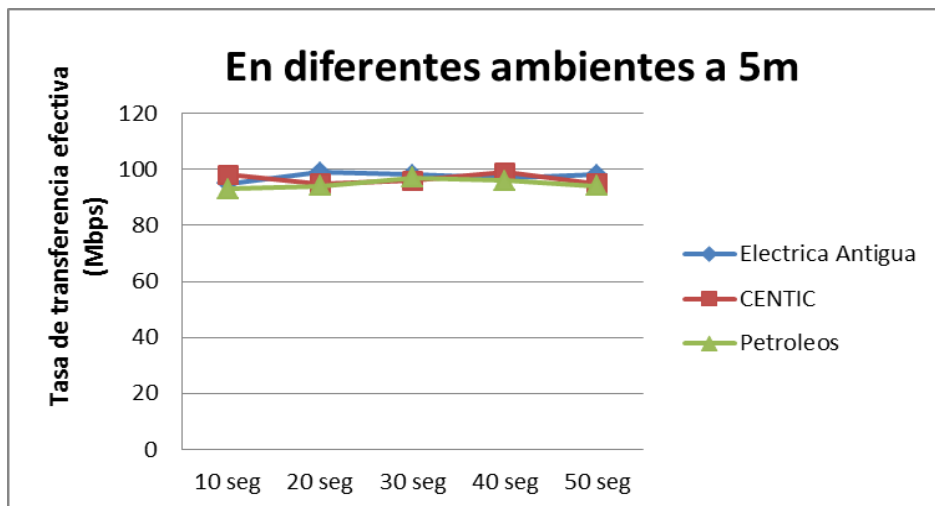
El ancho de banda soportado por la red eléctrica del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS para distancias inferiores a 100 metros, es suficiente para la transmisión de canales de internet actuales, los cuales, en el contexto de Bucaramanga, son inferiores a los 20Mbps. La recomendación del estándar P1901 es no utilizar distancias superiores entre repetidores.

7.5.3 Pruebas alternas

Para verificar el comportamiento en diferentes ambientes se hicieron pruebas en el edificio de Eléctrica Antigua, en el cual se detectó que todos los salones del segundo y tercer piso se encuentran en la misma fase, lo mismo se realizó en el CENTIC dentro de un salón de cómputo sobre la red regulada, y en el edificio de petróleos.

Los resultados se tabularon y se presentan en el siguiente gráfico:

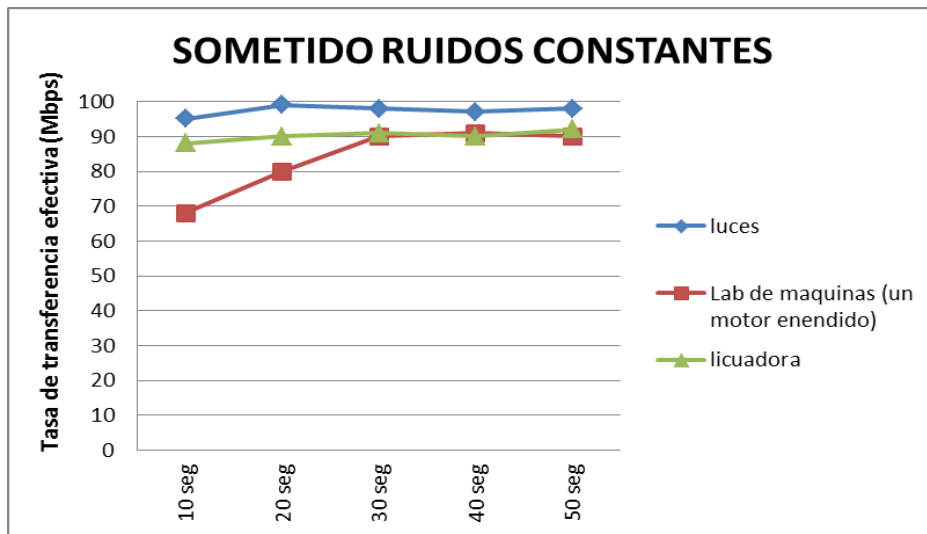
Figura 51. Pruebas en diferentes ambientes



Fuente: Autor

Ahora se introducen ruidos de manera intencional, en una casa se encienden todas las luces, en un laboratorio de máquinas se mantiene un motor encendido y en una cocina se enciende una licuadora. En todos los casos se colocan los equipos cerca a la fuente de ruido y en la misma fase. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 52. Pruebas sometido a ruidos constantes



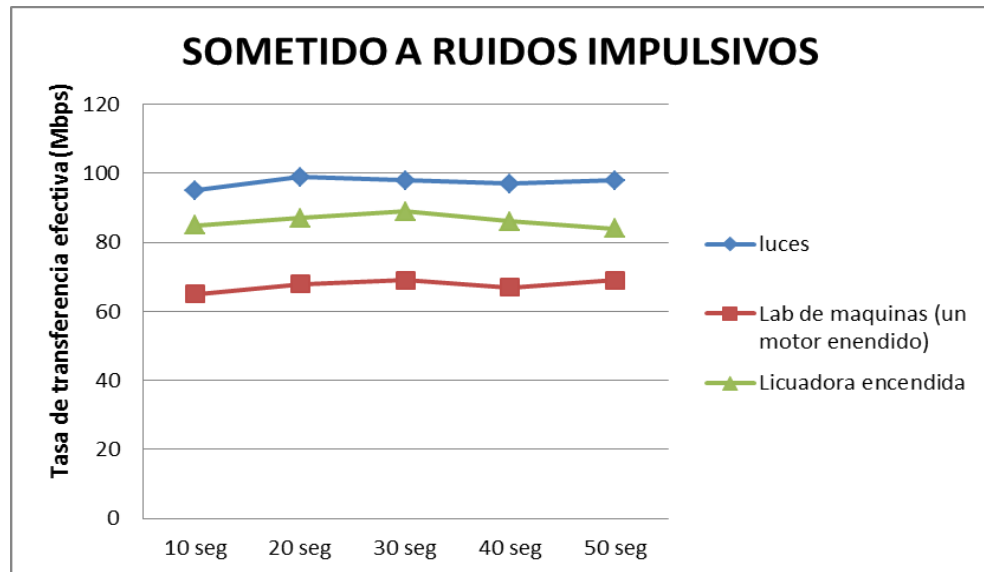
Fuente: Autor

Recien puesto el ruido se observan algunas bajas no sustanciales en la tasa de transeferencia, sin embargo es amortiguada hacia un valor alto.

Según artículos de investigación [30] [31] el ruido impulsivo es el que mas afecta las redes PLC

Se realizan pruebas en los mismos escenarios encendiendo y apagando constantemente las fuentes de ruido y se obtiene la siguiente gráfica con los resultados:

Figura 53. Pruebas sometido a ruidos impulsivos



Fuente: Autor

No se observa en ningún momento caída en la transmisión de datos, sino un descenso en el valor de la tasa de transferencia, punto importante en el momento de hablar de la fiabilidad de la red.

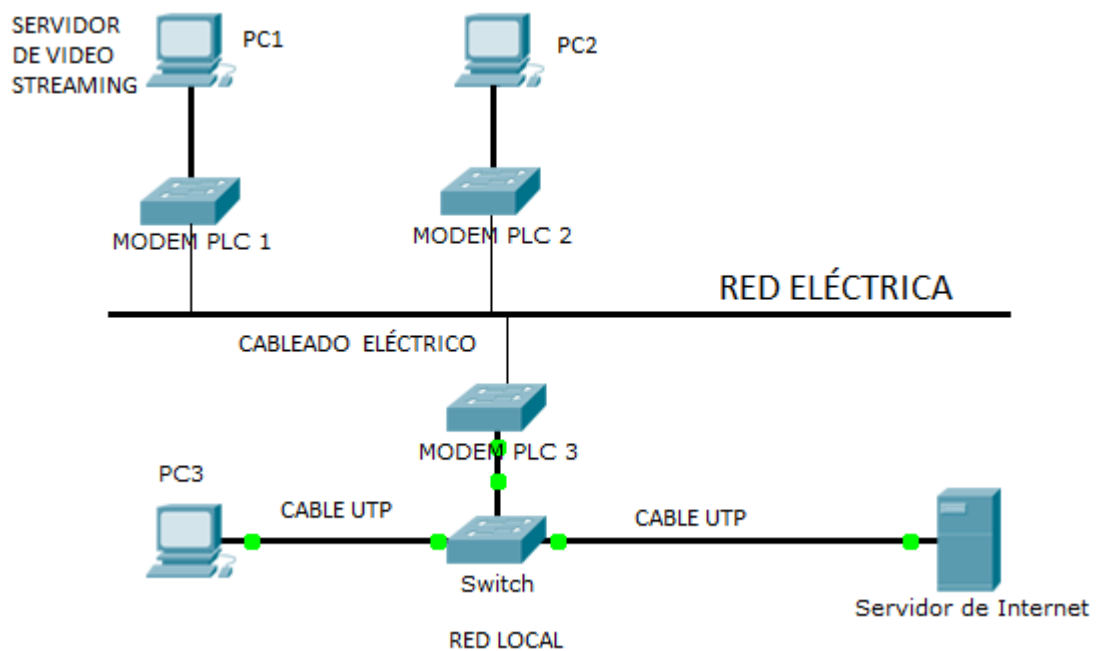
Se realizan pruebas de nuevo entre dos equipos conectados por PLC con una licuadora encendiéndola y apagándola pero esta vez medida por el comando típico en redes denominado ping, lo hacemos de manera constante usando la extensión -t. En este caso se encuentra que aleatoriamente uno u otro ping se pierde al superar su tiempo de vida (255ms máximo).

Según el estándar P1901, en una red PLC se realiza detección de errores, al haber realizado una prueba con ruido impulsivo se producen errores constantes, hecho que exige una retransmisión de datos y por consecuencia caídas en la tasa de transferencia [31]. El aspecto positivo es que evitó la pérdida de conectividad y por lo tanto se puede hablar de una red fiable

7.6 DESEMPEÑO DEL PLC ANTE TRANSMISIÓN DE VIDEO DIGITAL.

Ya habiendo probado los equipos mediante software de medición se realizan pruebas ante aplicaciones reales. Se implementa la red de la Figura 54.

Figura 54. Esquema de conectividad para pruebas video *streaming*



Fuente: Autor

PC1 y PC2 se encuentran conectados a través de la red eléctrica a una red local con servicio de Internet, PC3 se encuentra conectado directamente a la red local.

Un tipo de datos exigente es el video, por lo cual se instalan 2 servidores de video en el PC1, uno transmitiendo un video en alta definición y otro transmitiendo la imagen de una cámara webcam.

a través de PC2 se visualizó el funcionamiento de la cámara webcam y del video en alta definición proporcionados por el PC1 y se coloca a reproducir un video en línea desde Internet y se observó que todas las imágenes funcionaron si ningún problema y simultáneamente.

En PC3 se reproducen de los videos transmitidos por PC1 sin dejarse de reproducir en PC2 con lo cual se concluye que se puede manejar buen tráfico de información

7.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

El nuevo estándar de la IEEE P1901 garantiza la transmisión constante entre dos puntos aún en presencia de ruido, la tasa de transferencia es la que se puede tener pequeñas variaciones dependiendo de las condiciones de instalación del cableado eléctrico, su impedancia y de los equipos eléctricos o electrónicos conectados a él, tal y como se evidencia en los resultados de las pruebas de rendimiento realizadas y graficadas.

La metodología presentada permite realizar el análisis de transmisión de datos en banda ancha al interior de un edificio, utilizando un solo par de equipos PLC. De esta manera la red de potencia se vuelve a su vez red de datos. Como se mencionó, esto abre grandes posibilidades para edificios donde se dificulten las redes inalámbricas.

La metodología se utilizó en el del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS. Para este caso se determinó que el ancho de banda soportado por la red eléctrica para distancias inferiores a 100 metros, es suficiente para la implementación del servicio de Internet, el cual, en el contexto actual, posee anchos de banda reales inferiores a los 20Mbps.

El funcionamiento y rendimiento real de una red de datos se puede evaluar a partir de la tasa efectiva de transmisión medida a través de software especializado, a diferencia del valor mostrado por la tarjeta de red que en la mayoría de casos representa es la capacidad máxima de ancho de banda en condiciones ideales.

Es posible realizar una buena transmisión de datos en banda ancha, sobre la red eléctrica del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS y sobre edificios de condiciones similares, utilizando equipos bajo el estándar P1901 según queda demostrado con los resultados de las pruebas realizadas en diferentes ambientes.

Ruidos provocados constantemente por motores, encendido de luces y demás equipos electrónicos dentro de un edificio, no son causantes de pérdidas de conectividad en redes de datos instaladas bajo el estándar P1901, sin embargo causan unos retardos en las tasas de transferencias durante unos segundos de manera transitoria, durante los instantes siguientes al inicio de la inserción de ruido.

Los ruidos impulsivos mantienen una pérdida constante de datos, sin embargo, gracias a la corrección de errores que se realiza en la capa de enlace de datos de equipos bajo el estándar PLC, se logra mantener la conectividad siendo esto un aspecto destacable. Este es el único tipo de ruido que en el presente estudio mostró efectos más negativos para la tasa de transferencia de datos.

El desempeño de una red PLC para la transmisión de video *streaming* fue exitoso según las pruebas realizadas en donde se transmitieron 3 diferentes tipos de video

7.8 RECOMENDACIONES DEL CAPÍTULO

Se recomienda que la instalación de equipos PLC no se realice sobre extensiones eléctricas, regletas, ni UPS's o estabilizadores, debido a que durante la toma de medidas se notó experimentalmente que usando estos elementos se reducían considerablemente la tasa de transferencia de datos.

8. METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTAR LA TECNOLOGÍA PLC EN EDIFICIOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

8.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

Para la implementación de una red PLC en cualquier lugar se recomienda realizar una metodología experimental debido a que solo sobre la implementación en un lugar se sabrá si se obtendrán excelentes resultados.

La metodología experimental requiere que se realice un estudio de campo que permita garantizar la conectividad de la red final para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

1. Selección y compra de un par de dispositivos PLC que cumplan el estándar P1901 de la IEEE.

En el mercado actual se encuentran una gama completa de productos que cumplen con dicho estándar, dependiendo de las velocidades esperadas y el precio, se selecciona el tipo de equipos PLC que se deben conseguir. La adquisición de un par de equipos para iniciar el proceso de estudio de campo de hace fundamental.

2. Identificar la distribución de fases eléctricas dentro de la zona.

En caso de no tener planos eléctricos se hace necesario el uso del par de equipos PLC los cuales permiten identificar si dos puntos se encuentran en fase y de esta manera mediante la toma de datos poder realizar unos

planos de la distribución de fases o en su defecto de las distancias soportadas por la red eléctrica interna.

3. Seleccionar un punto como origen de la red.

Se escoge un punto de arranque para el diseño de la red, a partir de este punto se comenzara el estudio de campo para el diseño de la arquitectura de red.

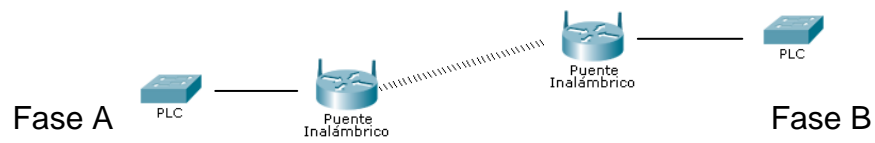
4. Identificar el alcance de señal y de esta manera identificar donde habrán repetidores o enlaces entre fases según sea el caso

Esta parte del diseño pretende identificar los puntos en donde se deben colocar módems PLC como repetidores, esta información se obtiene mediante un estudio de campo, para lo cual se coloca un modem PLC en un punto del edificio y otro a diferentes distancias verificando la cobertura de la señal. De esta manera se encuentran las distancias donde la señal de la red ha decaído notablemente. Este proceso se repite hasta cubrir todo el edificio.

Se deben tener en cuenta los equipos de interconexión entre fases, los cuales pueden conformarse con un par de módems PLC interconectados entre si por un cableado UTP o en su defecto por un puente inalámbrico

La Figura 55 representa la forma con la cual se puede realizar la interconexión de datos entre dos diferentes fases eléctricas mediante el uso de puentes inalámbricos.

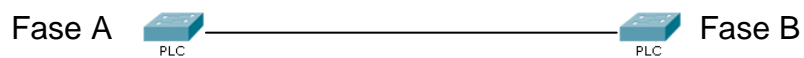
Figura 55. Interconexión entre fases usando puente inalámbrico



Fuente: Autor

La Figura 56 representa la forma con la cual se puede realizar la interconexión de datos entre dos fases eléctricas mediante el uso de cableado.

Figura 56. Interconexión entre fases con cable UTP



Fuente: Autor

5. Identificar los puntos de acceso a otras redes en caso de ser necesario.

En instituciones consiste en encontrar el punto de unión con una red local previamente instalada y en otros casos lo más típico es la búsqueda de un punto de conexión al servicio de Internet, para ambos casos se debe considerar el uso de un *router* para proteger la red o para mantenerla independiente de las demás redes.

6. Realizar el montaje y realizar pruebas de funcionamiento.

Donde se desee instalar un punto de trabajo solo se requiere de un modem PLC como medio de acceso y el cable entre el equipo de cómputo y el módem.

8.2 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

La metodología utilizada en la investigación funciona y se puede extrapolar para la implementación de redes de datos sobre el cableado eléctrico de edificios con condiciones similares.

8.3 RECOMENDACIONES DEL CAPÍTULO.

La metodología recomendada tiene sustento bajo el uso del estándar IEEE P1901, se recomienda verificar que los equipos utilizados en la implementación de una red cumplan dicho estándar.

9. TABLA DE CUMPLIMIENTO

OBJETIVO	CUMPLIMIENTO	CAPÍTULO
Realizar una caracterización del ruido y de la impedancia existente en la red eléctrica de baja tensión del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander.	100%	4
Realizar un estudio de tecnologías de banda ancha disponibles en el mercado que permitan la transmisión de datos a través de la red eléctrica.	100%	5
Diseñar una arquitectura de red para un sistema de comunicación entre dispositivos de cómputo usando la red eléctrica de baja tensión como medio de transmisión de los datos.	100%	6
Realizar pruebas de desempeño de dos tecnologías de transmisión de datos a través de la red eléctrica de baja tensión del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander.	100%	7
Plantear la metodología para implementar la tecnología PLC en edificios de la Universidad Industrial de Santander, con características similares a la del edificio de Laboratorios Pesados, basado en los resultados obtenidos tras el cumplimiento de los objetivos anteriores.	100%	8

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

Las frecuencias de trabajo para redes PLC recomendadas por el estándar P1901 se encuentran libres de ruidos en la red eléctrica de del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander, tal y como se comprueba al realizar la caracterización del ruido eléctrico. En las gráficas resultantes de dichas medidas se observa que el rango de 1,6 Mhz a 30Mhz se encuentra disponible para realizar transmisiones de señales.

La red eléctrica del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS cumple los requisitos mínimos dados por el estándar P1901 para el uso de equipos PLC, en donde se recomiendan valores de impedancia inferiores a los 100 Ω , esto se puede afirmar durante la caracterización de la impedancia realizada en la investigación donde se demuestra que en el peor de los casos la máxima impedancia medida fue de 25.6 Ω .

Aunque en países latinoamericanos poco se usa esta tecnología según Carlos Toledo en su monografía “Acceso a internet mediante la red eléctrica domiciliaria” [2], en el mercado las empresas ya tradicionalmente conocidas por producir equipos y dispositivos para redes vienen ofreciendo varias alternativas de soluciones PLC. Los precios son competitivos con otras tecnologías como lo es el WiFi, para verificar ello se recomienda visitar las páginas webs de las marcas mencionadas en este libro o visitar catálogos de empresas de ventas de equipos de redes de datos.

Las tecnologías actuales de banda ancha disponibles en el mercado actual con mejores resultados se encuentran usando el tipo de modulación de espectro ensanchado OFDM recomendado por el estándar P1901 tal y como se muestra en la tabla 9.

La máxima velocidad de transferencia se consigue en la actualidad usando la tecnología del *chipset* GIGLE NETWORKS, la cual muestra una tasa de transferencia de 1Gbps. Sin embargo solo una marca es la que la está trabajando. Las marcas de más reconocimiento utilizan el *chipset* ATHEROS el cual trabaja a 500Mbps.

Una arquitectura de red PLC debe garantizar un cubrimiento total de una red de datos dentro de un edificio según el estándar PLC. Para ello se debe identificar si se tienen cambios de fase eléctrica dentro de la construcción. En caso de no tener cambios de fase la red solo consiste en inyectarle los datos a la red eléctrica mediante un modem PLC y donde se requiera un punto de acceso se coloca otro modem PLC. En el caso de que si se detecten diferentes fases se procede a identificar la distribución de dichas fases, con esta información se puede diseñar un mecanismo de interconexión entre fases que garantice conectividad total entre todos los puntos de acceso a la red de datos creada.

La coexistencia entre la tecnología PLC y WiFi es posible y se pueden usar de manera complementarias tal y como se presenta en el diseño de la arquitectura de red para el edificio de Laboratorios Pesados de la UIS, en el cual se usan puentes inalámbricos para realizar la interconexión entre fases.

Un Par de equipos PLC permiten realizar un buen estudio de campo para el diseño de una red dentro de cualquier mobiliario, esto se puede afirmar con el presente trabajo en el cual se logra realizar una propuesta, mediante esta

metodología, garantizando conectividad total dentro del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS comprobando la conexión paso a paso con tan solo dos módems PLC.

El nuevo estándar de la IEEE P1901 garantiza la transmisión constante entre dos puntos aún en presencia de ruido, la tasa de transferencia es la que se puede tener pequeñas variaciones dependiendo de las condiciones de instalación del cableado eléctrico, su impedancia y de los equipos eléctricos o electrónicos conectados a él, tal y como se evidencia en los resultados de las pruebas de rendimiento realizadas y graficadas.

La metodología presentada permite realizar el análisis de transmisión de datos en banda ancha al interior de un edificio, utilizando un solo par de equipos PLC. De esta manera la red de potencia se vuelve a su vez red de datos. Como se mencionó, esto abre grandes posibilidades para edificios donde se dificulten las redes inalámbricas.

La metodología se utilizó en el del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS. Para este caso se determinó que el ancho de banda soportado por la red eléctrica para distancias inferiores a 100 metros, es suficiente para la implementación del servicio de Internet, el cual, en el contexto actual, posee anchos de banda reales inferiores a los 20Mbps.

El funcionamiento y rendimiento real de una red de datos se puede evaluar a partir de la tasa efectiva de transmisión medida a través de software especializado, a diferencia del valor mostrado por la tarjeta de red que en la mayoría de casos representa es la capacidad máxima de ancho de banda en condiciones ideales.

Es posible realizar una buena transmisión de datos en banda ancha, sobre la red eléctrica del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS y sobre edificios de

condiciones similares, utilizando equipos bajo el estándar P1901 según queda demostrado con los resultados de las pruebas realizadas en diferentes ambientes.

Ruidos provocados constantemente por motores, encendido de luces y demás equipos electrónicos dentro de un edificio, no son causantes de pérdidas de conectividad en redes de datos instaladas bajo el estándar P1901, sin embargo causan unos retardos en las tasas de transferencias durante unos segundos de manera transitoria, durante los instantes siguientes al inicio de la inserción de ruido.

Los ruidos impulsivos mantienen una pérdida constante de datos, sin embargo, gracias a la corrección de errores que se realiza en la capa de enlace de datos de equipos bajo el estándar PLC, se logra mantener la conectividad siendo esto un aspecto destacable. Este es el único tipo de ruido que en el presente estudio mostró efectos más negativos para la tasa de transferencia de datos.

La metodología utilizada en la investigación funciona y se puede extrapolar para la implementación de redes de datos sobre el cableado eléctrico de edificios con condiciones similares.

10.2 RECOMENDACIONES DEL CAPÍTULO

Para detectar si dos puntos de una red eléctrica se encuentran dentro de la misma fase eléctrica, se puede utilizar un módulo transmisor y receptor bajo cualquier tipo de modulación y acoplarlos a la red eléctrica mediante filtros, de esta manera se puede evitar la compra previa de módems PLC.

Para conseguir referencias de equipos PLC, se recomienda visitar las líneas de productos de empresas especializadas en el campo de las redes de datos. El término más utilizado para esta línea de productos es “powerline” o “adaptadores powerline”. Constantemente renuevan sus características por lo tanto un estudio de tecnologías puede desactualizarse fácilmente.

En caso de que un edificio no permita la implementación de redes inalámbricas debido a motivos de interferencia electromagnética, el método recomendado para realizar la conectividad entre fases debe ser mediante el uso de medios guiados, el cual consiste básicamente en interconectar dos módulos PLC con un cable cruzado UTP y conectar cada módulo a diferente fase eléctrica, tal y como se observa en la Figura 39. Las dos fases quedarían de esta manera dentro de la misma red de datos PLC.

Se recomienda que la instalación de equipos PLC no se realice sobre extensiones eléctricas, regletas, ni UPS's o estabilizadores, debido a que durante la toma de medidas se notó experimentalmente que usando estos elementos se reducían considerablemente la tasa de transferencia de datos.

La metodología recomendada tiene sustento bajo el uso del estándar IEEE P1901, se recomienda verificar que los equipos utilizados en la implementación de una red cumplan dicho estándar.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] OSAKA P., Soini M., Sydanheimo L., Kivikoski M. “Considerations of Using Power Line Communications in the AMR System” Tampere University of Technology. Finland. 2009.
- [2] TOLEDO FLÓREZ Carlos Francisco. “Acceso a internet mediante la red eléctrica domiciliaria”. Monografía para optar el título de especialista en telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2005.
- [3] YAZDANI Javad and Hurary Bahram. “Power Line Communications: satate of the art and future trends”. IEEE communications Magazine April 2003. University of Lancaster.
- [4] PÁEZ PENAGOS Hernán. “Sistema de comunicación de datos a través de la red eléctrica domiciliaria”. Docente del área de comunicaciones, facultad de ingeniería de la escuela Colombia de ingeniería “Julio Garavito”. Universidad de los Andes. Bogotá. Disponible en línea <<<http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rev18-16.pdf>. >>. Citado el 11 de Agosto de 2011
- [5] ETSI. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);EMC network standards; Part 3: Wire-line telecommunications networks using power lines [Endorsed CENELEC pr50529-3: 2008]
- [6] PLC FORUM. En línea. <<http://www.plcforum.org/>> Citado el 16 de marzo de 2009.

[7] BURNS, Terrence. IEEE Starts Standard to Support Broadband Communications Over Local Power Lines. En línea. <http://standards.ieee.org/announcements/pr_p1675.html> citado el 4 de marzo de 2009

[8] Revista ingenium. “Análisis simple del estándar Home plug 1.0 aplicado a la transmisión de información”. 2 Junio 2011. Revista N°1. Disponible en línea <<<http://www.revistavoxingenium.edu.co/?p=377>. >>. Citado el 8 de Agosto de 2011

[9] IEEE Communications Society. IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. IEEE Std 1901 30 December 2010

[10] SCHNEIDER David. “Is this the moment for broadband over power line?”. IEEE spectrum inside technology. Julio 2009. Disponible en línea <<<http://spectrum.ieee.org/telecom/internet/is-this-the-moment-for-broadband-over-power-lines>>>. Citado el 21 de Agosto de 2011

[11] IEEE Communications Society. Estándar para redes de banda ancha por líneas eléctricas de potencia: especificación de las capas física y de control de acceso al medio. IEEE P1901.

[12] IEEE Communications Society. Estándar sobre dispositivos para banda ancha por líneas eléctricas de potencia. IEEE P1675.

[13] IEEE Communications Society. Estándar para equipo de comunicación de banda ancha por líneas eléctricas de potencia – requerimientos de compatibilidad electromagnética – métodos de medición y pruebas. IEEE P1775.

[14] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución CREG 097 de 2008. Normatividad

[15] WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas, Prentice Hall. Cuarta edición. México 2003

[16] AVRIL G., Gauthier F., Moulin F., Zeddami A., Nouvel F.. Characterization of Time Variation of the Powerline Channel Frequency Response Simultaneously with Impulsive Noise.

[17] Umatani, T.; Ohno, K.; Itami, M., "A study on schemes of reducing influence of impulse noise in OFDM under multi-path channel," Consumer Electronics (ICCE), 2010 Digest of Technical Papers International Conference, pp.119-120, Disponible en línea <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5418903&isnumber=5418683>> Citado el 10 de Enero de 2011

[18] Al-Mawali, K.S.; Al-Qahtani, F.S.; Hussain, Z.M.; , "Adaptive power loading for OFDM-based power line communications impaired by impulsive noise," Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2010 IEEE International Symposium on ,vol., no., pp.178-182, 28-31 Disponible en línea. << <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5479924&isnumber=5479877>>> Citado el 10 de Enero de 2011

[19] DEGARDIN V., Lienard M., Degauque P., Zeddami A., F. Impulsive Noise on Indoor Power lines: Characterization and Mitigation of its Effect on PLC Systems. Gauthier, EMC 2003.

[20] IMMERMANN, K. Dostert. An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Power-Line Networks, ISPLC 2000

[21] KWASNIOK Peter J., Man D. Bui, A. James Kozlowski. Technique for Measurement of Powerline Impedances in the Frequency Range from 500 kHz to 500 Mhz and Stanislaw S. Stuchly. IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 35, NO. 1, FEBRUARY 1993

[22] HERNANDEZ CAMELO Glenn Elmer. "Funciones de monitoreo y control de signos vitales a través del envío de datos, a distancia usando la red eléctrica". Fesalud. Vol 3. N° 11 2007. Disponible en línea <<<http://archivo.revistaesalud.com/index.php/revistaesalud/article/view/170/461>. >>. Citado el 22 de Agosto de 2011

[23] TEKTRONIX, Especificaciones del Analizador de espectro Tectronix disponible en línea <<<http://www2.tek.com/cmswpt/psdetails.lotr?ct=PS&cs=Data+Sheets&ci=14639&lc=EN>>> Citado el 16 de marzo de 2009.

[24] CONNECTED HOME WORLD. DS2 New Powerline Communication *Chipset*: AITANA++ Disponible en línea <<<http://www.connectedhomeworld.com/content/ds2-new-powerline-communication-chipset-aitana>>> Citado el 20 de Diciembre de 2010.

[25] ATHEROS. Qualcomm Atheros AMP™ Powerline Technologies. Disponible en línea <<<http://www.atheros.com/networking/>>> Citado el 20 de Diciembre de 2010

[26] BROADCOM. BROADCOMA ADQUIERE GIGLE NETWORKS. Disponible en línea << <http://www.giglenetworks.com/>>> Citado el 20 de Diciembre de 2010

[27] CIRCUITCITY. NETGEAR Wall-plugued Ethernet extended kit XE102G. En línea.

<<http://co.netgear.com/Products/PowerlineNetworking/PowerlineEthernetAdapters/XE102G.aspx?detail=Specifications>> Citado el 20 de Diciembre de 2010

[28] DLINK. Powerline HD Ethernet Adapter DHP-301. En línea.

<<http://www.dlinkla.com/home/productos/producto.jsp?idp=951>> Citado el 20 de Diciembre de 2009

[29] LINKSYS. LINEA DE PRODUCTOS POWERLINE. Disponible en línea <<

<http://homestore.cisco.com/en-us/products/linksys->

[powerline_stcVVcatId554690VVviewcat.htm?icid=global-header-powerline-link](http://homestore.cisco.com/en-us/products/linksys-powerline_stcVVcatId554690VVviewcat.htm?icid=global-header-powerline-link)>>

Citado el 20 de Diciembre de 2010

[30] AMAZON. POWERLINE NETWORK ADAPTER. Disponible en línea

<<<http://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=1194444>>> Citado el 20 de

Diciembre de 2010

[31] UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA “iperf. Disponible en línea

<<<http://www.noc.ucf.edu/Tools/lperf/default.htm>>>. Citado el 20 de Agosto de

2011

[32] IPERF. “the home page for iperf”. Disponible en línea:

<<<http://dast.nlanr.net/Projects/lperf/>>>. Citado el 20 de Agosto de 2011

[33] AVALLONE S. y Pescape A.. (2011, Julio) “página oficial para el soporte de la

herramienta d-itg”. Departamento de Informática e Sistemática, Universidad de

Napoli Federico II, Italia. Disponible en línea

<<<http://www.grid.unima.it/software/ITG/>>>. Citado el 10 de Agosto de 2011

[34] SEMKEN V.. (2011, Julio) “mediciones con distributed internet trafic generator”. EHAS,WIKI. Disponible en línea <<http://wiki.echas.org/index.php?title=Mediciones_con_Distributed_Internet_Traffic_Generator>>. Citado el 24 de Agosto de 2011.

[35] Barahona Rodríguez, C., López Salamanca, J., “Estimación del rendimiento en la tecnología PLC frente a diversos escenarios ruidosos” Trabajo de grado de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Militar Nueva granada, Colombia, 2008.

ANEXO I – ARTÍCULO

ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA SOBRE UN CABLEADO ELÉCTRICO

Ariel Y. Villarreal S.^{1,2}

Sergio F. Castillo C.¹

Pedro J. Trujillo T.¹

¹ Escuela De Ingeniería de Sistemas E Informática, Universidad Industrial de Santander – Bucaramanga Colombia

² Programa de Ingeniería Electrónica, Unidades Tecnológicas de Santander

RESUMEN

Al evaluar una red de datos se debe tener en cuenta su rendimiento, el cual es aquel que indica la tasa real de transmisión de datos. El presente artículo es basado en un trabajo de investigación que analiza el rendimiento de una red de banda ancha sobre la red eléctrica del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander, utilizando tecnologías que cumplen el estándar P1901 para redes PLC

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

ABSTRACT

When we are evaluating a data network we must consider the performance, which is one that indicates the actual rate of data transmission. This paper is based on a research study that analyzes the performance of a broadband network over power lines of the “Laboratorios Pesados” of the “Universidad Industrial de Santander”, using technologies that meet the standard for PLC networks P1901

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

1. INTRODUCCIÓN.

Existen múltiples tecnologías para implementar una red de datos, una opción es usar las líneas de potencia eléctrica.

Inicialmente se dan a conocer aspectos generales al tema de la transmisión de datos a través de la red eléctrica. Después se presenta una metodología de trabajo para la medición de parámetros que permitan analizar el rendimiento

de una transmisión de datos sobre la red eléctrica un edificio.

La idea no es que se remplacen tecnologías ya acogidas en nuestro entorno como lo es el uso de redes inalámbricas (WiFi), sino presentar una opción más para transmisión de datos o un complemento para estas tecnologías.

Al final se pretende saber si es posible la implementación de esta tecnología en edificios locales, como punto de referencia se tomó el edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander.

2. TECNOLOGÍA PLC.

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

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

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

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

Este estándar se enfoca en [4]:

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

Interoperabilidad. Uno de los principales logros del P1901 es que permite ser utilizado para toda clase de dispositivos BPL. Para lograr esto, se especifican los mecanismos para la coexistencia e interoperabilidad entre dispositivos BPLs. Así, el

P1901 permite la interconexión de dispositivos tan variados como [4]:

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

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

Módems PLC. Uno de los principales problemas de la transmisión de datos por potencia es el alto y grave riesgo de averías causadas al ser conectados directamente a la toma de 110v, razón por la cual se implementan filtros pasa altos configurados frecuencias superiores a los 60Hz como medida de precaución.

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

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

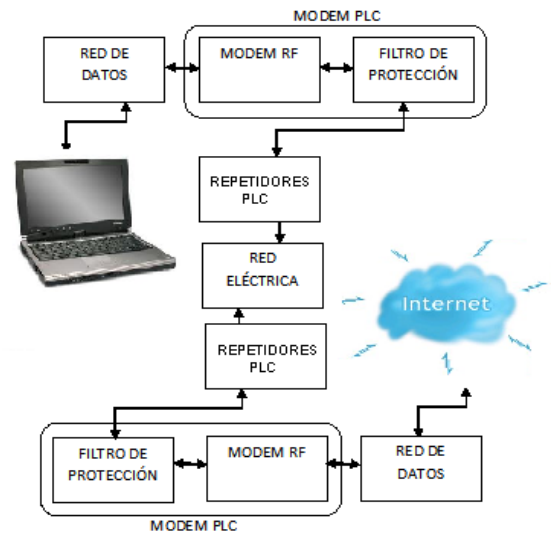


Figura 1. Acople entre equipos de redes con la red eléctrica mediante la tecnología PLC

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

3. ASPECTOS TÉCNICOS

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

Capacidad de Ancho de banda. En electrónica, el ancho de banda representa el tamaño de una banda de frecuencia (frecuencia máxima –

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

Tasa de transferencia efectiva. Si bien es cierto el ancho de banda representa la capacidad máxima de transferencia, esto no significa que siempre se mantenga dicha velocidad. Los datos pueden presentar latencias dependiendo del tráfico de información que fluye por el medio de transmisión. La tasa de transferencia efectiva representa el ancho de banda real medido en un momento concreto normalmente es inferior a la capacidad del ancho de banda debido a varios aspectos como:

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

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

4. METODOLOGÍA APLICADA

Inicialmente se requiere implementar el enlace de datos dentro del edificio de Laboratorios Pesados de la Universidad Industrial de Santander siguiendo el esquema mostrado en la figura 2; después se realiza la instalación de las herramientas de desempeño; en seguida, se ejecutan las rutinas de mediciones y por último, se analizan los resultados obtenidos. Con los anteriores pasos se realiza la evaluación del enlace de datos [7].

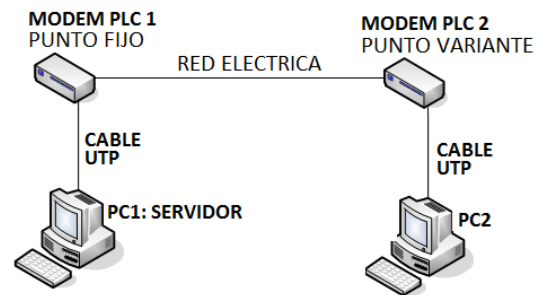


Figura 2. Esquema de implementación de un enlace de datos en la UIS

Se implementó una red con una transferencia de datos esperada de 100Mbps, velocidad que será punto de referencia para el análisis de rendimiento. Los módems PLC Utilizados cumplen con el estándar P1901 y permiten según sus especificaciones velocidades de transmisión superiores a los 100Mbps (específicamente 500Mbps³ y 1Gbps⁴), los equipos de cómputo

³ Modems PLC TPL – 401E de TRENDnet

usados poseen una tarjeta de red que trabajan a 100Mbps los cuales marcaran el punto de referencia esperado, el cable UTP usado fue categoría 5E de longitud no mayor a un metro, y la red eléctrica sobre la que se hicieron las pruebas fue la del edificio UIS

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

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

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

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

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO

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

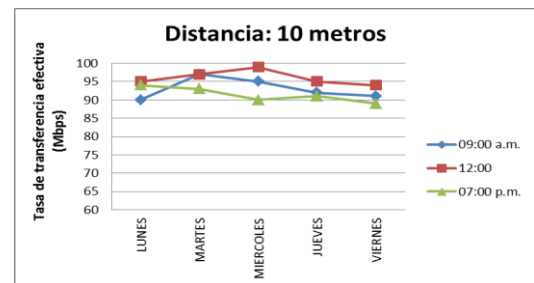


Figura 3. Toma de datos a 10 metros

Para una distancia aproximada de 20 metros de distancia entre módems PLC

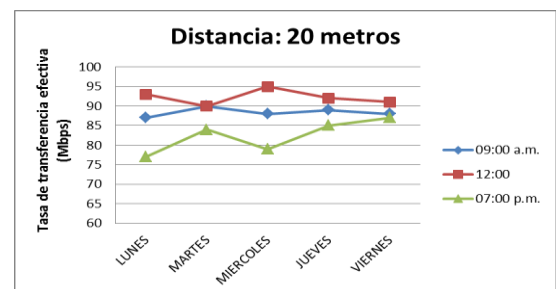


Figura 4. Toma de datos a 20 metros

Para una distancia aproximada de 50 metros de distancia entre módems PLC

⁴ Modem PLC Gigabit Powerline HD de BELKIN

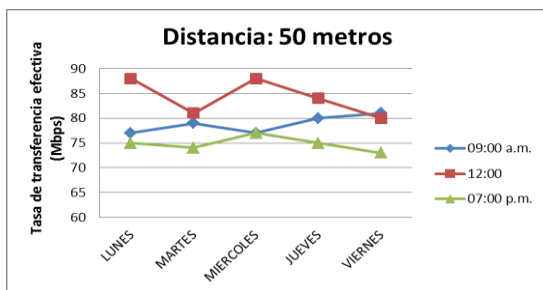


Figura 5. Toma de datos a 50 metros

Para una distancia aproximada de 70 metros de distancia entre módems PLC

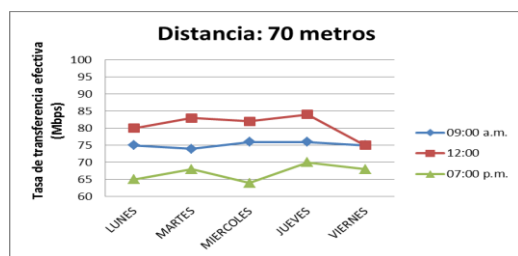


Figura 6. Toma de datos a 70 metros

La capacidad de ancho de banda esperada es de 100Mbps debido a las tarjetas de red utilizadas en los equipos en el peor de los casos sucede el miércoles a la distancia de 70 metros con una tasa de transferencia igual a los 64Mbps la cual representa con una caída en rendimiento del 36%

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

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

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

Para las mediciones se requirió la configuración del tamaño de las tramas adecuado en búsqueda de resultados lo más cercanos posibles a la realidad. Se tomaron dos muestras de cada día hábil por lo cual se requirió de un tiempo de duración de tomas de muestras de 2 semanas, esto con el fin de promediarlas y obtener resultados más certeros. Para las mediciones se realizó un script que contenía las líneas de código de las herramientas iperf y DITG, estas mediciones fueron enviadas a archivos de texto los cuales se analizaron para obtener los resultados mostrados.

6. CONCLUSIONES

La metodología presentada permite realizar el ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA al interior de un edificio, utilizando la un solo par de equipos PLC. De esta manera la red de potencia se vuelve a su vez red de datos. Como se mencionó, esto abre grandes posibilidades para edificios donde se dificulten las redes inalámbricas.

La metodología se utilizó en el del edificio de Laboratorios Pesados de la UIS. Para este caso se determinó que el ancho de banda soportado por la red eléctrica para distancias inferiores a 100 metros, es suficiente para la implementación del servicio de Internet, el cual, en el contexto actual,

posee anchos de banda reales inferiores a los 20Mbps.

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

El funcionamiento y rendimiento real de una red de datos se puede evaluar a partir de la tasa efectiva de transmisión medida a través de software especializado, a diferencia del valor mostrado por la tarjeta de red que en la mayoría de casos representa es la capacidad máxima de ancho de banda en condiciones ideales.

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

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CARCELLE, Xavier. Power Line Communications In Practice. Editorial : Artech House. 2009
- [2] CENELEC EN 50065-1:2001 "Signaling on low voltage electrical installations in the frequency range 3kHz to 148.5kHz", Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances.
- [3] ETSI. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM);EMC network standards;Part 3: Wire-line telecommunications networks using power lines [Endorsed CENELEC pr50529-3: 2008]
- [4] IEEE Communications Society. IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications. . IEEE Std 1901™- 2010
- [5] PINZON BARRIOS, S., “ Predicción de la tasa de Throughput en una red inalámbrica (WLAN 802.11b)”, Tesis de Maestría en Ingeniería Área Electrónica, Colombia 2005.
- [6] M.J. Álvarez, A. P. Flórez, and Y. A. Rodríguez, “Diseño e implementación de una metodología para la evaluación de una red inalámbrica (WLAN 802.11b).” Proyecto de pregrado de la universidad Industrial de Santander, 2004.
- [7] VELAZCO C Daniel A., Gualdrón Oscar y Rugeles José, “Evaluación De Desempeño De Un Enlace De Datos Empleando Cable Internet Access”, Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, ISSN: 1692-7257 - Volumen 1 - Número 15 - Año 2010



ANEXO II – TOMA DE DATOS

- Para la toma de datos se realizó el siguiente scrip de comandos invocando los programas de medición Iperf, D-itg y el comando PING:

```
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
echo PRUEBAS DE DITG HECHAS EL DIA %Date:~0,2% DEL MES
%Date:~3,2% DEL %Date:~6,4% A LAS %Time:~0,2%:%Time:~3,2%
>>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
ITGSend.exe -l itgsend.log -a 192.168.0.1 -t 60000 -C 9999999 -c 64000
ITGDec.exe itgsend.log -v >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo =          = >>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
```



```
echo PRUEBAS DE IPERF HECHAS EL DIA %Date:~0,2% DEL MES
%Date:~3,2% DEL %Date:~6,4% A LAS %Time:~0,2%:%Time:~3,2%
>>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
iperf.exe -c 192.168.0.1 -P 1 -i 1 -p 5001 -w 64.0K -M 64.0K -l 1.0m -C -f m -t 60
>>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo = = >>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
echo PRUEBAS DE PING HECHAS EL DIA %Date:~0,2% DEL MES
%Date:~3,2% DEL %Date:~6,4% A LAS %Time:~0,2%:%Time:~3,2%
>>pruebas.txt
echo ===== >>pruebas.txt
ping 192.168.0.1 -n 60 >>pruebas.txt
```

- A continuación se presenta una muestra de los datos arrojados por la medición:



=====

=====

PRUEBAS DE DITG HECHAS EL DIA 30 DEL MES 11 DEL 2011 A LAS 9:38

=====

= =
= =
= =
= =

ITGDec version 2.8.0-rc1 (r459)

Compile-time options:

Flow number: 1

From 192.168.0.2:55160

To 192.168.0.2:55160

Total time = 59.984000 s
Total packets = 4241
Minimum delay = 0.000000 s
Maximum delay = 0.000000 s
Average delay = 0.000000 s
Average jitter = 0.000000 s
Delay standard deviation = 0.000000 s
Bytes received = 271424000
Average bitrate = 36199.519872 Kbit/s
Average packet rate = 70.702187 pkt/s
Packets dropped = 0 (0.00 %)
Average loss-burst size = 0.000000 pkt

***** TOTAL RESULTS *****

Number of flows = 1
Total time = 59.984000 s
Total packets = 4241
Minimum delay = 0.000000 s
Maximum delay = 0.000000 s
Average delay = 0.000000 s
Average jitter = 0.000000 s



Delay standard deviation = 0.000000 s
Bytes received = 271424000
Average bitrate = 36199.519872 Kbit/s
Average packet rate = 70.702187 pkt/s
Packets dropped = 0 (0.00 %)
Average loss-burst size = 0 pkt
Error lines = 0

= =
= =
= =
= =

=====

PRUEBAS DE IPERF HECHAS EL DIA 30 DEL MES 11 DEL 2011 A LAS 9:39

=====

= =
= =
= =
= =

Client connecting to 192.168.0.1, TCP port 5001
TCP window size: 0.06 MByte

[164] local 192.168.0.2 port 51153 connected with 192.168.0.1 port 5001

[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[164]	0.0- 1.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	1.0- 2.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	2.0- 3.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	3.0- 4.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbites/sec
[164]	4.0- 5.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	5.0- 6.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	6.0- 7.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbites/sec
[164]	7.0- 8.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	8.0- 9.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	9.0-10.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbites/sec
[164]	10.0-11.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	11.0-12.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	12.0-13.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbites/sec
[164]	13.0-14.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbites/sec



[164]	14.0-15.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	15.0-16.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	16.0-17.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbbits/sec
[164]	17.0-18.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	18.0-19.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	19.0-20.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbbits/sec
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[164]	20.0-21.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	21.0-22.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	22.0-23.0 sec	0.00 MBytes	0.00 Mbbits/sec
[164]	23.0-24.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	24.0-25.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	25.0-26.0 sec	0.00 MBytes	0.00 Mbbits/sec
[164]	26.0-27.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	27.0-28.0 sec	0.00 MBytes	0.00 Mbbits/sec
[164]	28.0-29.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	29.0-30.0 sec	0.00 MBytes	0.00 Mbbits/sec
[164]	30.0-31.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbbits/sec
[164]	31.0-32.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	32.0-33.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	33.0-34.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbbits/sec
[164]	34.0-35.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	35.0-36.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	36.0-37.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbbits/sec
[164]	37.0-38.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	38.0-39.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	39.0-40.0 sec	3.00 MBytes	25.2 Mbbits/sec
[ID]	Interval	Transfer	Bandwidth
[164]	40.0-41.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	41.0-42.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	42.0-43.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	43.0-44.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	44.0-45.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	45.0-46.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	46.0-47.0 sec	1.00 MBytes	8.39 Mbbits/sec
[164]	47.0-48.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	48.0-49.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	49.0-50.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec
[164]	50.0-51.0 sec	2.00 MBytes	16.8 Mbbits/sec



```
[164] 51.0-52.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
[164] 52.0-53.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
[164] 53.0-54.0 sec 3.00 MBytes 25.2 Mbbits/sec
[164] 54.0-55.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
[164] 55.0-56.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
[164] 56.0-57.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
[164] 57.0-58.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
[164] 58.0-59.0 sec 3.00 MBytes 25.2 Mbbits/sec
[164] 59.0-60.0 sec 2.00 MBytes 16.8 Mbbits/sec
```

```
[ ID] Interval      Transfer  Bandwidth
[164] 0.0-60.2 sec 117 MBytes 16.3 Mbbits/sec
```

```
=      =
=      =
=      =
=      =
```

```
=====
```

PRUEBAS DE PING HECHAS EL DIA 30 DEL MES 11 DEL 2011 A LAS 9:40

```
=====
```

Haciendo ping a 192.168.0.1 con 32 bytes de datos:

```
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=8ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=8ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=10ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=8ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=7ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=17ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=7ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=16ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=7ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=17ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=12ms TTL=128
```




Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=6ms TTL=128

Respuesta desde 192.168.0.1: bytes=32 tiempo=16ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.1:

Paquetes: enviados = 60, recibidos = 60, perdidos = 0

(0% perdidos),

Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:

Mínimo = 5ms, Máximo = 54ms, Media = 10ms

= =

= =

= =

= =

=====

=====