



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Eléctrica

**ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA PARA SU
USO EN SERVICIOS DE INTERNET**

Miguel Angel Albizures Castro

Asesorado por el Ingeniero Carlos Enrique Morales

Guatemala , Enero de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA
PARA SU USO EN SERVICIOS DE INTERNET**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MIGUEL ANGEL ALBIZURES CASTRO

ASESORADO POR EL INGENIERO CARLOS ENRIQUE MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICÍSTA

GUATEMALA, ENERO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

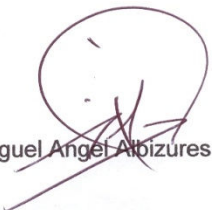
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Edwin Efraín Segura Castellanos
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA PARA SU USO EN SERVICIOS DE INTERNET,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica el 9 de Noviembre de 2006.



Miguel Ángel Albizures Castro

Guatemala 4 de Noviembre de 2008

Señor coordinador
Ing. Otto Andrino
Facultad de ingeniería, USAC
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Área de ciencias básicas y electrotecnia

Señor Coordinador.

En mi calidad de asesor, he revisado y aprobado el trabajo de graduación titulado **Análisis de las líneas de distribución de potencia para su uso en servicios de internet.** Desarrollado por el estudiante **Miguel Angel Albizures Castro**, con carnet No. 1994-16173, y me permito sugerir la aprobación del mismo, ya que considero que su contenido es de gran utilidad y cumple con los requisitos establecidos en los procesos de graduación de nuestra facultad.

Atentamente



Ing. Carlos Enrique Morales
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 18 de NOVIEMBRE 2008.

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA
PARA SU USO EN SERVICIOS DE INTERNET, del estudiante:
Miguel Angel Albizures Castro, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

¡DÉ Y ENSEÑAD A TODOS!

Ing. Otto Fernando Andrés González
Coordinador Área de Electrotécnica



OFAG:ro

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: Miguel Angel Aibizures Castro, titulado: ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA PARA SU USO EN SERVICIOS DE INTERNET, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
DIRECTOR



GUATEMALA, 19 DE NOVIEMBRE 2005.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.004.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación, por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA PARA SU USO EN SERVICIOS DE INTERNET**, presentado por el universitario **Miguel Angel Albizures Castro**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Murphy Glympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, enero de 2009



/cc
cc. archivo

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mi patria

Mi madre

Mi padre

Mis hermanas y hermano

Todas las personas que de alguna manera me brindaron su apoyo para dar este importante paso en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA ABREVIATURAS.....	XIII
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. LA RED DE DISTRIBUCION DE ENERGÍA	
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Clasificación de los sistemas de distribución.....	2
1.3. Planeamiento de los sistemas de distribución.....	4
1.3.1. Sistemas radiales.....	4
1.3.2. Sistemas en anillos y mallas.....	5
1.4. Usos de los sistemas de distribución.....	7
1.5. Clasificación de los usuarios según la carga.....	8

1.5.1.	Sistemas de distribución comerciales.....	9
1.5.2.	Sistemas de distribución industriales.....	9
1.5.3.	Sistemas de distribución urbanos.....	10
1.5.4.	Sistemas de distribución rural.....	10
1.6.	Componentes de una red de distribución secundaria.....	11
1.6.1.	Transformadores de distribución.....	12
1.6.1.1.	Transformadores tipo poste.....	12
1.6.1.2.	Transformadores tipo Pad Mounted.....	13
1.6.2.	Capacitores.....	14
1.6.3.	Conductores eléctricos.....	15
1.6.3.1.	Partes de un conductor eléctrico.....	16
1.6.3.1.1.	El alma o elemento conductor.....	17
1.6.3.1.1.1.	Alambre.....	17
1.6.3.1.1.2.	Cable.....	18
1.6.3.1.2.	El aislamiento.....	18
1.6.3.1.3.	La cubierta protectora.....	19
1.6.3.2.	Conductores de cobre.....	20
1.6.3.3.	Conductores de aluminio.....	20
1.6.3.3.1.	Conductor de aluminio XLPE...	21

1.6.3.3.2.	Conductores de aluminio para distribución aérea.....	21
1.6.3.4.	Dimensionamiento de conductores eléctricos.....	23
1.6.3.4.1.	Tensión nominal.....	24
1.6.3.4.2.	Cálculo térmico.....	24
1.6.3.4.3.	Verificación de la caída de tensión.....	25
1.6.3.4.4.	Verificación de la corriente de corto circuito.....	25
1.6.4.	Fusibles.....	26
1.6.4.1.	Fusibles para baja tensión.....	26
1.6.4.1.1.	Corriente de interrupción.....	27
1.6.4.2.	Fusibles para media tensión.....	27
1.6.5.	Interruptores de potencia.....	28
1.6.5.1.	Arco eléctrico.....	29

2.	USO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA PARA ACCESO A INTERNET.....	31
2.1.	Acceso a internet por la red de distribución de energía.....	31
2.2.	Características de una red PLC.....	32

2.2.1.	Ventajas.....	32
2.2.2.	Desventajas.....	33
2.2.3.	Capacidad de transmisión PLC.....	33
2.2.4.	Aplicaciones.....	35
2.2.5.	Beneficios de la tecnología PLC.....	35
2.3.	Métodos de modulación empleados.....	36
2.3.1.	Sistema de modulación GSMK.....	37
2.3.2.	Sistema de modulación DSSSM.....	38
2.3.2.1	Características.....	38
2.3.3.	Sistema de modulación OFDM.....	38
2.4.	Estandarizaciones aplicables.....	45
2.4.1.	Capa física PHY.....	46
2.4.2.	Protocolo MAC.....	47
2.4.2.1	Formatos de tramas.....	48
3.	ARQUITECTURA DE LA RED PLC.....	49
3.1.	Arquitectura de la red.....	49
3.1.1.	Backbone.....	50
3.1.2.	Red troncal.....	51

3.1.2.1.	Núcleo de la red.....	51
3.1.2.2.	Red de tránsito.....	51
3.1.2.2.1.	Fibra Óptica.....	52
3.1.2.2.2.	Cable Coaxial.....	52
3.1.2.2.3.	Microonda.....	53
3.1.2.2.4.	Satélite.....	53
3.1.3.	Cabecera PLC (Head End).....	54
3.1.4.	Repetidor PLC.....	55
3.1.5.	Módem PLC.....	56
3.2.	Accesorios y acopladores PLC.....	58
3.2.1.	Acopladores capacitivos para líneas aéreas de media tensión.....	58
3.2.2.	Acopladores capacitivos para líneas subterráneas de media tensión.....	59
3.2.3.	Acopladores inductivos para líneas subterráneas de media tensión.....	60
3.2.4.	Acopladores capacitivos para líneas de baja tensión.....	61
3.2.5.	Acopladores inductivos para líneas de baja tensión.....	62

4. ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PLC EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.....	65
4.1 Planteamiento de la solución.....	65
4.2. Modelo de acoplamiento de una red PLC en una red de distribución secundaria de energía eléctrica.....	66
4.2.1. Modelo sobre líneas aéreas.....	66
4.2.3. Modelo sobre líneas subterráneas.....	71
4.3. Uso de la tecnología PLC para crear una red doméstica.....	72
4.4. Consideraciones en el despliegue de una red PLC.....	74
4.5. Factores que afectan la señal PLC.....	74
4.6. Interferencia electromagnética.....	75
4.6.1. Interferencia conducida.....	76
4.6.2. Interferencia radiada.....	76
4.6.3. Métodos para reducir la interferencia.....	76
4.6.3.1. Filtros de inserción de señal.....	77
4.6.4. Interferencia en la señal PLC.....	78
5. OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO A INTERNET.....	83
5.1. Acceso por ADSL.....	83
5.1.1. Funcionamiento.....	83

5.1.2.	DSLAM.....	85
5.1.3.	Evolución de la red de acceso.....	86
5.1.4.	Ventajas.....	87
5.1.5.	Desventajas.....	87
5.2.	Acceso por cable coaxial.....	87
5.2.1.	Características.....	88
5.2.2.	Descripción física.....	89
5.2.3.	Características de transmisión.....	90
5.3.	Acceso por medios inalámbricos y WiMax.....	91
5.3.1.	Protocolo 802.16 para servicio fijo.....	92
5.3.2.	Protocolo 802.16 para servicio móvil.....	93
5.3.3.	Características de IEEE 802.16-2004.....	94
5.3.4.	Acceso por WiFi.....	94
5.4.	Acceso por redes celulares.....	95
5.4.1.	Características.....	97
CONCLUSIONES.....		99
RECOMENDACIONES.....		101
BIBLIOGRAFÍA.....		103

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sistema de distribución completo.....	2
2	Sistema de distribución radial.....	5
3	Sistema en anillo.....	6
4	Transformador de distribución.....	13
5	Transformador Pad Mounted.....	14
6	Conductor sólido de una sola hebra.....	15
7	Cable con varias hebras conductoras.....	17
8	Conductor de aluminio con aislamiento XLPE.....	21
9	Conductor de aluminio AAAC.....	22
10	Fusible para media tensión.....	28
11	Evolución de la red de las modulaciones empleadas.....	36
12	Comparación gráfica de modulación OFDM con multi-carrier.....	39
13	Comparación FDM y OFDM.....	40

14	Transmisión multi-carrier FDM y multi-code division.....	41
15	El área bajo un período en una onda senoidal o cosenoidal siempre es cero.....	42
16	El área bajo una onda senoidal multiplicada por su propia armónica siempre es cero.....	42
17	Las portadoras quedan una próxima de la otra en OFDM.....	44
18	Formato de trama larga.....	48
19	Diagrama general desde el nivel de transmisión hasta los usuarios.....	50
20	Repetidor PLC.....	56
21	Adaptador Ethernet PLC con conexión RJ45.....	57
22	Acopladores capacitivos para líneas aéreas de media tensión.....	59
23	Acoplador capacitivo para líneas subterráneas de media tensión.....	60
24	Acoplador inductivo para líneas subterráneas de media tensión.....	61
25	Conexión de un acoplador capacitivo para media tensión.....	62
26	Conexión de un acoplador inductivo para líneas de baja tensión.....	63
27	Punto de remate de Fibra Óptica.....	67
28	Equipos PLC en centro de transformación.....	69
29	Distribución de los centros de transformación.....	70
30	Diagrama de una red doméstica PLC.....	73

31	Diagrama de instalación de un filtro de coexistencia.....	78
32	Interferencias observadas con todo conectado.....	80
33	Medición realizada en el tablero de distribución.....	80
34	Medición en el ambiente PLC con el tablero desconectado.....	81
35	Medición en el tablero desconectado.....	81
36	Router ADSL.....	85
37	Diagrama de estructura del DSLAM.....	86
38	Comparativa de la atenuación en diferentes medios.....	90
39	Topología de la red WiMax para acceso fijo y móvil.....	93
40	Diagrama de conexión desde la celda hasta el usuario.....	96

TABLAS

I	Clasificación de los usuarios según la carga.....	8
II	Densidades de carga.....	9
III	Componentes de una red de distribución.....	11
IV	Propiedades de las principales aleaciones utilizadas en conductores de aluminio.....	23
V	Comparativa entre tecnologías de acceso a internet.....	34
VI	Serie de bits al ser modulados.....	45
VII	Capacidades de transmisión ADSL.....	86
VIII	Comparación de cable coaxial con otros medios.....	89
IX	Comparativa entre los estándares IEEE802.11a/b/g/n.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Amperio
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
AAAC	All Aluminum Alloy Conductor
AAC	All Aluminum Conductor
ACAR	Aluminum Conductor Alloy Reinforced
ACSR	Aluminum Conductor, Aluminum-Clad Steel Reinforced
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AFE	Analog Front End
AGC	Automatic Gain Controller
ASTM	American Society for Testing Materials
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	American Wire Gauge
BNC	British Naval Connector
BPL	Broadband Over Powerline
bps	bit por segundo

CDM	Code Division Multiplexing
DFDM	Data Flow Development Manager
DMT	Discrete Multi Tone
DSL	Digital Subscriber Line
DSSSM	Direct Sequence Spread Spectrum
FEC	Forward Error Correction
FR	Frame Relay
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
HPAV	Home Plug AV
Hz	Hertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
kWh	kilowatt-hora
LAN	Local Area Network
MAC	Media Access Control
MCM	kcmil, mil Circular Mils
MHz	Mega Hertz
OSI	Open System Interconnection
PLC	Powerline Communications

PHY	Physical Layer
PVC	Polyvinyl Chloride
SNR	Signal to Noise Ratio
V	Voltio
WDM	Wavelength Division Multiplexing

GLOSARIO

Ampacidad	Es la capacidad de transporte de corriente que tiene un cable.
Amperio	Es la unidad de la intensidad de corriente eléctrica.
Bit	Es el acrónimo de binary digit. Es un dígito del sistema de numeración binario, que sólo tiene dos dígitos que son 0 y 1.
Byte	Es equivalente a un octeto, o sea ocho bits.
Bushing	Es un componente eléctrico que aísla un conductor de alto voltaje pasando a través de un envoltorio metálico.
Broadcast	Es la distribución de audio y/o señales de video que transmiten los programas de una audiencia.
Circuito	El circuito eléctrico es una serie de elementos eléctricos o electrónicos interconectados a través de conductores en uno o más bucles cerrados.
Carga	Es una propiedad intrínseca de algunas partículas que se manifiesta mediante atracciones y repulsiones que determinan las interacciones electromagnéticas entre ellas.
Cosenoidal	Es una señal análoga, que es la gráfica de la función matemática coseno.
Domótica	Es el conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación.

Energía	Es la capacidad de realizar trabajo. Es una magnitud física que permanece invariable en el tiempo.
Ethernet	Es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda. Define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramos de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.
Firewalling	Es una serie de medidas de seguridad diseñadas para prevenir el acceso no autorizado a una red de computadoras.
Gutapercha	Es un tipo de goma parecida al caucho, translúcida, sólida y flexible, fabricada a base de látex.
Hebra	Fibra o filamento de una materia, que tiene forma de hilo.
Interleaver	Es la forma de arreglar datos en una forma no contigua a modo de incrementar el rendimiento.
Modulación	Conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente sinusoidal, permitiendo un mejor aprovechamiento del canal de comunicación.
Neoprén	Alambre de cobre entorchado aislado en PVC.
Payload	La parte del flujo de datos representando la información del usuario.
Potencia	Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo, es equivalente a la velocidad del cambio de energía en un sistema.
Radial	Que tiene sus diversas partes dispuestas alrededor de un punto o de un eje, como los radios de una circunferencia.

Router	Dispositivo de hardware utilizado para la interconexión de red de computadoras, permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la ruta que debe tomar el paquete de datos.
Scrambler	Dispositivo que transpone o invierte la señal, o bien codifica un mensaje de tal modo que lo haga ilegible al receptor a menos que tenga un dispositivo decodificador.
Senoidal	Es una señal análoga, que es la gráfica de la función matemática seno.
Streaming	Es poder ver y escuchar directamente archivos de audio y video, directamente desde una página web, sin descargarlos previamente.
Topología	En una red, es la cadena de comunicación que los nodos que conforman una red usan para comunicarse.
Voltaje	Es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz sobre las cargas eléctricas o electrones de un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.
Web	Sistema de documentos interconectados por enlaces de hipertexto que se ejecutan en internet. Una página web es un documento o fuentes de información, que puede contener enlaces a otras páginas web.

RESUMEN

Para la transmisión de datos a través de la red eléctrica debe tenerse conocimiento de la red de distribución secundaria, ya que hay varios factores críticos que delimitan el alcance de la tecnología PLC, y tal vez el más importante es el tipo de sistema de distribución porque es el que determina la cantidad de usuarios alimentados por cada transformador o las distancias desde el centro de transformación hasta los usuarios, que en el tema económico, impacta en los costos de inversión.

La arquitectura de la red PLC se compone principalmente de un proveedor de servicio de internet, módem de cabecera que transmite la señal en el medio, un repetidor que amplifique la señal y el módem PLC que se conecta en los tomacorrientes de la casa y traslada la señal hacia el usuario. A estos componentes básicos hay que sumar toda la infraestructura que hace el enlace como la red de tránsito que enlaza el contenido desde el backbone hasta el centro de transformación, con todos los accesorios necesarios de acoplamiento para que esto sea posible, principalmente los acopladores capacitivos e inductivos para media y baja tensión.

Con la tecnología PLC se pueden realizar aplicaciones como redes domésticas, domótica y la combinación del PLC con otras tecnologías de telecomunicaciones WiFi, ADSL, Cable Coaxial y Fibra Óptica.

OBJETIVOS

GENERAL

Analizar la red de distribución secundaria de potencia, para considerar la implementación de una red de acceso a internet de banda ancha con la tecnología PLC.

ESPECÍFICOS:

1. Describir los componentes de la arquitectura de una red PLC, para ser implementada sobre una red de distribución secundaria.
2. Analizar las probables repercusiones que esta tecnología pueda tener sobre el medio electromagnético, como interferencias y sus soluciones, con el fin de que esta tecnología pueda coexistir con otras sin interferirse dañinamente.
3. Describir los diferentes medios con los que puede acoplarse esta tecnología, con el fin de hacerla más eficiente y versátil, así como las

diferentes tecnologías de acceso de banda ancha con las que puede complementarse.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, cada vez se hace más necesario el acceso a redes de banda ancha para satisfacer necesidades de usuarios como navegación, transferencia de archivos, música, video etc., al mismo tiempo que es más necesario el uso de computadoras personales, para lo cual existen varias opciones convencionales y algunas no tan convencionales. En la mayoría de los casos, la infraestructura de telecomunicaciones necesita costosos tendidos de última milla sobre las ya saturadas calles de las áreas urbanas, para llegar hasta sus abonados, haciendo que en una misma calle se tengan tendidos de cable, teléfono, datos y electricidad, muchas veces varias empresas de un mismo servicio en diferentes postes, lo que hace complicada la obtención de permisos municipales. En el área rural, por el contrario en su mayoría, no existen redes de telecomunicaciones haciendo grandes y muy costosas las distancias a recorrer, para llegar a un no muy grande número de usuarios.

El uso de la red de distribución eléctrica, representa una alternativa de acceso a internet de banda ancha de al menos 1Mbps por usuario. Tomando en cuenta que la infraestructura ya está desplegada, teniendo un alcance casi total de los potenciales usuarios, representa un negocio a considerar seriamente por parte de las empresas distribuidoras de energía eléctrica como iniciativa propia o como proyecto conjunto con un ISP, o simplemente, el usuario final puede crear sus propias aplicaciones, utilizando la red eléctrica dentro de la casa y otra tecnología de acceso a internet, abriendo un campo a la creación de la redes domésticas.

El presente trabajo, describe los principales componentes de un sistema de distribución secundaria de potencia, con el fin de conocer dónde irá montada la infraestructura de la red PLC, cuya arquitectura se describe con cada componente, a modo de ilustrar la diversidad de accesorios que se encuentran disponibles en el mercado y su ubicación dentro de la red.

1. LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

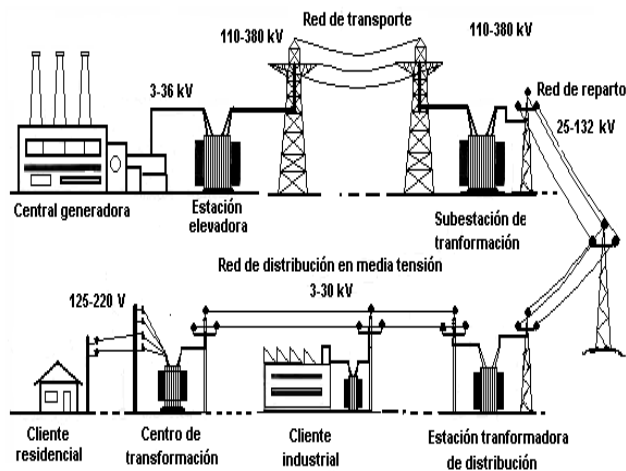
1.1 Generalidades

Una red eléctrica consta de un sistema de generación formado por las plantas generadoras, los transformadores para elevar el voltaje de generación a un valor adecuado que permita transportar la energía a distancias largas, un sistema de transmisión con sus líneas de transporte y un sistema de distribución a un voltaje más reducido que también tiene líneas y transformadores para disminuir el voltaje al valor que se requiere en las instalaciones de los usuarios.

Desde una central generadora hasta el usuario final, existe un largo recorrido, el cual se puede resumir en tres partes: generación, transporte y distribución. La generación, puede realizarse de diferentes formas: Mediante plantas hidroeléctricas, geotérmicas, con combustibles no renovables, eólicas, etc. En Guatemala, la generación de energía se hace principalmente con motores de combustión interna, utilizando búnker, por hidroeléctricas y en casos necesarios mediante sistemas interconectados con otros países. Los niveles de transmisión empleados van desde 69kV en el nivel de sub transmisión hasta 230kV. La distribución de la energía comienza en una subestación, ya sea solamente derivadora de circuitos o bien una subestación transformadora que reduzca el nivel de voltaje desde el nivel de transmisión hasta un nivel de distribución. Ya en este nivel, la energía eléctrica puede ser distribuida a los usuarios y transformada al nivel requerido para su utilización. En la figura 1, se puede observar un sistema de distribución de energía completo desde la central generadora, pasando por todos los sistemas que lo componen: transformadores elevadores, red de transporte,

subestaciones, líneas de media tensión y los centros de transformación hasta llegar a los usuarios finales.

Figura 1. Sistema de distribución completo



1.2 Clasificación de los Sistemas de Distribución

Un sistema de distribución puede ser de dos niveles, distribución primaria y distribución secundaria, o sea de alta tensión y baja tensión. Las redes de las empresas eléctricas concesionarias tienen como punto de partida las subestaciones de distribución primaria, cuyo objetivo es el de reducir el voltaje desde el nivel de transporte al de alta tensión de distribución. Las redes de alta tensión de distribución de las empresas eléctricas son llamadas comúnmente en esta parte de los sistemas como alimentadores, las que pueden ser tanto aéreas como subterráneas, que a su vez, pueden alimentar directamente a clientes de altas potencias, que cuentan con transformadores propios,

llamados clientes de alta tensión, o bien, a subredes por medio de transformadores de baja tensión de distribución, a las que se conectan clientes que poseen niveles de potencia bajos y medianos. A estas redes de baja tensión normalmente se les llama circuitos.

Las empresas concesionarias en nuestro medio, presentan principalmente dos esquemas de alimentación: radiales y anillados.

Los sistemas radiales son los de uso principal a lo largo de la red. Estos se forman por un conjunto de alimentadores de alta tensión que suministran potencia en forma individual a un grupo de transformadores, a partir de los cuales se obtienen las redes de distribución de baja tensión normalmente trifásicas de cuatro hilos. Una desventaja de los sistemas radiales es que al fallar un transformador, o su alimentador en alta tensión, todos los clientes de baja tensión asociados a este transformador quedan sin suministro de energía. No son redes que aseguren una buena continuidad de servicio, pero son económicas.

Los sistemas en anillos en alta tensión, se caracterizan por tener el lado primario del transformador conectado a una barra donde le llegan dos puntos de alimentación, proporcionando así una continuidad del servicio en caso de que ocurra una falla en alguno de los extremos de alimentación, pudiéndose suministrar la energía por el punto de alimentación que está en operación. Como se había mencionado anteriormente una gran ventaja que presenta esta topología es la continuidad del servicio que no se consigue en un sistema radial, sin embargo un sistema en anillo se hace mucho más complejo en las operaciones que un sistema radial.

1.3 Planeamiento de un sistema de distribución

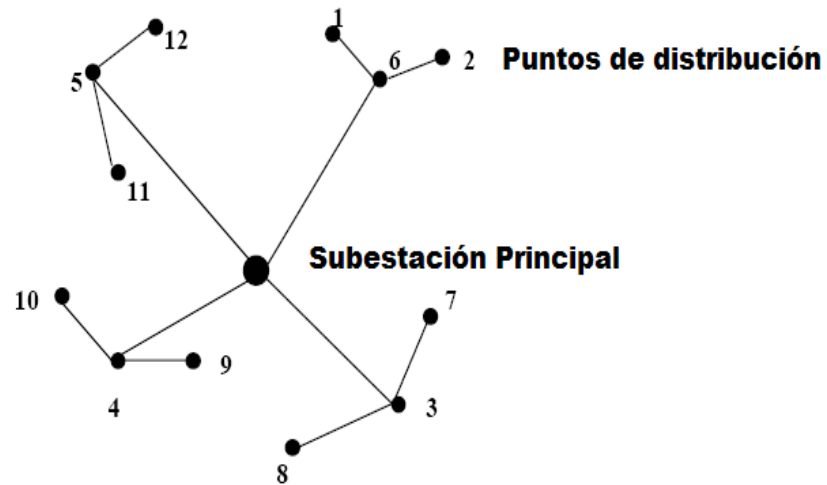
Para el planeamiento de un sistema de distribución, es necesario analizar los distintos niveles de la red, logrando optimizar las soluciones adoptadas en cada caso, considerando que en la búsqueda de optimizaciones parciales no se debe olvidar la optimización global del proyecto, tanto inicial como en el tiempo considerando crecimiento de la red, que deberá adaptarse siempre a un futuro lejano e incierto.

1.3.1 Sistemas Radiales

Los sistemas radiales son los usados más comúnmente en sistemas de distribución por su economía y simplicidad. En un sistema radial todas las cargas se encuentran alimentadas desde un centro de carga, el cual alimenta cada carga mediante un cable conductor. El cable conductor puede alimentar varias cargas a la vez o una sola. Este sistema es típico de instalaciones industriales donde existen cargas especiales que necesitan tener un control directo desde la fuente de alimentación, como puede ser el caso de un centro de control de motores.

Existe una variación del sistema radial en el cual un solo cable va pasando por todas las cargas sucesivamente alimentándolas una por una. Este sistema es característico en distribución residencial y alumbrado público. A una mezcla de estos dos sistemas se le puede llamar arborescente. El cable nace troncal en el centro de alimentación y se subdivide en ramas y más ramas, llegando hasta las cargas. En la figura 2 se aprecia este concepto donde cada rama se puede subdividir entre otras que alimentan más cargas.

Figura 2. Sistema de distribución radial



El cálculo de la red es simple, el flujo de carga se puede desarrollar suponiendo pérdidas nulas, la corriente que pasa por una rama cualquiera es la suma de todas las corrientes comprendidas entre esas ramas y las derivaciones. De esta forma se puede calcular el calibre del conductor necesario mediante la corriente de cada rama y mediante la longitud y la caída de tensión en cada tramo de la rama.

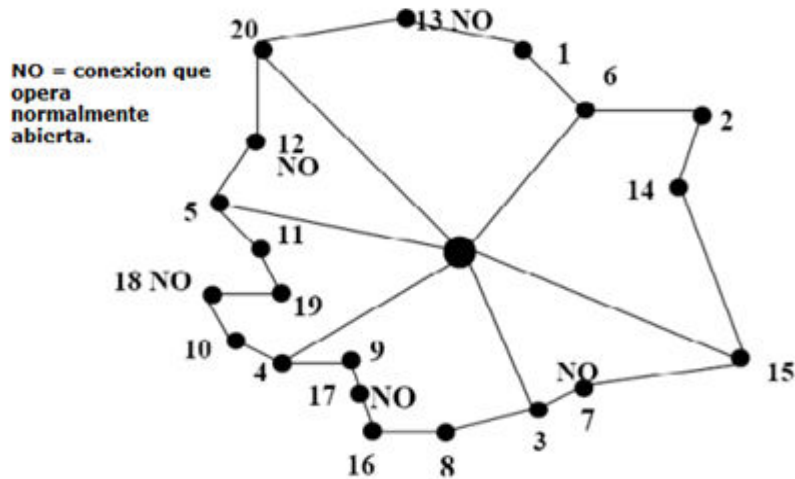
Los sistemas de distribución radiales presentan la particularidad que cuando se produce la falla de un tramo, como consecuencia, se pierde el servicio de todas las cargas que están incluidas en ese tramo.

1.3.2 Sistemas en anillos y mallas

Los sistemas en anillos y mallas tienen mayor complejidad pero nos brindan un suministro más seguro. Los sistemas radiales se pueden duplicar, como radial doble, y cada carga puede seleccionar si se alimenta desde un cable u otro. O bien puede

formarse un anillo cuando una línea que alimenta muchas cargas puede terminar en dos centros de alimentación, o alimentarse desde ambas puntas como se observa en la figura 3.

Figura 3. Sistema en anillo



Una malla se forma agregando más ramas entre nodos ya existentes a un sistema arborescente. Un sistema de mallas puede tener también otros puntos de alimentación. En el nivel de distribución, el funcionamiento de las redes, aún teniendo estructura mallada, es radial, es decir se abren cierta cantidad de ramas a fin de poder alimentar todas las cargas y la red queda radial. En caso de pérdida de un cable en servicio, se conectan otros cables que estaban desconectados, a fin de que nuevamente la red con un nuevo esquema radial preste servicio a todos los usuarios.

Se puede decir que la red mallada funciona como red radial dinámica al conectarse y desconectarse secciones de la malla siempre y cuando la red cuente con un sistema SCADA (supervisory control and data acquisition) que monitoree y controle el sistema a

lo largo de su recorrido. Una red de tal magnitud sería necesaria sólo en los casos en los que la continuidad del servicio y el constante monitoreo sean indispensables para compensar la inversión que requeriría.

1.4 Usos de los sistemas de distribución

En bajas tensiones las potencias manejadas por la mayoría de usuarios son relativamente bajas debido a que no se tienen cargas de grandes dimensiones y las capacidades instaladas de los usuarios son limitadas por los conductores eléctricos.

En las redes industriales, los usuarios se alimentan directamente de las líneas de alta o media tensión. Los equipos y las redes son frecuentemente radiales, difícilmente se justifican esquemas radiales dobles. La red de baja tensión de distribución pública, tiene generalmente un distribuidor largo del que se derivan las cargas y los distribuidores a su vez son derivados a lo largo de un alimentador.

La red pública utiliza esquemas radiales simples mientras las cargas son modestas. Cuando el área servida es de mayor importancia, el esquema se hace anillado. En una planta industrial, difícilmente se tiene una red de alta tensión compleja, esto sólo se da en industrias que requieren cantidades muy grandes de corriente como las del acero, generadoras o ingenios. En estos se pueden observar dos o tres centros de alta tensión desde donde se derivan distribuciones de media tensión o se conectan eventuales generadores, los centros de alta tensión se unen a la red pública en forma radial o formando anillo que trabaja cerrado en ambos extremos.

1.5 Clasificación de los usuarios según la carga

Dependiendo de las características de consumo eléctrico de las cargas, los volúmenes de energía involucrados y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deben operar, los sistemas de distribución, se clasifican según la tabla I.

Tabla I. Clasificación de los usuarios según la carga

RESIDENCIAL	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Urbana	Zona de centro de ciudad	Pequeñas plantas
Sub Urbana	Zona comercial	Grandes plantas
Rural	Edificios comerciales	

La diferencia, radicará principalmente en la capacidad de cada transformador a instalar para servir a un grupo de usuarios, el tipo de conexión del banco y el número de usuarios por cada transformador. Este último factor es el más crítico en el caso de un sistema de distribución que se desee utilizar como transporte de datos o Internet, por medio de una red PLC (powerline communications por sus siglas en inglés), puesto que el tramo a utilizar generalmente en powerline es precisamente la última milla, que va desde el secundario de un transformador de distribución hacia cada usuario en particular. En la tabla III se resumen las densidades de carga instaladas en usuarios desde baja hasta altas densidades como complemento a la tabla II.

Tabla II. Densidades de carga

TIPO DE AREA	DENSIDAD EN kVA/km²
Residencial baja densidad - área rural	4 -100
Residencial media densidad - área suburbana	100 - 500
Residencial alta densidad - área urbana	500 - 2000
Residencial muy alta densidad - área totalmente electrificada	5000 - 7500
Comercial	4000 -100,000

1.5.1 Sistemas de distribución comerciales

Es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, etc. Este tipo de sistemas, tiene sus propias características como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a la seguridad de las personas y de los bienes por lo que generalmente requieren importantes fuentes de respaldo en caso de fallas.

1.5.2 Sistemas de distribución industriales

Comprende los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como industrias del acero, químicas, petróleo, papel, etc. Que generalmente reciben la energía eléctrica en alta tensión. Comúnmente este tipo de industrias generan parte de su demanda de

energía eléctrica mediante procesos de vapor, gas o diesel. Cuando tales procesos generan suficiente energía, pueden estar conectados al sistema nacional de electrificación y vender energía al sistema cuando es requerido.

1.5.3 Sistemas de distribución urbanos

Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo y con una densidad de cargas alta. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento. Los sistemas de distribución urbanos pueden ser de alta demanda, como en residenciales con usuarios de gran consumo, con casas de gran tamaño y cargas conectadas más grandes. Los usuarios de mediana demanda, están en áreas residenciales con casas de demandas no tan elevadas. Por último las áreas urbanas de baja demanda, con casas de pequeñas dimensiones y no tantos aparatos eléctricos que hagan un gran consumo. La diferencia fundamental entre estos tres tipos de usuarios radicará en el número de hogares conectados a un mismo transformador. En el primer caso, para un transformador de 50kVA estarán conectados de 5 a 10 usuarios, para el segundo caso, los hay hasta 25 usuarios por transformador y para el último caso, pueden haber hasta 75 usuarios en un mismo transformador de 50kVA.

1.5.4 Sistemas de distribución rural

Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el costo del kWh consumido. En muchos casos es justificado, desde el punto de vista económico la generación local, en una fase inicial, y sólo en una fase posterior, puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande

1.6 Componentes de una red de distribución secundaria

La red de distribución secundaria de potencia principia en una subestación de transformación que reduce el nivel de tensión de transmisión a un nivel de distribución de 34.5kV o bien 13.8kV. Las líneas de distribución a estos niveles de tensión son las que alimentan los centros de transformación que proveen servicio a los usuarios finales. A continuación se enumeran los componentes más importantes de un sistema de distribución secundario de potencia. En la tabla 1 se resumen estos componentes con su respectiva función.

Tabla III. Componentes de una red de distribución

COMPONENTE	FUNCION
Transformador de estación de Potencia (principal)	Recibe potencia del sistema de transmisión y la transforma y la entrega a la tensión de sub-transmisión
Sistema de sub-transmisión	Circuitos que salen de la estación principal y alimentan las subestaciones de distribución
Subestación de distribución	Recibe potencia del sistema de sub-transmisión y la transforma y la entrega a la tensión de los alimentadores primarios
Alimentador primario	Circuitos que salen de las subestaciones de distribución y alimentan los transformadores de distribución
Transformador de distribución	Transforma a la tensión de utilización
Red secundaria y servicios	Distribuye potencia a los consumidores

1.6.1 Transformadores de distribución

Los transformadores son la parte más importante en una red de distribución de energía ya que de estos se deriva la energía de baja tensión hacia los usuarios finales y su selección queda sujeta al tipo de servicio que se quiera brindar, el tipo de usuario, tipo de carga y qué cantidad de carga se desea alimentar.

Los transformadores que generalmente se usan en las redes de distribución secundaria pueden ser: tipo poste y tipo pad mounted. Los transformadores tipo poste son utilizados en redes de distribución aérea y los pad mounted en redes de distribución subterránea.

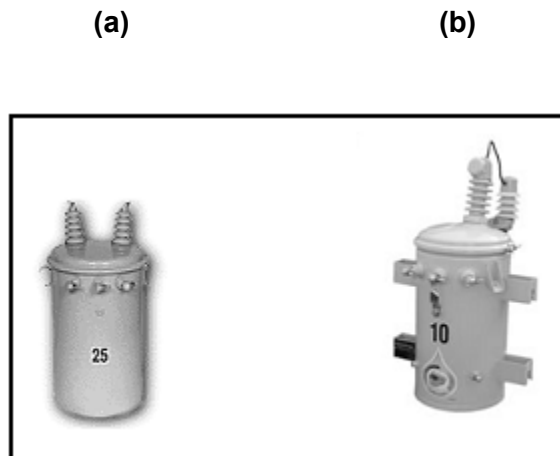
1.6.1.1 Transformador tipo poste

El transformador de distribución tipo poste consta de un núcleo y bobinas montadas de forma sólida en un tanque llenado de aceite dieléctrico, que además funciona como disipador de calor; llevan sobre el tanque sus terminales de conexión que pasan a través de bushings del lado de alta tensión. Si el transformador es del tipo autoprotegido o convencional puede llevar uno o dos bushings como terminales respectivamente. El tipo convencional incluye sólo la estructura básica del transformador sin equipo de protección alguna. La protección deseada por sobre voltaje, sobrecarga y cortocircuito se obtiene usando pararrayos e interrupciones primarias de fusibles montados separadamente en el poste o cerca del transformador.

Los transformadores auto-protegidos poseen un dispositivo de cortocircuito secundario de protección por sobrecarga y otro controlado térmicamente y montado en su interior; un eslabón protector de montaje interno conectado en serie con el devanado

de alto voltaje, para desconectar el transformador de la línea de alto voltaje, ya sea manual, cuando así se desee o automáticamente en el caso de falla interna de las bobinas. Además, incluye uno o más pararrayos montados en forma integral en el exterior del tanque para protección por sobrevoltaje. Estos transformadores en su mayoría operan una luz de señal cuando se llega a una temperatura de devanado predeterminada a manera de advertencia antes del disparo.

Figura 4. a) Transformador tipo poste convencional. b) transformador tipo poste auto-protegido.



1.6.1.2 Transformadores Pad Mounted

Los transformadores Pad Mounted, son transformadores que tienen la misma función que los tipo poste con la esencial diferencia que son utilizados en sistemas de distribución secundaria subterránea, lo cual eleva considerablemente su costo, ya que todo el tendido eléctrico de alta tensión también debe ir de manera subterránea y por lo tanto el cableado es de un tipo especial.

Figura 5. Transformador tipo Pad mounted



Estos transformadores han sido diseñados para uso exterior e interior según normas. Su aspecto es como el mostrado en la figura 5. Su hermeticidad y el estar conectados a líneas subterráneas de alta y baja tensión, permite instalarlos en lugares de acceso público. Son compactos, seguros y su aspecto, comparativamente agradable, permite su instalación en lugares visibles. Son ideales para urbanizaciones, edificios, centros comerciales, complejos hoteleros, hospitales, etc. Las capacidades de estos transformadores van desde 50kVA hasta 1000kVA.

1.6.2 Capacitores

La red de distribución está formada por múltiples y variadas cargas, pero en esencia se podría decir que está compuesta por cargas resistivas, como la iluminación incandescente y las resistivas e inductivas, como los motores. Su conjunto visto desde la red se puede representar con un modelo simple de una resistencia que consume la potencia activa y una reactancia que corresponde a la potencia reactiva.

En ciertos casos en la red, encontramos capacitores, su función es ayudar a un mejor comportamiento de la red o de la carga, pero en principio, se puede concebir la red y cargas sin capacitores, estos pueden ser necesarios y convenientes para reducir pérdidas, mejorar valores de tensión y filtrar armónicas. Cuando se usan en baja tensión, se conectan en delta para lograr mayor potencia aprovechando la mayor tensión compuesta, en cambio en media tensión, se conectan más frecuentemente en estrella y con el neutro flotante.

La reducción de pérdidas es el mayor motivo de la aplicación de capacitores. Su aplicación lleva a reducir la potencia que debe generarse y transmitirse, lo que significa menor inversión en la red o postergación de inversiones necesarias por el crecimiento y menor costo de la energía generada. Al proyectarse con estos criterios, se puede decir que los capacitores son necesarios.

Frecuentemente, la tarificación incluye límites del factor de potencia y multas si se está por debajo del límite fijado. La razón de estas multas radica en las mayores pérdidas que se presentan en la red y el menor aprovechamiento útil de la misma, que obliga a ampliaciones anticipadas. Además de mejoras técnicas como menores pérdidas, mejores tensiones, mayor disponibilidad de equipos, se transforman en una ulterior ventaja económica que puede evaluarse y tenerse en cuenta.

1.6.3 Conductores eléctricos

Los conductores eléctricos son los cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad. El conductor eléctrico está formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre. Este puede ser alambre, es decir una sola hebra o un cable formado por varias hebras entorchadas. Los materiales más utilizados en la fabricación de conductores eléctricos son el cobre y el aluminio.

Aunque ambos metales tienen una conductividad eléctrica excelente, el cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables propiedades mecánicas y eléctricas. El uso de uno u otro material como conductor, dependerá de sus características eléctricas (como la capacidad para transmitir electricidad), mecánicas (resistencia al desgaste y maleabilidad), el uso que se le quiera dar y el costo.

El material más utilizado en instalaciones eléctricas es el cobre, en instalaciones residenciales, comerciales, e industriales tales como alimentadores en máquinas, motores, iluminación etc. El conductor de cobre es utilizado también para aquellas instalaciones que van dentro de tubería. Mientras que los conductores de aluminio son los más utilizados en alimentadores aéreos tales como líneas de transmisión y de distribución debido a su precio y su peso que en largas distancias es un factor crítico.

1.6.3.1 Partes de un conductor eléctrico

Estas tres son muy diferenciadas:

- El alma o elemento conductor.
- El aislamiento.
- Las cubiertas protectoras.

1.6.3.1.1 El alma o elemento conductor

Como se mencionó anteriormente, se fabrica de cobre o aluminio su función es servir de camino a la energía eléctrica desde las centrales generadoras a los centros de distribución (subestaciones, redes y empalmes), para alimentar a los diferentes centros de consumo (industriales, centros habitacionales, etc.).

De la forma de cómo esté constituida esta alma depende la clasificación de los conductores eléctricos de la siguiente forma:

1.6.3.1.1.1 Alambre

Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por un solo elemento o hilo conductor como el de la figura 6.

Se emplea en líneas aéreas, como conductor desnudo o aislado, en instalaciones eléctricas a la intemperie, en ductos o directamente sobre aisladores.

Figura 6. Conductor sólido de una sola hebra

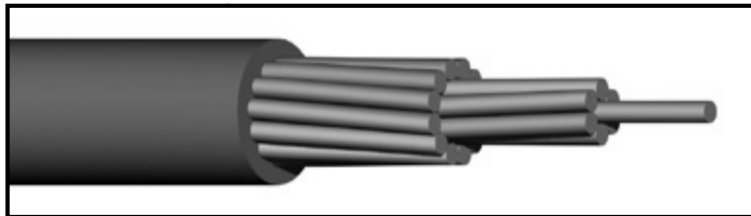


Fuente: Phelps Dodge.

1.6.3.1.1.2 Cable

Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por una serie de hilos conductores o alambres de baja sección, lo que otorga una gran flexibilidad y por lo tanto mayor maniobrabilidad para los casos que se trabaje con múltiples cables. En la figura 7 se representa un cable con varios conductores de baja sección.

Figura 7. Cable con varias hebras conductoras



Fuente: Phelps Dodge.

1.6.3.1.2 El aislamiento

El objetivo del aislamiento en un conductor es evitar que la energía eléctrica que circula por él, entre en contacto con las personas o con objetos, ya sean éstos, ductos, artefactos u otros elementos que forman parte de una instalación. Del mismo modo, el aislamiento debe evitar que conductores de distinta fase entren en contacto entre sí.

Los materiales aislantes utilizados desde sus inicios, han sido sustancias poliméricas, que en química se definen como un material o cuerpo formado por la unión de muchas

moléculas idénticas, para formar una molécula más gruesa. Antiguamente los aislantes fueron de origen natural, gutapercha y papel. Posteriormente la tecnología los cambió por aislantes artificiales actuales de uso común en la fabricación de conductores eléctricos.

Los diferentes tipos de aislamiento de los conductores están dados por su comportamiento técnico y mecánico, considerando el medio ambiente y las condiciones de canalización a las que se verán sometidos los conductores que ellos protegen, resistencia a los agentes químicos, a los rayos solares, a la humedad, altas temperaturas, llamas etc. Entre los materiales utilizados para el aislamiento de conductores se pueden mencionar el PVC o cloruro de polivinilo, el polietileno o PE, el caucho, la goma el neoprén y el nylon.

1.6.3.1.3 La cubierta protectora

El objetivo fundamental de esta parte de un conector es proteger la integridad del aislamiento y del alma conductora contra daños mecánicos tales como raspaduras, golpes etc.

Si las protecciones mecánicas son de acero, latón u otro material resistente, a esta se le denomina armadura, que puede ser de cinta, alambre o alambres trenzados.

Los conductores también pueden estar dotados de una protección del tipo eléctrico formado por cintas de aluminio o cobre. En el caso que la protección, en vez de cinta esté formada por alambres de cobre, se le denomina pantalla o blindaje.

1.6.3.2 Conductores de cobre

Los más utilizados en las instalaciones eléctricas y alimentadores de máquinas son el THHN y el THWN para usos en instalaciones de hasta 600V y rangos de temperatura máximos de 75° en un entorno mojado o sumergido en aceite y 90°C para entorno seco.

Estos conductores deben cumplir con la normas UL83, para cables y alambres termoplásticos aislados, UL758, para aparatos eléctricos y UL1063, para herramientas. Las medidas de los conductores que se manejan en esta clase son desde el 14 AWG hasta 1000 MCM.

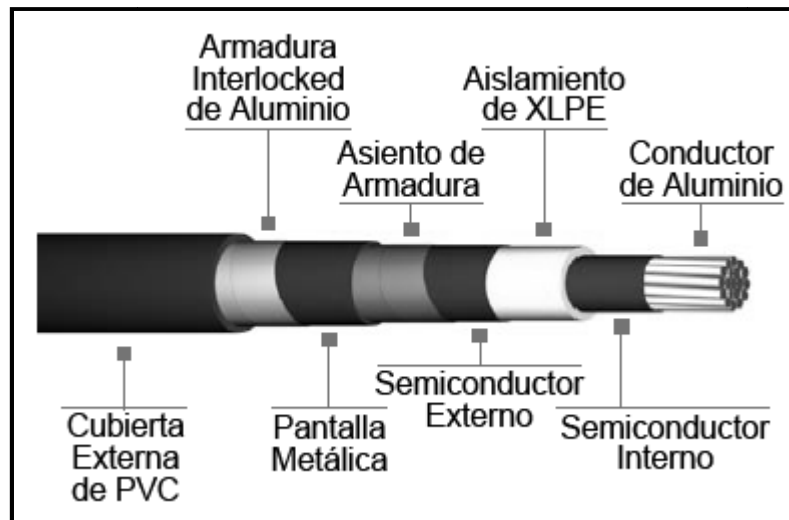
1.6.3.3 Conductores de aluminio

Los conductores de aluminio son los más utilizados en sistemas de distribución aérea debido a su buena conductividad y su peso ligero además de ser más económico que el cobre. En sistemas de distribución secundaria de media tensión es utilizado como conductor desnudo cuyo único aislador es el aire. También es utilizado en sistemas de distribución subterráneo con aislamientos específicos para ser instalados en tuberías o bajo tierra. A continuación algunos de los principales conductores de aluminio, empleados en sistemas aéreos y subterráneos.

1.6.3.3.1 Conductor de aluminio XLPE

Es utilizado par suministro y distribución de energía para edificaciones residenciales, industriales, comerciales y plantas de generación. Pueden instalarse en lugares húmedos o secos para temperatura máxima en operación normal de 90°C; 130°C en emergencia y hasta 250°C en cortocircuito. También pueden ser instalados en interiores o exteriores, expuestos a la luz solar, en canaletas, tuberías rígidas o ductos y pueden ser colocados de forma aérea o directamente enterrados. En la figura 8 se ilustra el conductor de aluminio con aislamiento XLPE y las partes que lo conforman.

Figura 8. Conductor de aluminio con aislamiento XLPE



Fuente: Phelps Dodge.

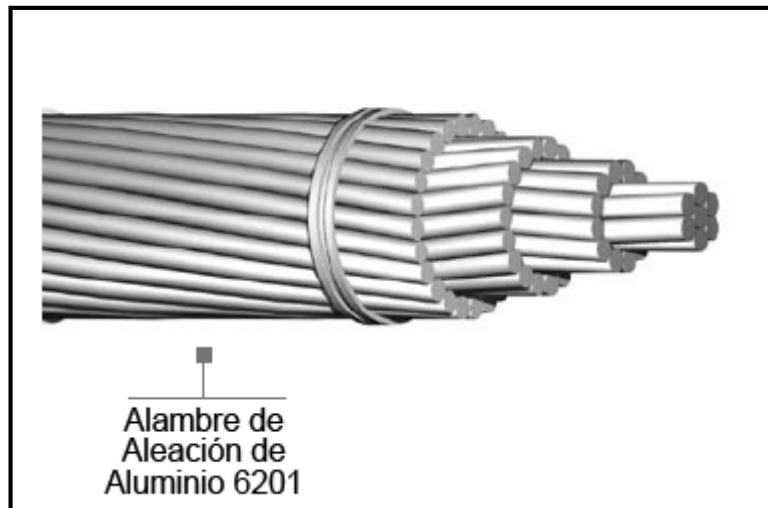
1.6.3.3.2 Conductores de aluminio para distribución aérea

Entre los conductores de aluminio utilizados para distribución aérea están el ACAR que está construido con alambres de aluminio 1350 y alambres de aluminio 6201 que

tienen características altas de conductividad y resistencia a la ruptura. El conductor de aluminio AAAC está construido solamente de aluminio 6201 con lo cual posee además de lo anterior, una mejor resistencia a la corrosión.

Existen otros como el AAC, el ACSR entre los cuales las características varían entre la ampacidad, la resistencia a la ruptura y el peso. Esto quiere decir que las diferencias principales radican en las normas ASTM para el aluminio y sus aleaciones que cumplan. En la figura 9 se representa un conductor desnudo AAAC. En la tabla IV, se representan las principales características según el calibre del cable ACAR. Área de sección en mm^2 , la resistencia en ohms / km, diámetro total, la resistencia a la tracción en Kg, y el peso de cada tramo del conductor en kg/km.

Figura 9. Conductor de aluminio AAAC



Fuente: Phelps Dodge.

Tabla IV. Propiedades de las principales aleaciones utilizadas en conductores de aluminio

Calibre	Sección	Formación		Diámetro Total	Peso Total	Resistencia a la Tracción Mínima	Resistencia Máxima @ 20°C
AWG ó KCM	mm ²	Aluminum 1350	Aleación 6201	mm	kg / km	kg	Ω / km
30,58	15.50	4x1.68	3x1.68	5.04	42.7	375	1.9786
4	21.15	4x1.96	3x1.96	5.88	58.3	507	1.4506
48,69	24.67	4x2.12	3x2.12	6.36	68.0	588	1.2428
2	33.62	4x2.47	3x2.47	7.42	92.7	792	0.9112
77,47	39.25	4x2.67	3x2.67	8.02	108	910	0.7810
1/0	53.51	4x3.12	3x3.12	9.36	147	1,222	0.5732
123,3	62.48	4x3.37	3x3.37	10.11	172	1,425	0.4909
2/0	67.44	4x3.50	3x3.50	10.51	186	1,501	0.4545
155,4	78.74	4x3.78	3x3.78	11.35	217	1,735	0.3893
3/0	85.02	4x3.93	3x3.93	11.80	234	1,859	0.3607
195,7	99.16	4x4.25	3x4.25	12.74	273	2,174	0.3092
4/0	107	4x4.42	3x4.42	13.25	296	2,352	0.2858
246,9	125	4x4.77	3x4.77	14.31	345	2,739	0.2451
250	127	15x2.91	4x2.91	14.57	349	2,482	0.2344
250	127	12x2.91	7x2.91	14.57	349	2,806	0.2399
300	152	15x3.19	4x3.19	15.96	419	2,943	0.1952
300	152	12x3.19	7x3.19	15.96	419	3,340	0.1997

Fuente: Phelps Dodge.

1.6.3.4 Dimensionamiento de conductores eléctricos

Al dimensionar cables, se elige la sección mínima basada en condiciones térmicas y se verifica que la caída de tensión se mantenga dentro de los límites admisibles. Cuando las distancias en juego son tales que la caída de tensión es una condición

dimensionante, el problema general es repartir la caída de tensión total, entre los distintos tramos del cable.

Los conductores que unen la salida de un circuito de distribución con el receptor son uno de los elementos que deben ser protegidos contra cortocircuitos.

Los criterios a tener en consideración para su dimensionamiento son:

- Tensión nominal.
- Cálculo térmico.
- Verificación de la caída de tensión.
- Verificación de la corriente de cortocircuito.

1.6.3.4.1 Tensión nominal

Es el valor nominal que define la tensión máxima que soporta el aislamiento. Se deberá cumplir en todo momento que la tensión nominal sea inferior o a lo sumo igual a la tensión de servicio existente en la instalación.

1.6.3.4.2 Calculo térmico

Será el que determine en principio la sección del conductor. El valor eficaz de la intensidad de corriente nominal del circuito, no tendrá que ocasionar un incremento de temperatura superior a la especificada para cada tipo de cable.

1.6.3.4.3 Verificación de la caída de tensión

Una vez elegido el tipo y la sección de los conductores por la corriente de carga, su modo de instalación y temperatura ambiente, es necesario realizar dos verificaciones. De no cumplirse alguna de ellas, se optará por elegir la inmediata superior y se vuelve a verificar hasta que ambas se cumplan.

La verificación de la caída de tensión considera la diferencia de tensión entre los extremos del conductor, calculada en base a la corriente absorbida por todos los elementos conectados al mismo y susceptibles de funcionar simultáneamente. Se deberá cumplir que no supere la carga máxima admisible.

Como valores tentativos de caída de tensión admisible, se puede tomar:

Circuitos de iluminación: ΔU admisible = 3%

Circuitos de fuerza motriz: ΔU admisible = 5% (en régimen)

= 15% (en arranque).

1.6.3.4.4 Verificación de la corriente de cortocircuito

Se realiza para determinar la máxima exposición térmica que puede sufrir el conductor durante breves fallas o cortocircuitos. Existirá entonces, una sección mínima

S que será función el valor de la potencia de cortocircuito en el punto de alimentación, el tipo de conductor evaluado y su protección automática asociada.

1.6.4 Fusibles

Un fusible es un dispositivo de protección contra sobre corriente, que opera quemándose el elemento sensor de corriente, debido a la circulación de una corriente superior al valor especificado. Las principales características de operación de un fusible son las siguientes:

- Combina el elemento sensor y de interrupción en una sola unidad.
- Su operación depende de la magnitud y de la duración de la corriente que circula sobre él.
- Es un dispositivo monofásico. Sólo el fusible de la fase dañada operará, quedando las otras fases activas.
- Este elemento no es regenerativo, por lo tanto cada vez que opere, habrá necesidad de cambiarlo.

1.6.4.1 Fusibles para baja tensión

Características generales de operación.

- Deben ser capaces de soportar un 110% de la corriente nominal en forma permanente.
- Si la corriente nominal fluctúa entre 0 y 60A, deben operar después de una hora con $1.35 I_n$ y de dos horas para fusibles con corrientes entre 61 a 600A

- Fusibles con corriente nominal superior a 600A deben operar en cuatro horas con $1.5 I_n$, o sea un 50% mayor de la corriente nominal.
- Fusibles con diferentes voltajes y corrientes deben tener diferentes dimensiones físicas para evitar confusiones.

1.6.4.1.1 Corriente de interrupción

Los fusibles para baja tensión tienen capacidades de ruptura elevadas, lo que les permite interrumpir con alta eficiencia y confiabilidad, altas corrientes de cortocircuito.

Para los diferentes tipos de fusibles existentes para uso en baja tensión, las capacidades de ruptura son las siguientes.

Clase H: inferior a 10kA.

Clase K: 50, 100 o 200kA.

RK1 y RK5: 200kA

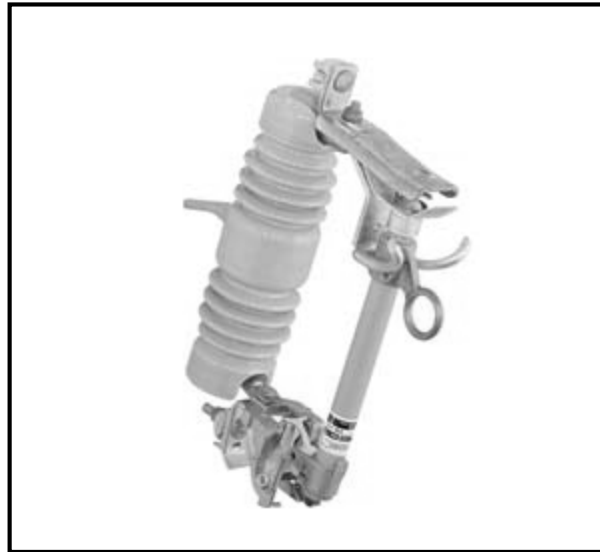
1.6.4.2 Fusibles para media tensión

Los fusibles para media tensión clase R están indicados como limitadores de corriente suplementarios en unión con motores de media tensión y control de motores. Una muestra de fusible de media tensión está representada en la figura 10. Los fusibles de limitación de corriente pueden ser diseñados como clase R si cumplen con los siguientes requerimientos:

- Que el fusible interrumpa con seguridad todas las corrientes entre su capacidad de interrupción mínima y máxima.

- Que el fusible abra en un rango de 15 a 35 segundos en un valor de 100 veces el número R según normas ANSI C 37.46

Figura 10. Fusible para media tensión



1.6.5 Interruptores de potencia

Los interruptores son, después de los transformadores, la parte más importante de un sistema eléctrico de potencia debido a que es el dispositivo que puede dar o suspender la continuidad de energía. Es el encargado de desconectar una carga o una parte de sistema eléctrico, tanto en condiciones de operación normal (máxima carga o vacío) o en condiciones de cortocircuito. La operación de un interruptor puede ser manual o accionada por la señal de un relé encargado de vigilar la correcta operación del sistema eléctrico, donde está conectado. Existen diferentes tipos de interruptor de potencia como los de grande y pequeño volumen de aceite, neumáticos, en vacío e interruptores en hexafluoruro de azufre.

1.6.5.1 Arco eléctrico

Cuando un interruptor abre un circuito con carga para despejar una falla, es inevitable la presencia del arco eléctrico, la que sin duda es una condición desfavorable en la operación de interruptores. Durante la presencia del arco, se mantiene la presencia de corriente en el circuito de potencia. Las características del arco dependen entre otras cosas de:

- La naturaleza y presión del medio ambiente donde se induce.
- La presencia de agentes ionizantes o desionizantes.
- La tensión entre los contactos y su variación en el tiempo.
- La forma, separación y estructura química de los contactos.
- El sistema de la extinción del arco.

La generación del arco se debe a la ionización del medio entre los contactos, haciéndolo conductor, lo que facilita la circulación de corriente.

2. USO DE LA RED DE DISTRIBUCION DE POTENCIA PARA ACCESO A INTERNET

2.1 Acceso a internet por la red de distribución de energía (PLC)

Powerline communications, (PLC) es una tecnología que permite ofrecer varios servicios de comunicaciones de banda ancha a través de la red eléctrica. Esta tecnología aunque se encuentra en desarrollo, tiene ya algún tiempo de existir y en los últimos años ha sido objeto de gran interés de implementación en diversos países, lo que nos indica que tiene un gran potencial para un futuro cercano.

El propósito principal del PLC es utilizar la red de distribución de energía para la transmisión de datos, lo cual abarca varios servicios de telecomunicaciones basados en tecnología IP (internet protocol). La idea de utilizar el PLC es valiosa, es real ya que se intenta utilizar una extensa infraestructura ya existente que como en el caso de Guatemala, el noventa por ciento de la población cuenta con servicio de energía eléctrica. Con esta tecnología se pretende evitar nuevos tendidos de redes para la distribución de datos, utilizando como última milla el tendido eléctrico desde el transformador de distribución, así como también el cableado existente dentro de las casas, edificios, industrias, escuelas etc.

La utilización de la infraestructura de la red eléctrica resulta atractiva, tomando en cuenta que las redes de acceso son el elemento más costoso de las redes de

telecomunicaciones, estimándose un 80% en inversiones como gastos operativos en red de acceso, del total asociado a la red.

La línea eléctrica es un medio muy ruidoso, cambiante y utilizado habitualmente para transmitir energía. La señal PLC comparte la línea eléctrica, si bien emplea un rango de frecuencias que normalmente no se utiliza o tiene un uso muy restringido. Este rango espectral se encuentra comprendido entre los 1.6 MHz y los 30MHz, hallándose entonces en la banda de alta frecuencia que también se denomina onda corta.

2.2 Características de una red PLC

Entre las principales características que hacen de PLC una tecnología con un gran futuro y potencial, se destacan:

- Es una tecnología de banda ancha.
- Alcanza velocidades de transmisión de hasta 200Mbps.
- Proceso de instalación sencillo y práctico para el cliente final.
- No se necesita de obra de infraestructura ni cableados adicionales.
- La señal no se ve afectada por interferencias de los electrodomésticos.
- Permite seguir prestando el servicio eléctrico sin ningún problema.
- Presta una conexión de datos permanente.

2.2.1 Ventajas

- Se emplea la infraestructura existente con un medio físico ya desplegado.
- Es una alternativa válida al ADSL.
- Se pueden suministrar varios servicios con la misma plataforma.

- Existe la posibilidad de introducir esta tecnología en áreas en donde la densidad poblacional es baja, o sea que puede tenerse acceso a PLC a pesar de no contar con acceso a banda ancha con otras tecnologías.
- Es posible integrarla con otras infraestructuras existentes como fibra óptica, microonda, WiFi, etc.
- Bajo costo en su implementación y uso.
- Flexibilidad en el manejo de modificaciones en puntos de acceso a usuarios (incremento en el número de usuarios, cambios en los servicios necesarios, ubicación geográfica, etc.).
- Más económica en comparación con las conexiones ADSL o cable coaxial

2.2.2 Desventajas

- La red eléctrica fue diseñada para transmitir energía, no para transmitir datos.
- La capacidad de servicio de la tecnología PLC queda limitada por el número de usuarios a los que brinda servicio cada transformador.
- Existe cierto rango de frecuencias que no pueden ser utilizadas por PLC debido a que ocasionan interferencias con servicios pre-existentes, como transmisiones convencionales de radio en FM o servicios de emergencia como bomberos y policía.
- Marco legal y administrativo no completamente definido.
- Producción de equipos por el momento limitada.

2.2.3 Capacidad de transmisión PLC

La capacidad de transmisión PLC puede variar dependiendo del sistema de modulación y del fabricante. El máximo suele establecerse en los 45Mbps (27Mbps en el sentido red-usuario y 18Mbps en el sentido usuario-red) sin embargo chipsets de reciente desarrollo han elevado el límite por encima de los 200Mbps, lo que permite al PLC competir con otros sistemas de comunicación por banda ancha.

Como referencia se muestra a en la tabla V una comparativa de las tasas nominales de transferencia de algunas tecnologías de acceso a internet comúnmente empleadas.

Tabla V. Comparativa entre tecnologías de acceso a internet

TECNOLOGIA	VELOCIDAD
ETHERNET	10Mbps
Fast Ethernet	hasta 100Mbps
Gigabit Ethernet	hasta 1000Mbps
IEEE 802.11b	hasta 11Mbps
IEEE 802.11g	hasta 54 Mbps
PLC Primera generación	hasta 45 Mbps
PLC Segunda generación	hasta 200 Mbps

Para la transmisión de datos, voz y video, en PLC se utiliza alta frecuencia (1.6 a 30 MHz). La respuesta del canal es todo lo contrario a la ideal: es variante en el tiempo dependiendo de la carga. Tiene grandes fluctuaciones en frecuencia, es decir es hostil y muy ruidoso. A estas frecuencias de trabajo, la señal sufre una gran atenuación con la distancia. La función de transferencia del canal presenta desvanecimientos selectivos. Por todo eso, se hace imprescindible utilizar métodos de modulación más robustos y adaptativos a las características del canal. Se utiliza OFDM adaptándose dinámicamente a las condiciones del canal, monitorizando las condiciones de relación señal-ruido de cada sub-portadora cada 10 milisegundos y adaptando en función de esta. La tasa de bit a transmitir por la misma.

Al ser la infraestructura eléctrica, un medio ruidoso, no solo hay que enfrentar la atenuación de la señal, sino eventos tales como el arranque y parada de motores, interruptores, algunas con emisión de radiaciones atenuadas a pocos metros, pero otros

como aquellos que ponen en marcha ascensores y aparatos de aire acondicionado, con señales emitidas de muy alta intensidad. Todas estas interferencias deben solucionarse, utilizando diversos mecanismos, siendo uno de ellos el recurso del ajuste espectral que la capacidad de portadoras múltiples que el PLC ofrece. Se pueden utilizar también filtros que eliminen ruidos parásitos por toda la red y que aíslen equipos problemáticos y que protejan servicios que puedan ser interferidos.

2.2.4 Aplicaciones

- Utilización de la infraestructura eléctrica existente para redes multimedia, de vigilancia, domésticas y de acceso a internet.
- Creación de conexiones cerradas y seguras entre el ISP y los usuarios.
- Uso de PLC para soluciones de voz sobre IP.

2.2.5 Beneficios de la tecnología PLC

- Ampliación de mercado de banda ancha a zonas donde no es rentable el despliegue de una red tradicional de telecomunicaciones.
- Ampliación de productos y servicios a través de PLC.
- Innovación.
- Optimización del uso de la infraestructura de fibra óptica al poder montar una red PLC de media tensión combinada con fibra óptica.
- Facilitar la creación de la red de telecomunicaciones en el domicilio del cliente aprovechando los cables eléctricos de potencia.

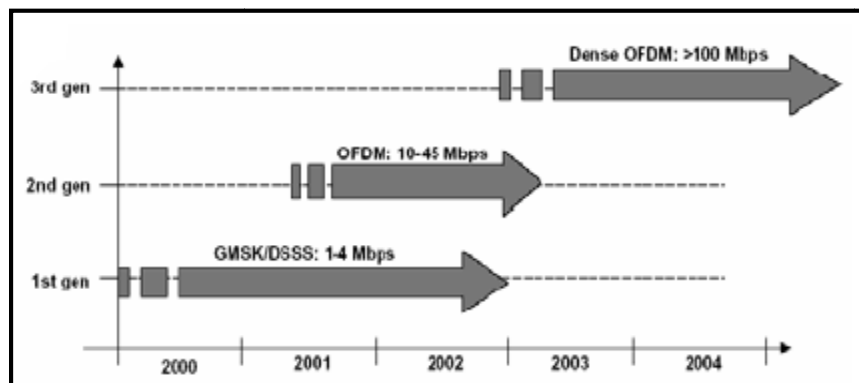
2.3 Métodos de modulación empleados

La señal PLC modula a una portadora entre 1.6 y 40 Mhz, dependiendo del sistema, actualmente no hay un estándar sino un grupo de sistemas que son incompatibles entre sí. Básicamente se emplean tres tipos de modulación:

- DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation) puede operar con baja densidad de potencia espectral.
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Que usa un gran número de portadoras de ancho de banda muy estrechas. En que la señal principal se divide en tantos segmentos de bits como portadoras se tengan disponibles. Las portadoras son ortogonales en fase entre sí.
- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) es una forma especial de modulación de banda estrecha.

Todos estos sistemas ocupan el espectro HF o de onda corta.

Figura 11. Evolución de las modulaciones empleadas



2.3.1 Sistema de modulación GSMK

GSMK (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.

En GSMK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1,-1) son transformados a pulsos gaussianos que son señales de forma acampanada, mediante un filtro gaussiano para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la mayoría de casos, la duración de un pulso gaussiano supera 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 es normalmente conocido como BT. Cuanto mayor sea el BT, menor 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 definidas. Además de la transmisión de datos por la red eléctrica, este tipo de modulación es muy utilizado en redes GSM, y en comunicaciones aeroespaciales debido al poco ancho de banda necesario y a la robustez de la señal en medios hostiles.

2.3.2 Sistema de modulación DSSM

El sistema DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 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 distribuir 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.

2.3.2.1 Características

- Se basa en la multiplicación de la secuencia de bits original por una secuencia digital de velocidad mucho mayor.
- El código de expansión, extiende la señal por una amplia 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.

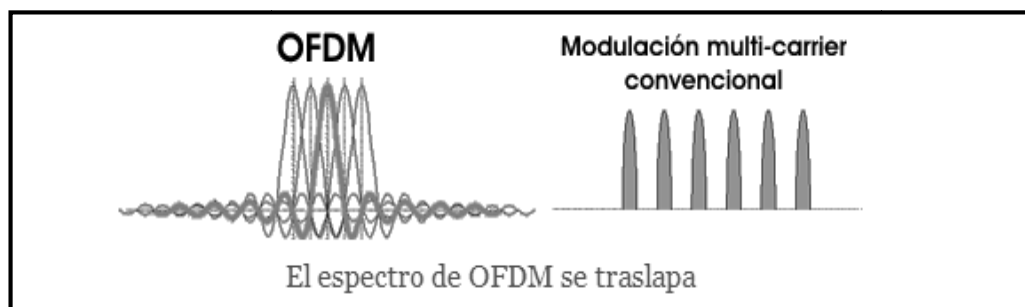
2.3.3 Sistema de modulación OFDM.

Durante los últimos años OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ha tenido aceptación como tecnología de base para el 802.16.a, que es un estándar para las normas IEEE para redes de área metropolitana inalámbricas, que puede proveer extensión para acceso de última milla de banda ancha en instalaciones de cable y DSL. El mismo cubre el rango de frecuencias de 2 a 11 GHz y alcanza hasta los 50km

lineales, brindando conectividad de banda ancha inalámbrica sin necesidad que exista una línea directa de visión hacia la estación base. La velocidad de transmisión de datos puede llegar hasta 70Mbps. Una estación base típica puede albergar hasta seis sectores. La calidad del servicio está integrada dentro de otra plataforma, permitiendo la diferenciación de los niveles de servicio.

El OFDM trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples sub portadoras. La transmisión sin línea de vista ocurre cuando entre el transmisor y el receptor existen absorciones o reflexiones de la señal. Lo que resulta en una degradación de la señal recibida, lo que se manifiesta por medio de los siguientes efectos: atenuación plana, atenuación selectiva en frecuencia o interferencia. La figura 12 muestra una comparativa entre multi-portadora convencional y OFDM

Figura 12. Comparación gráfica de modulación OFDM con Multi-Carrier



Fuente: Fundamentals of WiMax, capítulo 2.

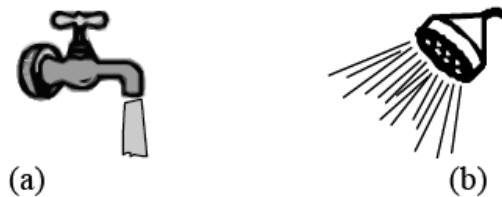
OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación de portadoras múltiples, considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo. La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran

número de portadoras que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Este espacio evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las propias. El OFDM tiene una alta eficiencia de espectro, resiliencia a la interfaz FR y menor distorsión de trayectorias múltiples. Actualmente OFDM no solo se usa en redes inalámbricas LAN 802.11.a sino en las 802.11g, en comunicaciones de alta velocidad por vía telefónica ADSL y en difusión de señales de televisión digital terrestre en Europa, Japón y Australia.

El OFDM es una combinación de modulación y multiplexación. Generalmente se refiere a señales independientes, las cuales son producidas por fuentes independientes. Entonces el asunto es cómo compartir el espectro con los usuarios. En OFDM el principio de la multiplexación es aplicado a señales independientes pero estas señales independientes son particiones de una señal principal. En OFDM la señal se divide en canales independientes, modulada en fase y nuevamente multiplexada para crear las portadoras OFDM.

OFDM es un caso especial de FDM (Frequency Division Multiplex). Para hacer una analogía en la figura 13 se ilustra que un canal FDM es como un chorro de agua saliendo de un grifo, mientras que el OFDM sería como una ducha. En el grifo, toda el agua sale como un solo chorro y no puede ser dividida. Para el caso de la ducha, el agua sale sub dividida en una serie de pequeños chorros lo que sería similar a OFDM.

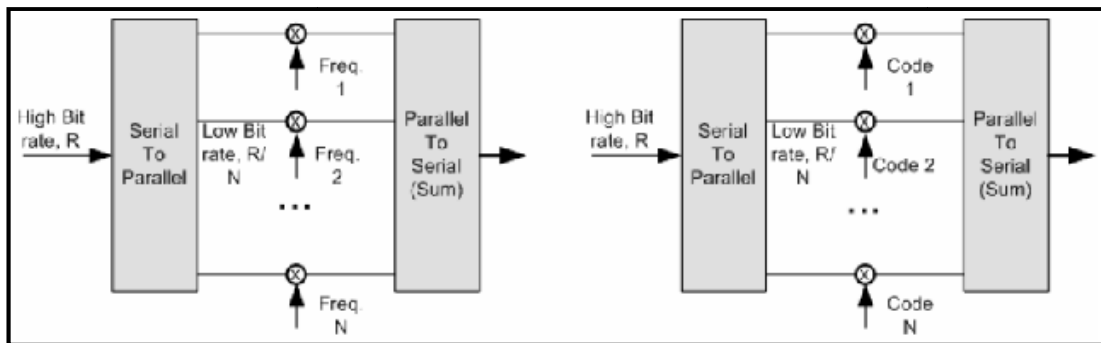
Figura 13. (a) Portador FDM. (b) Portador OFDM, la misma cantidad de flujo dividido en múltiples fracciones.



Fuente: Charan Langton, www.complextoreal.com

En la figura 13(a) si se coloca un dedo en el grifo, se obstruye casi totalmente el flujo del agua, mientras que en la figura 13(b) no sucede lo mismo, lo cual ilustra que en los dos casos reaccionan de forma diferente a la interferencia. Los sub canales independientes, pueden ser multiplexados por FDM (frequency division multiplexing), esto se denomina transmisión de portadoras múltiples o puede estar basada en CDM (code division multiplex), en este caso se le llama transmisión multi-code. Ambos casos se ilustran en la figura 14.

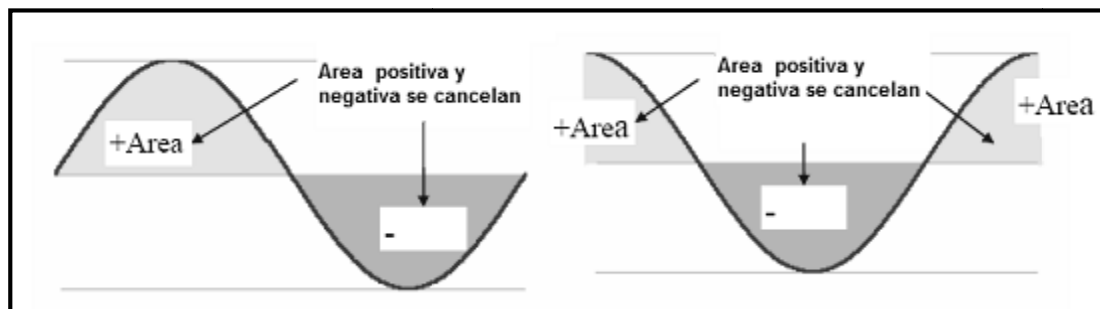
Figura 14. Transmisión multi-carrier FDM y multi-code division



Fuente: Charan Langton, www.complextoreal.com

El concepto principal en OFDM es la ortogonalidad de las sub-portadoras. Debido a que todas las portadoras son ondas de seno y coseno, se sabe que el área bajo un período de una onda de seno o coseno es cero como se muestra en la figura 15.

Figura 15. El área bajo un período en una onda senoidal o cosenoidal siempre es cero

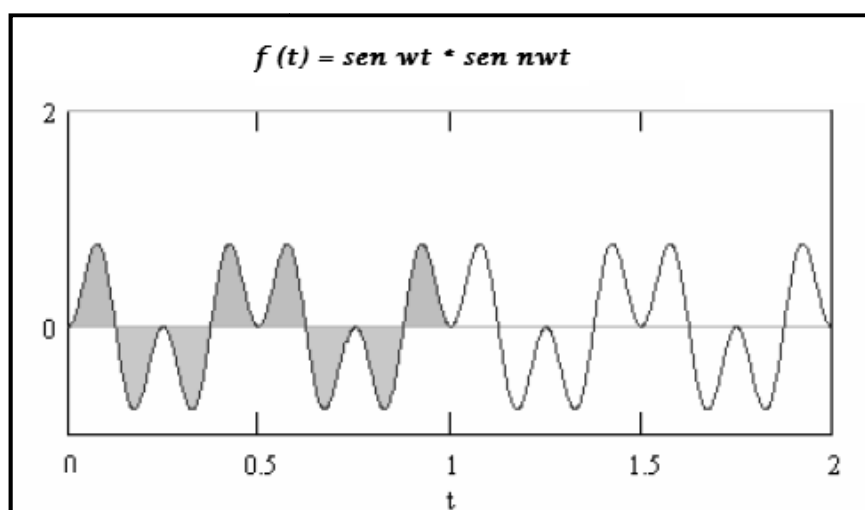


Fuente: Charan Langton, www.complextoreal.com

Si se analiza una onda senoidal de frecuencia m y se multiplica por otra onda sinusoidal de frecuencia n , donde tanto m como n son números enteros. La función del área bajo el producto está dado por:

$$F(t) = \text{sen} m\omega t * \text{sen} n\omega t$$

Figura 16. El área bajo una onda senoidal multiplicada por su propia armónica es siempre cero



Fuente: Charan Langton, www.complextoreal.com

Haciendo una simple relación trigonométrica el resultado es igual a la suma de dos sinusoides de las frecuencias (n-m) y (n+m).

$$F(t) = \frac{1}{2} \cos(m-n)wt - \frac{1}{2} \cos(m+n)wt$$

Cada una de estas componentes es una onda senoidal, entonces en un período completo, la integral es igual a cero.

$$F(t) = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \cos(m-n)wt - \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \cos(m+n)wt$$

$$F(t) = 0-0$$

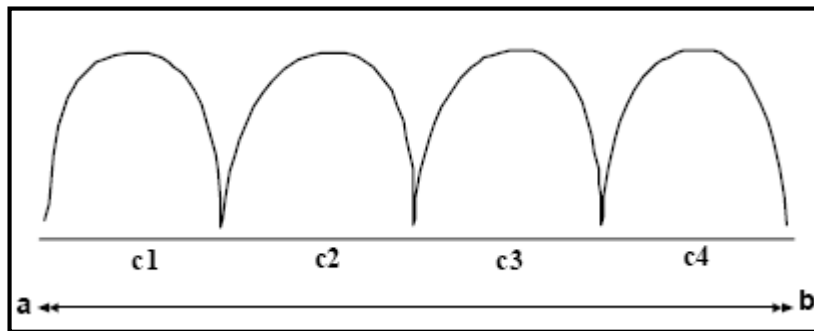
Se concluye que cuando se multiplica una onda senoidal de frecuencia n por otra de frecuencia m/n, el área bajo el producto es cero. En general para todos los enteros n y m, sen(mx), cos(mx), cos(nx), sen(nx) son ortogonales unos a otros. Estas frecuencias son llamadas armónicas.

Este concepto es la clave de comprender el funcionamiento de OFDM, la ortogonalidad permite la transmisión simultánea entre un conjunto de sub-portadoras en un reducido espacio de frecuencia sin interferirse unas a otras. Similar a CDMA, donde codificaciones son usadas para hacer secuencias de datos independientes ortogonales, que permiten a múltiples usuarios transmitir en el mismo espacio de forma exitosa.

Primero se describirá lo que es FDM. Si se tiene un ancho de banda que va desde la frecuencia a hacia la b, se puede subdividir este ancho de banda en espacios de

frecuencia iguales. Las portadoras moduladas del espacio de frecuencia quedan como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Las portadoras quedan una próxima de la otra en FDM



Fuente: Charan Langton, www.complextoreal.com

Las frecuencias a y b pueden ser números enteros o no enteros mientras no haya relación implícita entre a y b.

Si decimos que

$$c_n = n \cdot c_1$$

Entonces

$$c_2 = 2c_1$$

$$c_3 = 3c_1$$

$$c_4 = 4c_1$$

Estas tres frecuencias son armónicas a c_1 . En este caso, debido a que las portadoras son ortogonales unas con otras, cuando se agregan juntas, no se interfieren unas con otras.

En OFDM se tienen N portadoras, N puede ser cualquier valor desde 16 a 1024, estos valores dependerán del ambiente en el cual el sistema será utilizado.

Al examinar la siguiente secuencia de bits se desea transmitir y mostrar el desarrollo de la señal OFDM utilizando cuatro sub portadoras

En la tabla VI se muestra la serie de bits convertidos de serie a paralelo ordenados en cuatro columnas.

Tabla VI. Serie de bits al ser modulados

c1	c2	c3	c4
1	1	-1	-1
1	1	1	-1
1	-1	-1	-1
-1	1	-1	-1
-1	1	1	-1
-1	-1	1	1

Cada columna de la tabla VI, representa los bits que serán llevados por una sub portadora.

El uso de la modulación OFDM se ha incrementado enormemente en los últimos 10 años. OFDM es usado en aplicaciones modem/ADSL que coexisten con una línea telefónica. En ADSL la línea telefónica es filtrada para proveer un alto SNR. En este caso OFDM es llamada DMT (Discrete Multi Tone). OFDM es también en uso con módems inalámbricos de internet y su uso es denominado 802.11a.

2.4 Estandarizaciones aplicables

Home Plug Powerline Alliance es una organización sin fines de lucro que se ha dedicado a crear estándares para productos para redes PLC. A la última generación de

la tecnología Home Plug, se le conoce como HPAV. Cualquier trabajo de comunicación por las líneas de energía que se quiera hacer de manera confiable, debe incluir una capa física robusta (PHY) y un protocolo MAC (Media Access Control) eficiente. El protocolo MAC, controla el compartimiento del medio entre múltiples clientes, mientras que la PHY, especifica la modulación, codificación y formatos de paquetes básicos.

2.4.1 Capa física PHY

La capa física del modelo de sistemas abiertos (OSI), es la encargada de realizar las conexiones físicas desde la computadora hacia la red, ya sea dentro de un medio físico guiado como cable coaxial, cable de cobre, o fibra óptica y medios no guiados como microonda o satélite entre otras. También se encarga de coordinar la forma en la que se transmite la información, como codificación de la señal, niveles de tensión, modulación etc. Se encarga además de transmitir los bits de información a través del medio que se utilice. Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diferentes componentes; la velocidad de transmisión, si es simplex, dúplex o full dúplex. Sus principales funciones se describen a continuación:

- Definir el medio físico o el conductor por el que van a viajar los datos.
- Definir las características de los materiales que se van a utilizar en la transmisión de los datos por los medios físicos.
- Transmitir el flujo de bits a través del medio.
- Manejar las señales eléctricas y electromagnéticas.
- Garantizar la conexión, aunque no la confiabilidad de la misma.

La capa física Home Plug, PHY, opera en un rango de frecuencia de 2 a 28MHz y provee un rango de canal de capa física de 200Mbps y un rango de información de 150Mbps. Usa la orthogonal frequency division multiplexing como técnica básica de transmisión.

En el lado de la transmisión, la capa PHY recibe sus entradas desde la capa MAC. Se tienen diferentes entradas para HPAV de datos y control de información. El control de la información en HPAV es procesada por el Frame Control Encoder block y un Interleaver. El flujo de datos HPAV pasa a través de un Scrambler, un codificador FEC y un Interleaver. Las salidas de los tres flujos conllevan a una estructura OFDM de modulación en común. Las salidas, eventualmente alimentan el módulo AFE (Analog Front End) que empareja la señal hacia los cables de energía. En el lado receptor, un AFE opera junto con un AGC (Automatic Gain Controller) y un módulo de sincronización de tiempo que alimenta información de datos por separado y circuitos de recuperación de datos.

La capa PHY, contribuye para la implementación de una política de mecanismos de espectro flexible, para permitir adaptarse en áreas geográficas variables y en diferentes redes y regulaciones.

2.4.2 Protocolo MAC

El esquema de acceso múltiple del protocolo MAC, establece un método para dividir los recursos de la transmisión en secciones accesibles. Los canales de transmisión, representan las secciones que son accesibles para un protocolo MAC. La función de un protocolo MAC es controlar las asignaciones y reasignaciones de los canales entre un número determinado de usuarios PLC, y la transmisión de ciertos servicios.

El protocolo MAC necesita mantener un sistema PLC que provea características para la realización de diferentes servicios como telefonía e internet y servicios más sofisticados que requieren una alta calidad de servicio (QoS), como la automatización de hogares, manejo de energía y control de sistemas de seguridad.

Un protocolo MAC, especifica una estrategia de compartir los recursos, aplicada a un esquema de acceso múltiple, lo que implica el acceso de múltiples usuarios a la capacidad de transmisión de la red. Lo que quiere decir que Media Acces Control (MAC), provee servicios de datos y mecanismos de control de acceso de canales, que lo hacen posible para muchos nodos y servicios, compartir las líneas de potencia y comunicarse sin interferencia mutua.

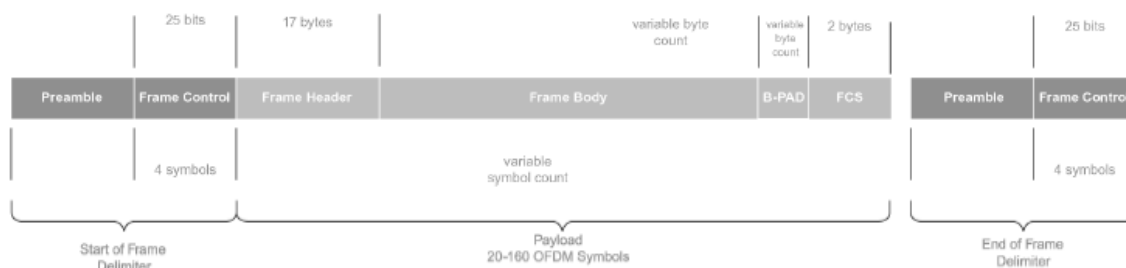
Los sistemas PLC tienen muchas similitudes en señalización con las redes inalámbricas. A esto se debe que se utilicen similares esquemas de transmisión y además un protocolo MAC similar.

Las redes domésticas deberían poder soportar desde simples transferencias de archivos hasta aplicaciones que demanden una alta calidad de servicio como voz sobre IP, y streaming. El protocolo MAC está constituido para integrarse en la capa física y direccionar sus necesidades.

2.4.2.1 Formatos de tramas

La tecnología Home Plug utiliza dos formatos de tramas (Frame format) mostrados en la figura 18. Una trama larga consistente en el delimitador del comienzo de la trama, el delimitador de payload y del fin de la trama. Una trama corta consiste en un delimitador de respuesta y es utilizado retransmitiendo paquetes de datos erróneos, de esta manera reduciendo en rango de paquetes de datos erróneos

Figura 18. Formato de trama larga



Fuente: Home Plug Powerline Alliance

3. ARQUITECTURA DE LA RED PLC

3.1 Arquitectura de la red

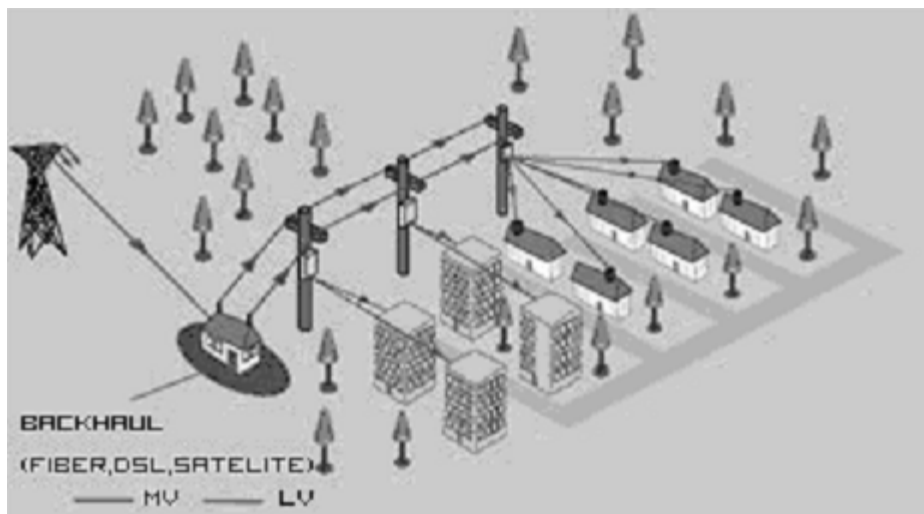
La arquitectura PLC se divide principalmente en dos sistemas que están formados por tres elementos:

El primer sistema denominado de “outdoor” o de acceso, cubre el tramo conocido en telecomunicaciones como “ultima milla” que para el caso de la red PLC, comprende el tramo de la red eléctrica que va desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el medidor de energía eléctrica en la residencia. Este primer sistema es administrado por un equipo de cabecera o Head End que conecta esta red con la de transporte de telecomunicaciones. De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

El segundo sistema se llama indoor. Cubre el tramo que va desde el medidor del usuario, hasta todos los tomacorrientes ubicados en el interior del usuario. Para ello, este sistema utiliza como medio de transmisión, el cableado eléctrico interno. Para comunicar los sistemas outdoor e indoor, se utiliza un equipo repetidor, que es el segundo elemento de la red PLC. Este equipo quedaría instalado normalmente en la cercanía del medidor de energía eléctrica. Está compuesto por un módem terminal y equipo cabecera. El primer componente de este repetidor, recoge la señal proveniente del equipo cabecera del sistema outdoor, y el segundo componente se comunica con la parte terminal del repetidor e inyecta la señal a la parte indoor.

El tercer elemento de la red PLC, lo constituye el módem terminal, que recoge la señal directamente de la red eléctrica a través de los tomacorrientes. Gracias a los primeros componentes de la red, ahora cada tomacorriente del recinto se convierte en un punto de red con solo conectar un modem PLC. Todos estos elementos se ilustran globalmente en la figura 19.

Figura 19. Diagrama general desde el nivel de transmisión hasta los usuarios



Fuente: Corinex PLC.

3.1.1 Backbone

Se denomina Backbone a la infraestructura de una red de alta velocidad, que conecta los nodos de agregación y/o de acceso. El Backbone es una plataforma que soporta las comunicaciones de todo tipo de servicios como transmisión de datos, voz, interconexión de redes de alta velocidad y aplicaciones multimedia que exijan calidad de servicio. De modo más simple de explicar Backbone será el proveedor de acceso a internet, quién

pondrá a disposición de la tecnología PLC, un enlace dedicado de fibra óptica a un mínimo de 10Mbps, para que sea distribuido a través de la red de baja tensión a los usuarios que utilicen este servicio. En nuestro caso le llamaremos Backbone a la central que nos estaría proveyendo la conexión a internet.

3.1.2 Red troncal

El tramo cubierto desde la central llamada Backbone hasta los centros de transformación es denominada red troncal. Está constituida por una red de tránsito y una red de núcleo. La red de núcleo está formada por los elementos que proporcionan todos los servicios de red que posibilitan la comunicación con los clientes de una manera segura (elementos de conmutación, firewalling, servidores) y la red de tránsito que comunica cada CT con la red de núcleo.

3.1.2.1 Núcleo de la red

El núcleo de la red, es dónde se mueven los datos para llegar a un destino concreto. Su principal función es conseguir conectividad entre cualquier par de elementos de la red, entre otras. El modelo OSI (*open system interconnection*) en el cual el núcleo de una red se verá afectado principalmente por los niveles físicos, de enlace y de red. Se ha pasado desde tecnologías de cobre, a tecnologías coaxiales hasta tecnologías de fibra óptica que ahora son las más utilizadas para transmitir información en el núcleo de las redes.

3.1.2.2 Red de tránsito

La red de tránsito está formada por todos los elementos que sirven de enlace entre la red de núcleo que está en la central Backbone y cada centro de transformación. Para la red de tránsito se pueden considerar varias opciones de las cuales se debe adoptar la más ventajosa de acuerdo a sus características. Estas características a considerar serán su capacidad de transmisión, la versatilidad de interactuar con otras tecnologías, la geografía del área a montarse y por supuesto el costo. Se describen las diferentes

posibilidades como medios de red de tránsito que han sido probadas eficientemente en redes de telecomunicaciones.

3.1.2.2.1 Fibra óptica

Su principal ventaja está representada por la gran cantidad de bits por segundo que puede ser transportado por un simple cable de fibra gracias a su gran ancho de banda que puede llegar hasta los 2GHz. Según el teorema de transformada de Fourier, la longitud de un pulso en el tiempo, se traduce en un espectro de frecuencias en función inversa, es decir, a menor longitud de pulso, mayor cantidad de frecuencias. Esto implica que para velocidades de datos digitales muy altas y pulsos muy cortos, el espectro de frecuencias generado es muy ancho. El cual permite fácilmente soportar todas las necesidades de audio, video, gráficos y texto. Se puede combinar con otros tipos de enlace como el cable coaxial. Es comúnmente usado un híbrido conocido como HFC (Híbrido Fiber-Coax), en la que se tiene utilizada fibra óptica hasta la última cuadra y cable coaxial hasta el usuario final.

3.1.2.2.2 Cable coaxial

El cable coaxial puede transportar una señal en dos vías con mejor capacidad de transporte que los pares de cobre, además provee buena inmunidad al ruido y durabilidad. Esto es debido al blindaje, que le permite aislamiento contra interferencias y también su valor de autoinductancia es menor que en el par trenzado. En relación al costo, el coaxial es más económico que instalar fibra óptica, sin embargo no tiene suficiente ancho de banda para transportar video, audio y datos simultáneamente y no es completamente interactivo ya que las señales no van en ambas direcciones al mismo tiempo. Esto implica el uso de un esquema de comunicaciones TDM desde un controlador hacia las unidades de cliente, o un esquema FDM en el cual cada extremo

transmite en una frecuencia y recibe en la que el otro envía. Esto es más práctico para comunicaciones tipo broadcast o punto a punto.

3.1.2.2.3 Microonda

Posee suficiente ancho de banda para permitir voz, video y comunicaciones de datos en ambas direcciones. Su mayor ventaja es su adaptabilidad a áreas de difícil topología, como terrenos montañosos donde es difícil o costoso construir líneas de comunicación físicas o simplemente existe demasiada distancia entre los puntos de enlace. Debido a que la microonda requiere una línea de vista directa para la transmisión entre emisor y receptor, esto lo hace una tecnología útil y confiable para transmisiones de Backbone pero no para conectar hogares individuales ya que se necesitaría un enlace de microonda en cada hogar lo que lo haría injustificablemente costoso. Su uso es más justificable cuando las distancias de enlaces son muy extensas como para utilizar fibra óptica.

3.1.2.2.4 Satélite

La comunicación bidireccional que puede alcanzarse con los satélites facilita proveer un servicio punto-multipunto sobre áreas amplias en forma económica pero el costo de los equipos es demasiado caro para considerarlo en cada usuario. Con el estado actual de la tecnología prácticamente no aplica. La mayor limitación es las dimensiones de antena que permita una disponibilidad superior a 99.99% durante el año. Se utiliza la tecnología denominada DTH (direct to home), en la banda de frecuencias de 11GHz y otro problema es encontrar un satélite disponible para el ancho de banda requerido por TV y datos, que con los esquemas de modulación disponibles, requiere 72 MHz en satélite para transmitir 72 canales de definición normal. Aunque resulta una única

opción para casos en donde el acceso es remoto, las distancias y la topología del terreno no permiten el enlace hacia el Backbone con fibra óptica ni con microonda.

3.1.3 Cabecera PLC (Head End)

La señal de internet tiene como inicio a un proveedor de servicios de internet, quien recibe la señal y la envía a un punto de distribución en la red de baja tensión, donde se encuentra instalada una cabecera PLC. La señal es enviada a este punto de distribución a través de un enlace de fibra óptica de 10 Mbps. El punto de distribución se encuentra instalado muy cerca de una unidad transformadora de energía eléctrica de media a baja tensión.

Junto a la cabecera PLC se encuentra una unidad transceiver, que es un adaptador desarrollado especialmente para permitir la conversión de la señal de redes basado en hilos de fibra óptica a cables de hilos de cobre y viceversa. Mediante la tecnología de fibra óptica se puede conectar dispositivos a distancias mínimas de 50km en modo full duplex. Esto es posible si se aplica una forma de WDM, en que, se emite la luz en una longitud de onda diferente a la longitud de onda en que recibe. Se puede lograr una comunicación sobre una sola fibra óptica.

Una vez que la señal es convertida desde la señal de fibra óptica a red ethernet, entra a la cabecera PLC a través de una puerta ethernet. La señal es procesada en el interior del Head End e inyectada a la red de baja tensión a través de un acoplador de señal. De esta forma, la señal de internet, ha sido introducida a la red de baja tensión en una frecuencia llamada outdoor, con un ancho de banda que va desde los 1.6 a 18Mhz. El Head End es un Gateway de alta velocidad que opera entre la red Powerline y la red de fibra óptica.

La transmisión de datos desde el Head End hasta el módem PLC es llamada transmisión downstream mientras que la transmisión desde el módem PLC hasta el Head End, es llamada upstream. La arquitectura maestro-esclavo proporciona un sistema de seguridad y eficacia de datos. Este sistema también permite que la calidad del servicio sea controlada, asegurando el ancho de banda y el estado operativo de los procesos críticos tales como transferencias de datos garantizados. Si se utiliza un software administrador, es posible modificar, restringir o fijar de forma remota el ancho de banda que se ofrece a cada usuario.

3.1.4 Repetidor PLC

El repetidor PLC o Home Gateway es un dispositivo que genera la señal PLC en aquellos lugares en los que se ha degenerado por la distancia. Para lograr su objetivo, cambia la frecuencia de la señal. La señal viene desde el Head End, en una frecuencia de 1.6 a 18MHz, el repetidor toma esta señal y la eleva a la frecuencia de 18 hasta 36MHz. De esta forma se logra una separación de frecuencias para que los dispositivos converjan entre ellos, es así como un Head End se entiende con un Home Gateway en la frecuencia de outdoor y un Home Gateway converge con un módem PLC en la frecuencia Indoor. En este caso el sistema maestro-esclavo se realiza de la siguiente forma:

- HE es el maestro y el HG es el esclavo
- HG es el maestro y el Módem PLC es el esclavo.

El Home Gateway es instalado en el interior de la vivienda después del medidor de energía. Su utilización está ligada con la cantidad de módem PLC's que estén instalados en la vivienda o localidad como también la distancia que exista entre el HE y el módem

PLC. La distancia máxima que algunos fabricantes recomiendan utilizar un repetidor es de 300m.

Los HG pueden ser utilizados para expandir la cobertura de una red PLC o bien para mejorar el ancho de banda disponible. Si se desea disponer de una red LAN en el interior de un recinto es indispensable disponer de un HG para que cumpla la función del un Router. Los HG están equipados con dos chips DS2 Powerline. Un chip cumple la función de esclavo del HE y el otro es el maestro de los módem PLC que están vinculados con éste. Estos chips son los encargados de realizar la modulación de datos para ser inyectados a la red de baja tensión. El repetidor PLC se ilustra en la figura 20.

Figura 20. Repetidor PLC



Fuente: ILEVO Schneider PLC.

3.1.5 Módem PLC

Posteriormente, una vez que la señal ha entrado en el hogar, y para que pueda ser interpretada y utilizada por el computador, después de haber sido transmitida por la red eléctrica, es de indispensable requerimiento un módem PLC que es el aparato que demodula los datos provenientes de la red y los incorpora al computador.

El módem PLC provee de conexiones Ethernet (RJ45), USB y una conexión análoga para teléfono (RJ11). La velocidad máxima de transferencia ofrecida por algunos fabricantes es de hasta 200 Mbps. El desempeño de la conexión con el sistema outdoor, podría bajar debido a la distancia de los puntos, la interferencia y el tráfico. Cabe recordar que cada HE debe sincronizar a cuantos hogares deseen utilizar el medio. En la figura 21 Se muestra un adaptador ethernet PLC con conexión RJ45.

Figura 21. Adaptador Ethernet PLC con conexión RJ45



La función de doble conducción del cable eléctrico, parte en el transformador, es lo que se llama la utilización de última milla. Si se produjera un corte en el suministro de energía eléctrica, el sistema PLC podría seguir operando ya que si el equipo cabecera tiene un respaldo de baterías, no tendría interrupción en el servicio. Los equipos PLC, se comunican a través de interfases Ethernet y USB, con los usuarios, entregando una fácil y simple conexión entre el usuario final y los equipos del Backbone.

3.2 Accesorios y acopladores PLC

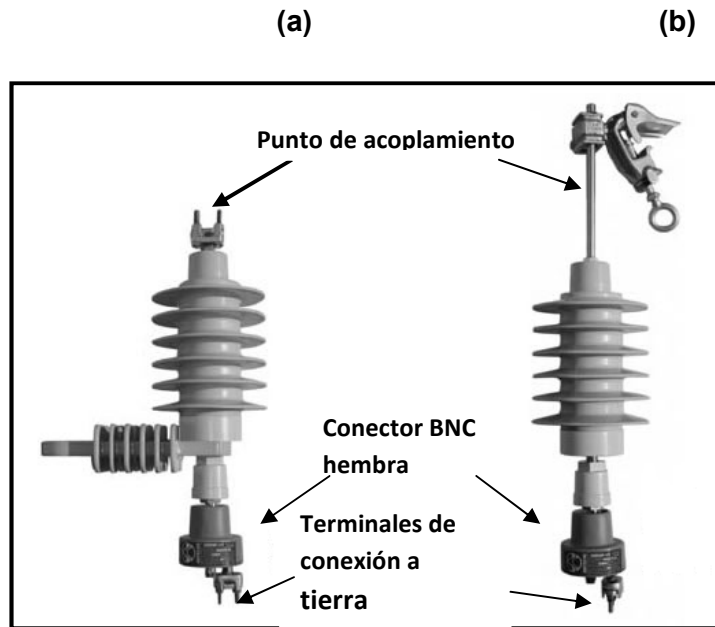
Los componentes de una red Powerline son principalmente el módem cabecera(Head End), el repetidor (Home Gateway), el módem de usuario y el medio que transporta la señal, pero para hacer que todos estos componentes interactúen son necesarios equipos de acoplamiento en media y baja tensión para líneas aéreas y subterráneas. Los alimentadores de energía de los componentes principales enumerados anteriormente y los filtros necesarios para evitar que la señal inyectada tome direcciones no deseadas son accesorios necesarios en una red PLC.

3.2.1 Acopladores capacitivos para líneas aéreas de media tensión

Existen en el mercado varios fabricantes de acopladores en media tensión y los hay de varias formas de instalación. Para el caso de los acopladores capacitivos, puede ir instalado en el poste, el cual necesitaría un descargo en la línea para su instalación. Otra opción de instalación es directamente en la línea de media tensión que se puede hacer en caliente sin necesidad de interrumpir el servicio de energía eléctrica. Estos acopladores están diseñados para trabajar con líneas de hasta 24kV dependiendo del fabricante y son de pequeño tamaño que pueden confundirse fácilmente con aisladores de líneas de media tensión ya que son cerámicos. Cuentan con desconectores de tierra en caso que exista una falla interna en el acoplador y así no interfiere en el funcionamiento normal de la línea de distribución de energía. En su salida, estos acopladores cuentan con una terminal BNC lo que facilita su adaptabilidad con otros equipos de telecomunicaciones.

Figura 22. (a) Acoplador fijado en el poste.

(b) Acoplador conectado en la línea.



Fuente: Premo PLC, www.grupopremo.com

3.2.2 Acopladores capacitivos para líneas subterráneas de media tensión

A diferencia de las líneas de distribución de energía aéreas que sólo existe la posibilidad de acoplamiento capacitivo, en las líneas de distribución secundarias, la forma de acoplamiento puede ser capacitiva o inductiva, sus principales características son similares a las unidades de acoplamiento capacitivo para líneas aéreas, con un aislamiento de hasta 24kV, pérdidas por inserción de señal de menos de 2dB y trabajan en un rango de frecuencias de 2 a 40MHz por medio de un conector BNC hembra. Uno de estos acopladores se muestra en la figura 23.

Figura 23. Acoplador capacitivo para líneas subterráneas de media tensión

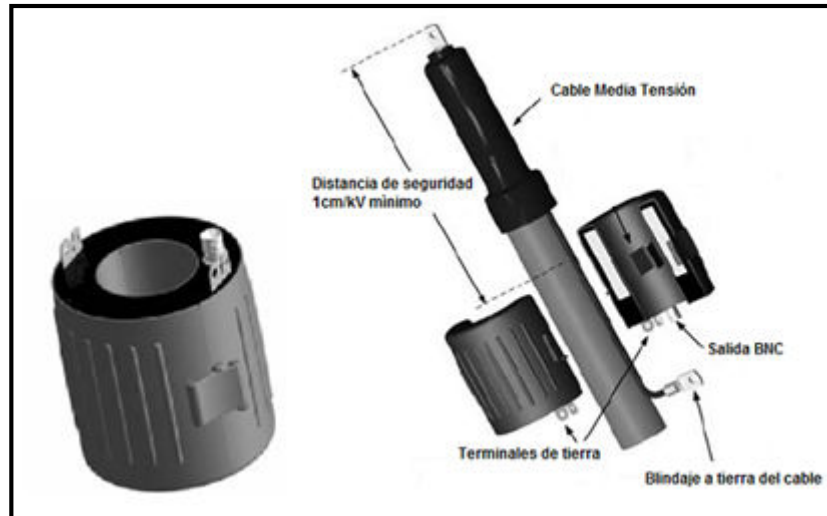


Fuente: Premo Plc, www.grupopremo.com

3.2.3 Acopladores inductivos para líneas subterráneas de media tensión.

Son utilizados para inyectar señal en cables de sistemas de distribución subterráneo monofásicos. Proveen aislamiento de hasta 5kV lo cual lo hace seguro si se toma en cuenta que el cable conductor tiene su propio aislamiento y trabaja con una corriente nominal de 300A. Cuenta con un conector BNC hembra para la inyección de la señal PLC. La atenuación de señal que puede padecer es de hasta 2dB para un rango de frecuencias de 2 hasta 40MHz.

Figura 24. Acoplador inductivo para líneas subterráneas de media tensión

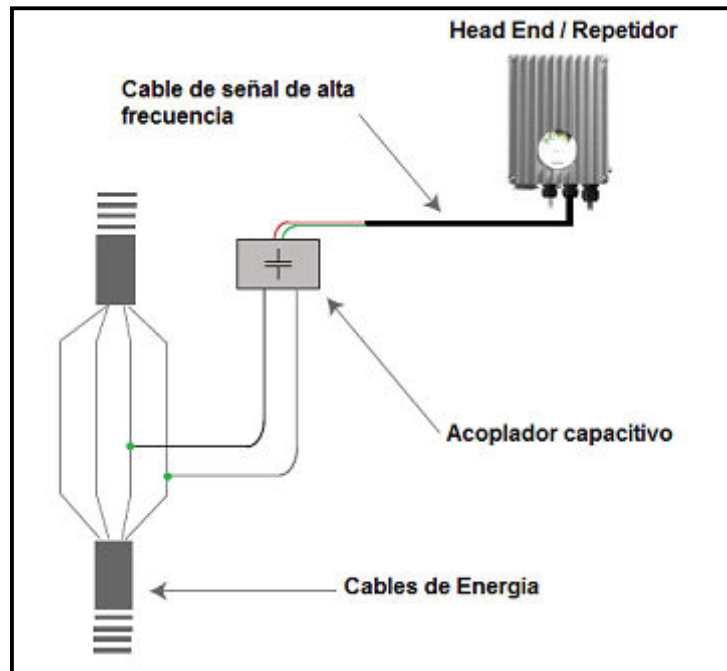


Fuente: Premo PLC, www.grupopremo.com

3.2.4 Acopladores capacitivos para líneas de baja tensión

Estos acopladores son la interface de conexión entre un elemento PLC que puede ser un Head End o un repetidor PLC por medio de conector BNC y un cable de alta frecuencia hacia el acoplador capacitivo el cual se conecta hacia los cables de energía eléctrica con muy pocas pérdidas de inserción las cuales oscilan entre 0.8 y 1.5 dB. Su rango de frecuencias operación oscila entre 1 y 34MHz. Son el medio que enlaza la señal PLC proveniente del head end en el centro de transformación con los cables de la acometida del usuario y también los encargados de la conexión entre el repetidor, que amplifica la señal proveniente del tramo outdoor y la reinyección de la señal regenerada hacia los usuarios.

Figura 25. Conexión de un acoplador capacitivo para media tensión

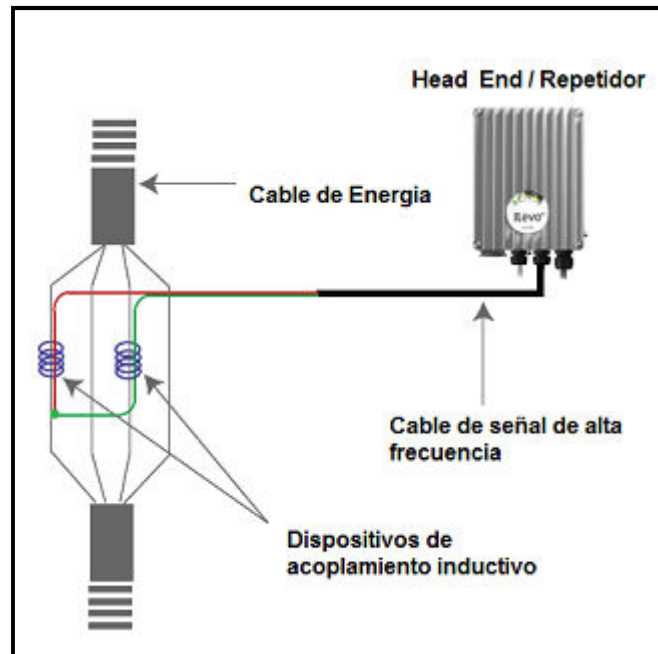


Fuente: Ileva Schneider PLC.

3.2.5 Acopladores inductivos para líneas de baja tensión

Trabajan bajo el principio que trabajan los dispositivos inductivos. Proporciona una inyección de señal PLC en una forma permanente entre fase y neutro. Pueden ser instalados en cuartos de medidores eléctricos, centros de transformación, o cualquier gabinete de distribución, su esquema de conexión aparece en la figura 26. Sus principales parámetros de instalación son entre otros, 250A máximos de corriente admitida, puede ser instalado en un cable de 27mm de diámetro máximo.

Figura 26. Conexión de un acoplador inductivo para baja tensión



Fuente: Ilevo Schneider PLC

4. ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PLC EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

4.1 Planteamiento de la solución

Este trabajo se enfoca al estudio de la factibilidad técnica para realizar un proyecto de acceso a Internet con PLC. El enfoque económico debe realizarse con premisas concretas como la cantidad de clientes estimada, precio por línea de cobre para una operadora de telefonía y servicios de valor agregado, precio por puerto en el nodo de servicios de la operadora de telefonía, precio por acceso PLC, precio por nodo de agregación PLC, precio por servidor AAA, precio por routers de backbone y precio por Mbps de interconexión a Internet.

En un proyecto de implementación de una red PLC el primer factor que se deberá tener en consideración es el número de transformadores que hay en el área a la que se desea prestar servicio así como el número de usuarios a los que se estarán alimentando, ya que de estos dependerá el número de cabeceras, repetidores y módems que se necesitarán para el grupo de usuarios. Por ejemplo en un área urbana densamente poblada con usuarios de bajo consumo de energía, el costo inicial de operación será considerablemente menor que en un área no tan poblada, con casas de mayor demanda de energía, ya que por lo tanto habrá menos usuarios por cada transformador y se necesitará mayor cantidad de equipos para un mismo fin. Se analizará en el presente capítulo la implementación de una red PLC tanto para el caso subterráneo como aéreo en residenciales con una mediana demanda de energía. Se

presentarán diagramas típicos de redes de distribución secundaria en redes domiciliarias para ambos casos.

Según proyectos ejecutados por empresas desarrolladoras de proyectos eléctricos en condominios de mediana demanda, cada transformador de 50kVA puede dar servicio a un promedio de 25 hogares. Lo que significa en promedio 2kVA de capacidad instalada por cada usuario. Por lo tanto para poder darle servicio en un determinado condominio con estas características se necesitaría:

1. cabecera PLC
2. Repetidor PLC
3. Módem PLC para cada usuario.
4. transmisión desde el Módem cabecera (Head End) hacia la central que nos brinda el servicio de internet. (Backbone).

4.2 Modelo de acoplamiento de una red PLC en una red de distribución secundaria de energía eléctrica

Se ha definido ya lo que es una red PLC, sus componentes, características, ventajas y desventajas, así como las aplicaciones que podemos obtener de esta tecnología en una forma general. Ahora se describe un modelo de aplicación para una red de banda ancha, describiendo con más detalle la ubicación y la disposición de cada uno de los componentes de la red con el fin de hacer ver una forma real de cómo quedarían distribuidos estos componentes a lo largo de una red de distribución secundaria. Para este modelo son tomadas en cuenta las líneas de distribución secundarias en media tensión como una solución para la red de tránsito conjuntamente con enlaces de fibra óptica en los tramos necesarios. En el recorrido de la red troncal y red de acceso, cabe destacar que serán utilizadas tanto las líneas de media tensión como las de baja tensión hasta el destino final que son las residencias de los usuarios.

4.2.1 Modelo sobre líneas aéreas

Este modelo describe la implementación de una red PLC sobre líneas de distribución secundaria aéreas, para lo cual se analizan los componentes que se utilizan en su recorrido a través de las líneas hasta el usuario final. El punto de partida es la central de telecomunicaciones que estaría proporcionando el acceso a internet. Para el caso es llamada backbone. El enlace de red de tránsito que cubre el tramo desde la central hasta el centro de transformación, que para el presente modelo será PLC de media tensión combinado con fibra óptica. Para tramo que se utilizarán las líneas de media tensión, se inyectará la señal mediante un acoplador capacitivo de media tensión. Con este acoplador cada línea de media tensión aparte de transmitir energía eléctrica de media tensión (7.7kV) a una frecuencia de 60 Hz, transmitirá datos a alta frecuencia sin interferirse unas a otras debido al gran margen de diferencia en las frecuencias, lo que hace que convivan señales y energía en el mismo medio.

Aunque podemos aprovechar las líneas de media tensión como medio de transporte de la señal en todo el recorrido, si el tramo es demasiado largo, debido a la atenuación de la señal, sería necesario colocar amplificadores de señal cada 600m por lo que lo más recomendable es cubrir este tramo desde el Backbone, combinado con fibra óptica.

Para el modelo que se va a presentar se elegirá el enlace de fibra óptica para el primer tramo desde la central Backbone, hasta la primera línea de media tensión que se utilizará como medio de transmisión PLC. Esto es más conveniente por razones económicas y por capacidad de transmisión para futuras ampliaciones con nuevos ramales hacia nuevas áreas de usuarios del proyecto PLC. En el punto de remate de la fibra óptica se necesitaría:

- mufa distribuidora de fibra óptica

- Equipo de transmisión con entrada de fibra óptica y salida de E1 BNC.
- Acoplador capacitivo MT con entrada BNC.
- Módem de cabecera (head end)
- Equipo de transformación para alimentación de equipo de transmisión si el caso es en las líneas de MT.

Figura 27. Punto de remate de fibra óptica

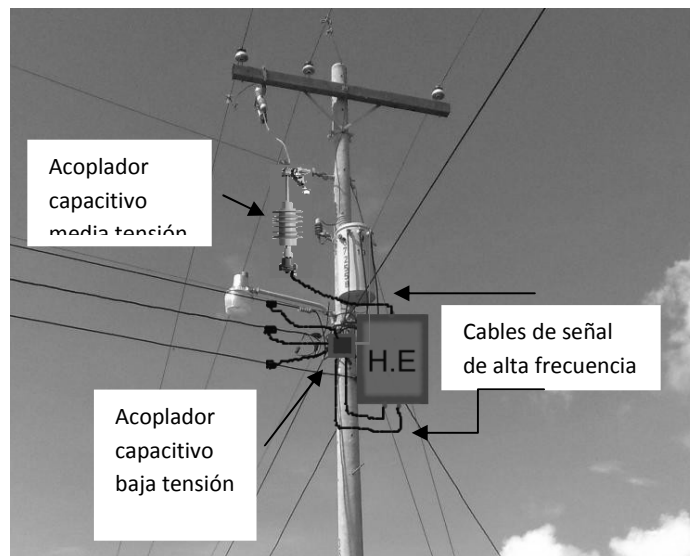


Todo este equipo puede ir perfectamente montado en un poste con los sujetadores adecuados para evitar la necesidad de colocar gabinetes adicionales a la infraestructura existente. Con esto ya se tiene una inyección de señal en las líneas de media tensión recordando que si la distancia produce una atenuación en la señal, se debe colocar

amplificadores cada 600m de recorrido, de lo contrario el próximo punto de análisis sería el primer punto de transformación MT/BT en el cual se colocaría el siguiente equipo:

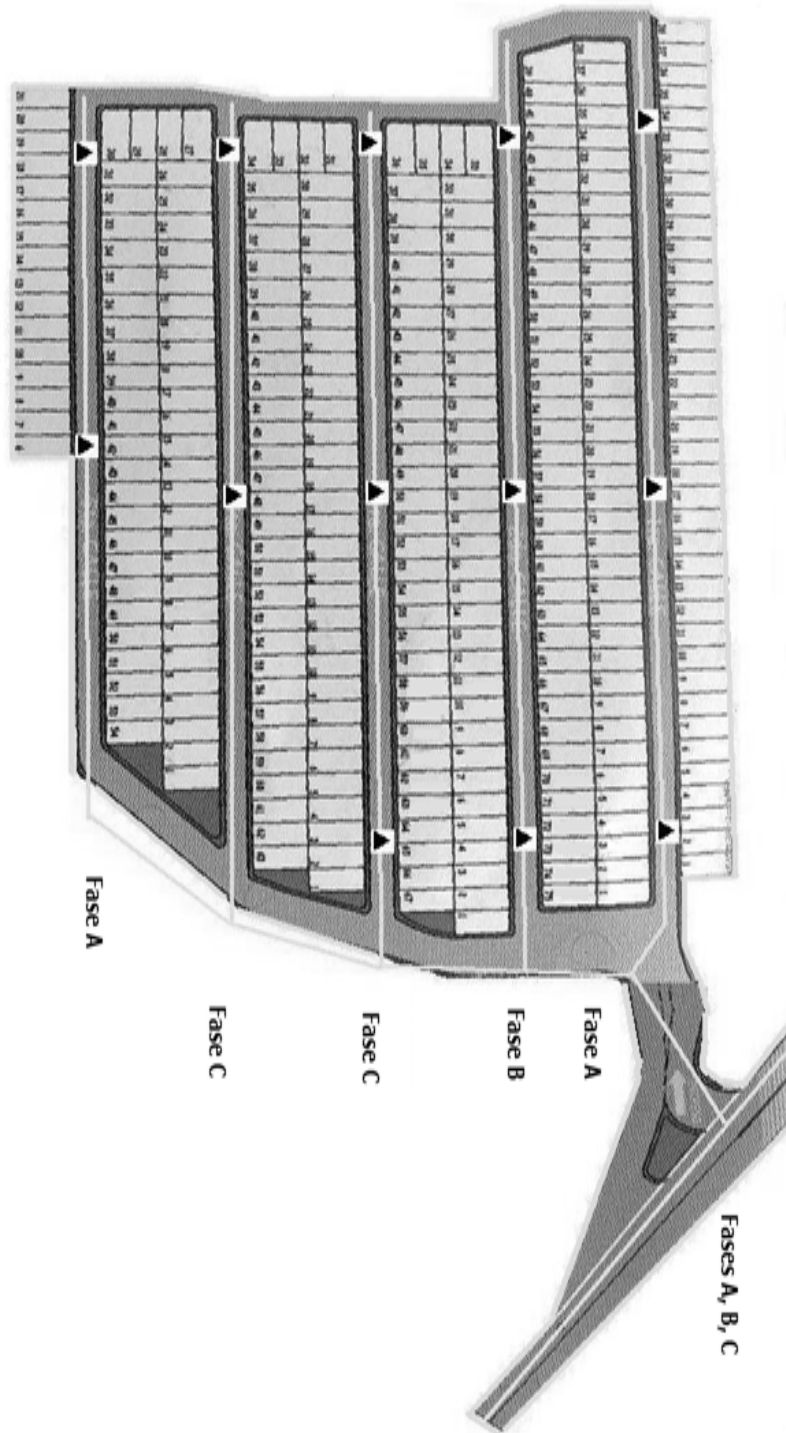
- Acoplador MT con conectores BNC para la recepción de la señal que se inyectó en el primer punto.
- Módem de cabecera (Head End)
- Acoplador PLC BT

Figura 28. Equipos PLC en centro de transformación



En la figura 28, se observa el módem de cabecera Head End que se encargará de recibir la señal que viene inyectada desde el primer punto e inyecta nuevamente la señal hacia las líneas de distribución secundarias en baja tensión y con esto ya se cuenta con un bloque de usuarios los cuales están comprendidos por el mismo número de usuarios que están conectados a cada transformador. En el diagrama general de la figura 29, se observa que entran las tres fases, A, B, C, distribuidas entre los bloques de casas que componen el área. Para lo cual, en el punto de remate de la figura 27, va colocado un acoplador capacitivo para media tensión por cada fase, para así tener una cobertura completa del entorno PLC en el área.

Figura 29. Distribución de los centros de transformación



En la figura 29, se observa la distribución de los centros de transformación sobre los cuales va montado el equipo descrito en la figura 28. Cada una de las cinco cuerdas cuenta con treinta y ocho viviendas en cada lado de la calle aproximadamente, lo que hace un total de setenta y seis viviendas alimentadas por tres transformadores, por lo cual, cada transformador alimenta a un promedio de veinticinco viviendas. La señal PLC puede sobrevivir de un centro de transformación a otro debido a que se utiliza la red de media tensión como medio de enlace con lo que se logra evitar tendidos adicionales de fibra óptica.

El punto de la inyección de la señal PLC en la acometida debe ser el distribuidor principal de la energía para asegurarse que todos los tomacorrientes serán potenciales puntos de acceso a internet.

Cabe destacar que para la distribución de la señal en cada centro de transformación se lleva a cabo por la misma línea de media tensión que alimenta cada transformación, de tal forma que no es necesaria infraestructura adicional de fibra óptica para enlazar los centros de transformación de la red, recalcando lo expuesto en la sección 4.2.1, que es necesario colocar amplificadores de señal cada 600m para contrarrestar la atenuación de la señal.

El próximo punto de análisis es la acometida del usuario, que recibe la señal proveniente del secundario del centro de transformación que alimenta el domicilio.

En este punto se necesitaría el siguiente equipo:

- Acopladores PLC BT
- Repetidor PLC (Home Gateway) para amplificar la señal en caso necesario.

- Módem PLC en cada tomacorriente que se desee sea un punto de acceso.

La señal PLC entra en el tablero de distribución directamente desde el centro de transformación, haciendo llegar la señal hasta los tomacorrientes. Debido a la atenuación de la señal es necesario colocar en un punto anterior al tablero de distribución, mediante acopladores para baja tensión, el repetidor o Home Gateway para regenerar la señal de tal forma que sea suficientemente potente en toda la casa.

4.2.2 Modelo sobre líneas subterráneas

La arquitectura del modelo sobre líneas subterráneas sería básicamente el mismo que sobre líneas aéreas con pequeñas variantes, como por ejemplo el modo de acoplamiento sobre las líneas el cual puede ser inductivo o capacitivo a diferencia del modelo sobre líneas aéreas que puede ser sólo capacitivo.

Para el caso que sea necesario construir tramos de fibra óptica puede hacerse combinaciones de tendidos aéreos en todo el tramo de la red de acceso y acoplarse sin problema alguno a tendidos subterráneos donde la urbanización requiera que tanto las líneas de energía como cualquier otro servicio sea subterráneo.

4.3 Uso de la tecnología PLC para crear una red doméstica

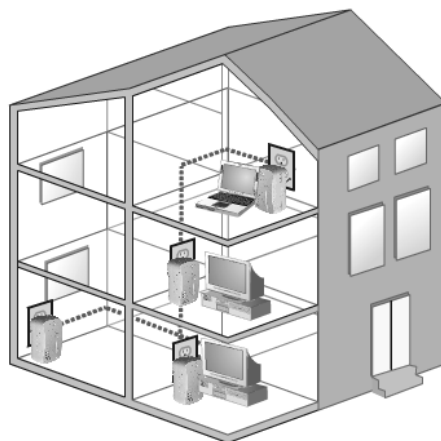
El uso de la tecnología powerline, no se limita a utilizar las líneas de distribución de energía para acceso a internet. Utilizando algunos dispositivos adaptadores PLC podemos crear una red doméstica en la cual cada tomacorriente se convierte en un punto de red e interactuar entre las computadoras conectadas a la misma.

Puede existir un solo equipo de impresión, una computadora con acceso a internet, pero varios usuarios y varias computadoras. Entonces la forma de conectarlos a todos, es mediante una red doméstica

Si se requiere conectar dos o más computadoras pero no se desea hacer un costoso cableado en el recinto tomando en cuenta que pueden estar en diferentes niveles o simplemente en puntos alejados, la solución más práctica y económica es el uso de las instalaciones eléctricas como medio de enlace.

Gracias a los avances de los sistemas operativos ahora es muy fácil configurar los equipos para que queden listos para interactuar unos con otros sin necesidad de hardware adicional.

Figura 30. Diagrama de una red doméstica PLC



En la figura 30, se muestra un esquema de solución para una red doméstica mediante el uso de las líneas eléctricas cuyo único hardware necesario es un adaptador de ethernet powerline, que se conecta a cualquier tomacorriente desde una computadora considerada como máster por medio de un cable RJ45 o bien USB

dependiendo del modelo del adaptador que se use. En los siguientes tomacorrientes donde se desea puntos de red, se conectan otros adaptadores y otras computadoras las cuales estarían listas para compartir archivos, música, impresoras y hasta la conexión a internet.

4.4 Consideraciones en el despliegue de una red PLC

El despliegue de la implementación de una tecnología de esta naturaleza estando en fase de desarrollo, necesita obligadamente de un plan piloto o de pruebas en el cual se evaluará en un área determinada la puesta en marcha real del proyecto, con fines comerciales u operacionales ya que la topología de las redes puede cambiar en cada área y se deben de considerar las soluciones particulares según sea el caso con el que se esté tratando, como topología de la red de media y baja tensión, densidad de población(zona urbana, zona rural), red de acceso, enlaces de última milla etc.

4.5 Factores que afectan la señal PLC

En primer lugar influyen las características físicas de las líneas eléctricas como su longitud, tipo de conductor, cambios de sección, empalmes existentes. Lógicamente estos factores harán la red menos precisa y por lo tanto mayor atenuación de señal lo que implicaría el uso de repetidores. Hablando de la red dentro de la casa, los tres factores que podrían representar dificultades para la red son:

- La ubicación geográfica de la casa
- La edad de la casa
- El tamaño de la casa.

El punto de inyección de la señal PLC es crítico ya que de este depende una buena distribución de la señal y mayor cobertura de usuarios optimizando mejor los recursos abarcando más destinos por cada Head End.

Las condiciones de las instalaciones eléctricas del usuario son factores que influyen en la señal PLC ya que se incrementaría la calidad si las instalaciones están construidas correctamente con los calibres adecuados, los circuitos distribuidos adecuadamente evitando calentamientos en los cables conductores.

El factor más importante de todos es sin duda el número de usuarios que alimenta cada centro de transformación ya que de aquí en adelante está compuesta la última milla. Mientras mayor número de usuarios tenga cada centro de transformación, será menor el número de componentes PLC que se utilizarán como Head End y acopladores. El número de usuarios por cada centro de transformación depende únicamente de los mismos usuarios y de la carga que se tenga instalada en cada recinto.

En el caso de la red PLC de media tensión, puede verse afectada la continuidad de la señal, debido a descargos de la empresa eléctrica, apertura de circuitos debido a fallas mecánicas en los conductores y por supuesto ruidos e interferencias.

4.6 Interferencia electromagnética

La mayoría de equipos electrónicos generan interferencia electromagnética, la cual, en algunos casos puede ser intencional, como en un generador de radiofrecuencia o indeseada, como un variador de velocidad en un motor. La interferencia puede ser propagada en dos maneras: una por la energía conducida en un medio y la otra a través del aire. Son denominadas interferencia conducida (150kHz a 30 MHz) y la interferencia radiada (30MHz a 300MHz), respectivamente. Los equipos electrónicos pueden fallar también cuando se encuentran trabajando en un ambiente electromagnético. A esta tendencia se le conoce como susceptibilidad electromagnética. La relación entre el equipo perturbante y el perturbado se conoce como compatibilidad electromagnética.

4.6.1 Interferencia conducida

La interferencia conducida a través de un sistema de conducción de energía tiene dos rutas de propagación. La forma común también llamada asimétrica. Esta perturbación está presente entre línea viva y tierra. El modo diferencial o simétrico, está presente en las líneas vivas.

4.6.2 Interferencia radiada

Esta propagación a través del espacio está causada por el hecho de que el equipo o parte de él, está actuando como antena sobre un rango de frecuencias dado. Esta interferencia es capturada por inducción, en los cables de alimentación o aún directamente sobre algún elemento interno del dispositivo que también actúa como antena sobre el mismo rango de frecuencia de la señal de interferencia.

4.6.3 Métodos para reducir la interferencia

A manera de reducir un alto grado de contaminación en las líneas de alimentación de potencia con interferencias electromagnéticas, los equipos que podrían ser la causa de estas interferencias, deberían contar con un filtro de líneas de potencia, con el fin de bloquear en cuanto sea posible el paso de las mismas. También, como no es posible tener líneas de potencia completamente limpias, el filtro de línea también previene el paso de las interferencias al equipo.

El filtro debe de atenuar la interferencia pasada a las líneas de potencia y las procedentes de la línea de potencia.

Básicamente, los filtros deberían ser diseñados como filtro paso-bajo para lograr una significativa atenuación en la banda de frecuencia que abarca la interferencia y una mínima atenuación en la frecuencia de la línea de potencia. Obviamente, el diseño de un filtro tiene que tomar en cuenta que su impedancia característica debería ser tan dispereja como sea posible para que cualquier perturbación sea devuelta a su procedencia.

4.6.3.1 Filtros de inserción de señal

Existen fabricantes en el mercado que ofrecen toda una gama de filtros que se instalan en los cables de señal PLC, a modo de reducir posibles interferencias tanto en el entorno PLC como en los alrededores.

Los filtros deben cubrir el rango de frecuencias desde 10 KHz hasta 300 MHz, sin embargo el rango puede ser diferente dependiendo del estándar a aplicarse. Los filtros deben poder generar altas pérdidas de inserción dentro de un específico rango de frecuencias. Las pérdidas de inserción deben ser definidas tanto para formas simétricas como asimétricas.

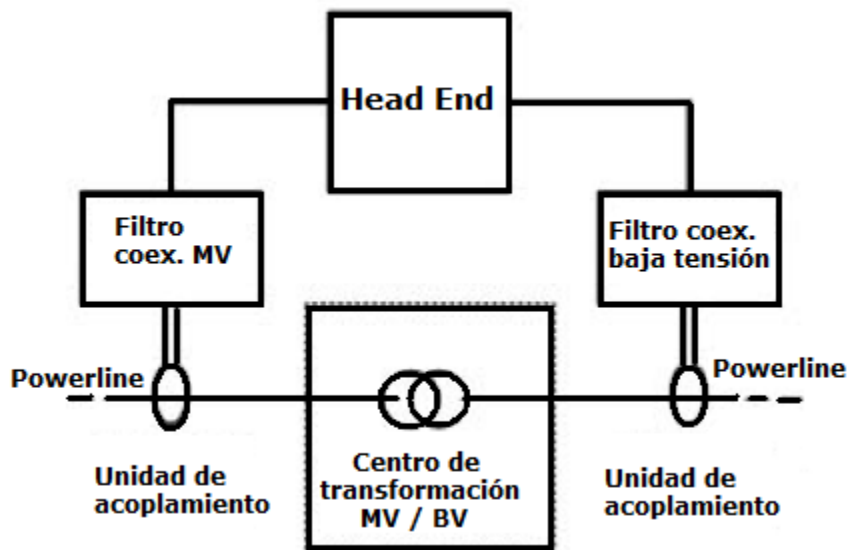
El filtro de coexistencia para media tensión, basado en la tecnología DS2 de asignación de banda de frecuencia, implementa un filtro paso alto o paso bajo con una buena respuesta de frecuencia. Algunas de sus características son:

- Bajas pérdidas en el paso de banda.
- Alta atenuación en la banda de frecuencia rechazada.
- Bajo precio.

- Pequeñas dimensiones.
- Salidas para conectores BNC hembras o machos.
- Opera entre 40 y 85°C

El punto de conexión de estos filtros es en las líneas de media tensión, antes de conectarse en el Head end y después de inyectar la señal en los cables de la acometida de baja tensión, como es mostrado en la figura 31.

Figura 31. Diagrama de instalación del filtro de coexistencia



4.6.4 Interferencia en la señal PLC

Se hace un análisis en base a estudios hechos acerca de la compatibilidad electromagnética entre la red de transporte de electricidad en el tramo de baja tensión, una red PLC acoplada a la red y los sistemas de radiocomunicaciones en onda corta entre 2 y 30 MHz.

Los factores a tomarse en cuenta son las características de la red eléctrica que pueden contribuir a interferencias PLC, como voltaje, intensidad, frecuencia,

conductores e instalación, así como el comportamiento de la instalación existente como un sistema radiante de campos electromagnéticos. Se toman en cuenta la distancia de separación entre el tablero de distribución, la antena y la orientación del aparato de medición.

El equipo que se utilizó en el ensayo que se analiza consta de un medidor PMM8086A con sonda de campo eléctrico EP330S, analizador de espectros R&S FSH3 con antena dipolo telescópica y receptor de radiocomunicaciones ICOM R8500.

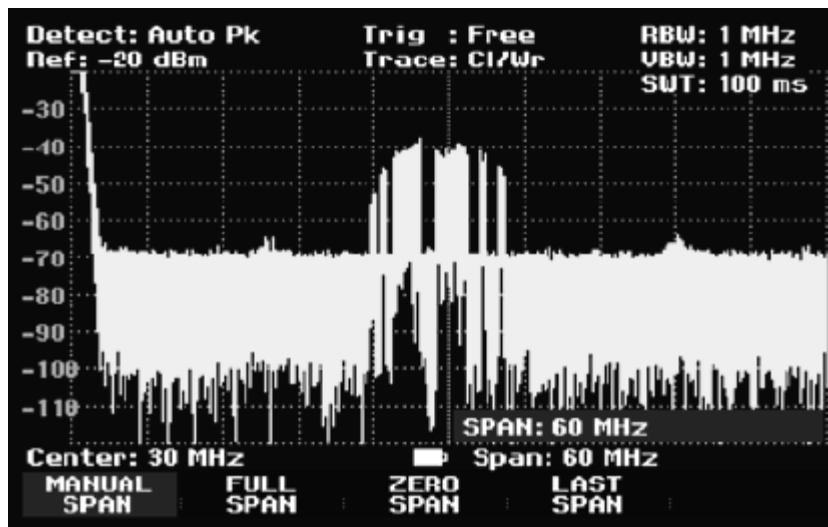
Durante las mediciones realizadas, se comprobó que el PLC contamina parte del espectro radioeléctrico en el que se define y que el nivel de intensidad de la señal radiada varía con la distancia al cableado.

Mediante mediciones con el módem encendido/apagado, y el tablero de distribución, conectado/desconectado primero en la figura 32 aparecen interferencias causadas por el sistema PLC en las frecuencias de la banda HF/onda corta que podrían afectar a los radioaficionados así como servicios de emergencia. Si se desconecta el módem, las interferencias siguen existiendo de la misma forma. En la figura 33 se muestra las interferencias causadas por el PLC midiendo en el tablero de distribución y se aprecia que las interferencias tienen un nivel mayor en 10 dB.

Figura 32. Interferencias observadas con todo conectado



Figura 33. Medición realizada en el tablero de distribución



Al desconectar el tablero de distribución, se observa una gran reducción en el nivel de interferencias cuando se mide en el entorno de los tomacorrientes pero siguen

presentes al medir en el tablero que sería el punto de acometida de la señal. Esto se aprecia en las figuras 34 y 35.

Figura 34. Medición en el ambiente PLC con tablero desconectado

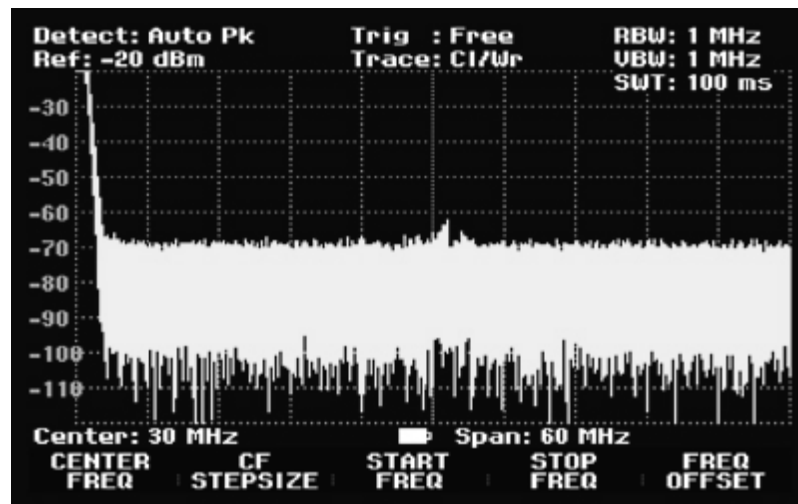
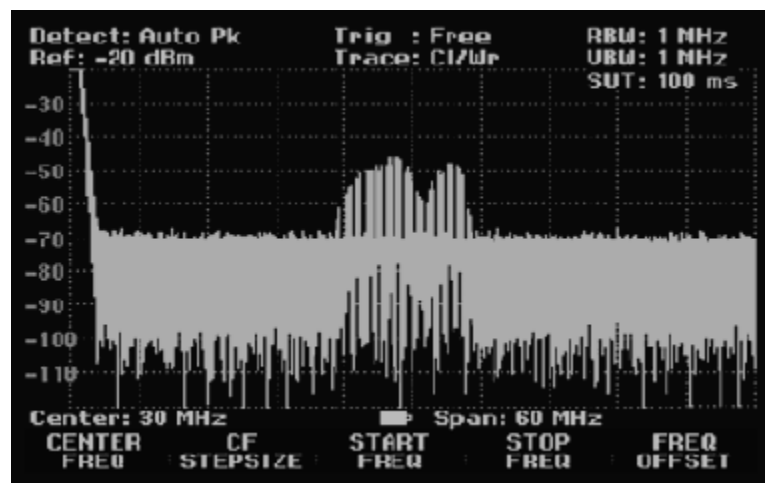


Figura 35. Medición en el tablero desconectado



Con las anteriores ilustraciones se concluye que al utilizar PLC, las interferencias están presentes en toda la red eléctrica ya que el cableado eléctrico se comporta como un nodo de antenas radiantes de la señal PLC. Al utilizar un adecuado sistema de filtrados disponibles en el mercado, se pueden reducir estas interferencias hasta

niveles seguros y así lograr una convivencia con otros sistemas que transmitan a las mismas frecuencias que el PLC.

5. OTRAS TECNOLOGIAS DE ACCESO A INTERNET

5.1 Acceso por ADSL

La tecnología ADSL (Asymmetric Digital Subscriber line) o línea de abonado digital asimétrica recibe este nombre porque los canales de datos no tienen la misma velocidad de transmisión, ya que utiliza la mayor parte del ancho de banda para la recepción de grandes cantidades de información descendente o downstream (de internet hacia el usuario) y una pequeña porción de ancho de banda para regresar la información ascendente o upstream (del usuario hacia internet) porque en la gran mayoría de los casos el volumen de información recibida es mucho mayor que la enviada y lógicamente interesa que haya mucha más capacidad para recibir que para emitir y todo dentro del mismo cable telefónico. Debido a esta diferencia entre transmisión y recepción de datos se usa el término asimétrico en sus siglas.

5.1.1 Funcionamiento

La tecnología ADSL utiliza frecuencias que no utiliza el teléfono normal porque funciona con un módem especial que puede ser interno o externo. Un circuito ADSL tiene un modem ADSL conectado en cada uno de los extremos de la línea telefónica de par trenzado convencional, esta conexión crea tres canales de información. Por un lado un canal de alta velocidad desde internet hacia el abonado, por otro lado un canal dúplex (información en ambas direcciones) de velocidad media, y por último un canal para telefonía convencional.

Las señales de alta velocidad se separan de la información telefónica por medio de filtros pasivos que aseguran el funcionamiento de la línea telefónica aunque fallen los módems o la alimentación eléctrica. Debido a que el tráfico de datos es diferente desde la red hacia el usuario y viceversa, los módems en cada extremo de la línea también son diferentes. Del lado del abonado, la compañía instala un splitter que tiene dos entradas. En una entrada se conectan los aparatos telefónicos que siguen funcionando normalmente y a la otra entrada se conecta un módem ADSL que a su vez se conecta a la PC por medio de una tarjeta de red. El uso de la tecnología ADSL puede ser de manera simultánea con la línea telefónica ya que esta no ocupa el teléfono mientras está conectada a la red.

La compañía de su lado, tiene que colocar otro módem ADSL conjuntamente con otro splitter en la central, antes de los circuitos de conmutación. Este splitter no es más que un conjunto de dos filtros, uno de paso alto y otro de paso bajo, para separar las señales de baja frecuencia (300 a 3400 Hz) y las de alta frecuencia ADSL (24KHz a 1.1 MHz aproximadamente)

Los módems ADSL permiten el transporte ATM y protocolos IP y diferentes velocidades según sea la contratada con la empresa que presta el servicio. Presenta limitaciones físicas según sea la distancia entre el abonado a la central y el tipo de cable. El usuario necesita para poder conectar múltiples terminales de forma directa o inalámbrica un router ADSL como el mostrado en la figura 36.

Figura 36. Router ADSL

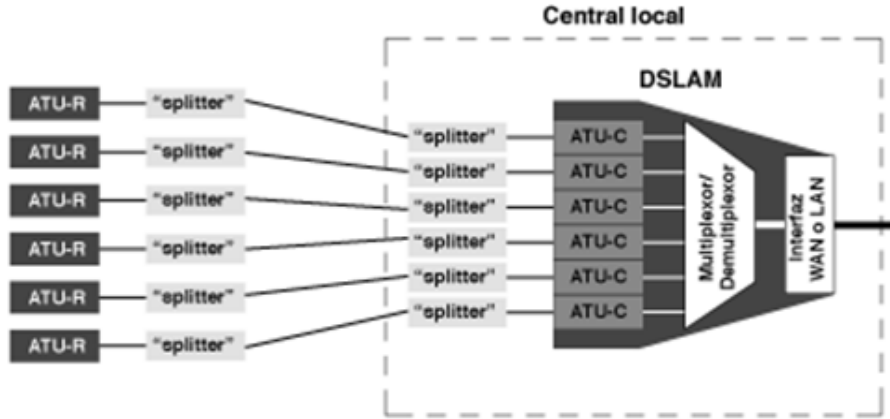


La modulación empleada por ADSL es DMT (discrete multi tone) que consiste básicamente en la utilización de varias portadoras simultáneas para la transmisión de la señal de datos, a diferencia de los módems convencionales que transmiten utilizando una única portadora. Cada portadora que usa el DMT se denomina sub portadora y una vez moduladas ocupan un ancho de banda de 4khz. El reparto entre el flujo de datos entre las sub portadoras o la cantidad de información que va a transportar cada una de ellas depende de la proporción señal-ruido que se estima al principio de la conmutación entre el módem ADSL del abonado y el de la compañía.

5.1.2 DSLAM

El ADSL necesita una pareja de módems para cada usuario, el que tiene el usuario en casa y el correspondiente en la central del operador. Esta duplicidad complica el despliegue de esta tecnología de acceso en las centrales donde está conectado el bucle del abonado. Para solucionar esto surgió el DSLAM (digital subscriber line access multiplexer). Consiste en un armario que contiene varios módems y concentra todo el tráfico de los abonados del ADSL. Gracias al DSLAM, el despliegue de los módems en las centrales ha sido mucho más sencillo lo que ha ayudado a que el ADSL se haya extendido tanto. En la figura 37, se ilustra una representación de la estructura de la tecnología ADSL.

Figura 37. Diagrama de estructura del DSLAM



5.1.3 Evolución de la red de acceso

Los nuevos estándares del ADSL han conseguido grandes velocidades de acceso teniendo en cuenta el medio físico por el que circulan. En concreto los módems son capaces de transmitir a 8192 Mbps en forma descendente y a 0.928 Mbps en sentido ascendente. Estos valores son una gran ventaja que ofrece esta tecnología teniendo en cuenta lo extensa que está la red telefónica en la mayoría de ciudades y la cantidad de usuarios que representan. Se presentan en la tabla VII las capacidades ofrecidas comercialmente en ADSL.

Tabla VII. Capacidades de transmisión ADSL

SERVICIO	VELOCIDAD DE BAJADA	VELOCIDAD DE SUBIDA
BASICO	256Kbps	128Kbps
MEDIANO	512Kbps	128Kbps
ALTO	2Mbps	300Kbps

5.1.4 Ventajas

- Acceso de alta velocidad.
- Conexión permanente.
- La velocidad no es compartida con otros usuarios.
- El mismo cable tiene doble función.
- No hace falta acondicionar una central, es suficiente instalar el servicio solo en las líneas de los clientes que lo requieran.

5.1.5 Desventajas

- No todas las líneas pueden ofrecer este servicio (por ejemplo las que estén en mal estado o a mucha distancia de la central)
- El cableado defectuoso dentro del domicilio del usuario puede afectar considerablemente el rendimiento del sistema.

5.2 Acceso por cable coaxial

El acceso a internet a través de cable coaxial, también llamado cable módem o simplemente cable, se refiere a la distribución del acceso a internet de banda ancha a través de la infraestructura de la televisión por cable. La transmisión de los datos en el cable coaxial se hace como si se tratase de otro canal de televisión con la diferencia que es transmitido en diferente frecuencia siendo así que la señal de cable se transmite en una frecuencia y los datos en otra, compartiendo el medio conductor.

Este medio de acceso a internet, permite a las empresas de televisión por cable, aprovechar la capacidad no utilizada en su infraestructura de tendido de cable coaxial.

El cable coaxial en lugar de establecer una conexión directa o punto a punto con el proveedor de acceso, se utilizan conexiones multipunto en las cuales varios usuarios comparten el mismo cable, por lo que a medida que aumenta el número de usuarios conectados al mismo nodo, se reduce la tasa de transferencia de cada uno de ellos. Para una calidad óptima de conexión, la distancia entre el nodo y el usuario no debe ser mayor a 500 metros.

Esta tecnología puede proporcionar una tasa de 30 Mbps de bajada como máximo, pero los módems normalmente están fabricados con una capacidad de bajada de 10 Mbps y 2 Mbps de subida. De cualquier forma, las operaciones de cable normalmente limitan las tasas máximas para cada usuario a niveles muy inferiores a estos sobre todo en la dirección de subida.

5.2.1 Características

- Los datos se transfieren como unos y ceros a diferencia del ADSL que lo hace en forma de ondas.
- Es un acceso de banda ancha que permite la transmisión de forma asimétrica como en el ADSL ya que la velocidad de descarga es mayor a la velocidad de subida.
- Con esta tecnología se pueden alcanzar velocidades de hasta 10Mbps.
- Usualmente el acceso por cable se comercializa junto con otros servicios como televisión por cable y línea telefónica.
- Cada nodo o punto de conexión a la red, puede dar servicio a entre 500 a 2000 usuarios.

Tabla VIII. Comparación de cable coaxial con otros medios.

MEDIO DE TRANSMISION	ANCHO DE BANDA	CAPACIDAD MAXIMA	CAPACIDAD USADA	OBSERVACIONES
Cable de pares	250 KHz	10 Mbps	9600 bps	Poco utilizados actualmente. Sufre de ruidos e interferencias
Cable coaxial	400 Mhz	800 Mbps	10 Mbps	Es resistente a ruidos e interferencias. Sufre atenuación
Fibra óptica	2 GHz	2 Gbps	100 Mbps	Pequeño tamaño y peso, Inmune a ruidos e interferencias, atenuación pequeña, Costo más elevado
Satélite	100 MHz	275 Gbps	20 Mbps	Necesita emisor/receptor
Microondas	50 GHz	500 Mbps		Corta distancia Atenuación alta Difícil instalación
Laser	100 MHz			Poca atenuación Necesita línea de vista

5.2.2 Descripción física.

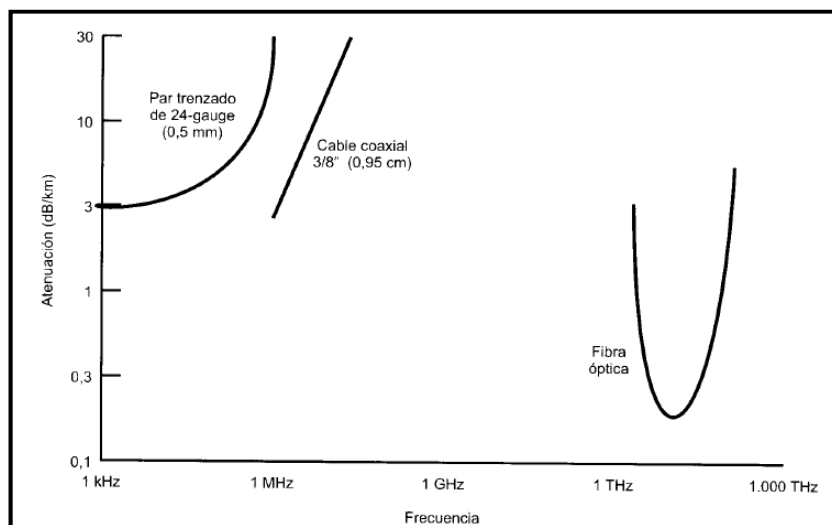
El cable coaxial al igual que el par trenzado, tiene dos conductores pero está construido de forma diferente para que pueda operar sobre un rango mayor de frecuencias. Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor. El conductor interior se mantiene a lo largo del eje axial mediante una serie de anillos aislantes regularmente espaciados o bien mediante un material sólido

dieléctrico. El conductor exterior se cubre con una cubierta o funda protectora. El cable coaxial tiene un diámetro aproximado de entre 1 y 2.5 cm. Debido al tipo de blindaje realizado, es decir a la disposición concéntrica de los dos conductores, el cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonías que el par trenzado. Comparado con el par de cobre, el cable coaxial se puede usar para cubrir mayores distancias así como para conectar un número mayor de estaciones en una línea compartida.

5.2.3 Características de transmisión.

El cable coaxial se utiliza para transmitir tanto señales analógicas como digitales. Como se puede observar en la figura 38 el cable coaxial tiene una respuesta de frecuencias mejor que la del par de cobre, permitiendo por lo tanto mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico y el ruido de intermodulación. Este último aparece solamente cuando se usan simultáneamente sobre el mismo cable varios canales (FDM) o bandas de frecuencias.

Figura 38. Comparativa de la atenuación en diferentes medios.



5.3 Acceso por medios inalámbricos y WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Es un estándar de transmisión inalámbrica denominado 802.16 realizado por IEEE. Esta tecnología provee acceso a múltiples servicios como voz, video y datos de gran cobertura y altas velocidades, sustituyendo con enorme ventaja a los sistemas de acceso físico como ADSL y se sitúa a la vanguardia de los sistemas de comunicación de banda ancha gracias a su facilidad de implementación y acceso a los usuarios.

Las aplicaciones que usan medios inalámbricos o fijos se pueden clasificar como punto a punto y como punto a multipunto. Entre las aplicaciones punto a punto se incluyen interconexiones entre edificios o enlaces entre un edificio y otro punto con microonda hacia la red de retorno (backhaul). Una aplicación punto a multipunto sería una conexión de banda ancha para un área residencial, oficinas, medianas empresas, o redes inalámbricas para acceso masivo a la web.

Los despliegues iniciales de WiMax han sido destinados para usarse en aplicaciones fijas. El verdadero potencial del WiMax será alcanzado cuando se utilice en usuarios que estén en constante cambio de ubicación así como en teléfonos móviles.

Además de acceso a internet a alta velocidad WiMAX móvil puede usarse para proveer servicios de voz sobre IP de forma eficiente, gracias a su diseño de baja latencia. Otras aplicaciones que podrían ser atractivas con WiMAX es el servicio de IP-TV (internet protocol television) además de compartir de forma interactiva, música, videos y juegos a las que las compañías convencionales de cable y telefonía podrían evolucionar.

Solucionar el abastecimiento de banda ancha a largas distancias o la última milla fue lo que creó la necesidad de desarrollar el estándar 802.16. A diferencia de Wi-Fi, el

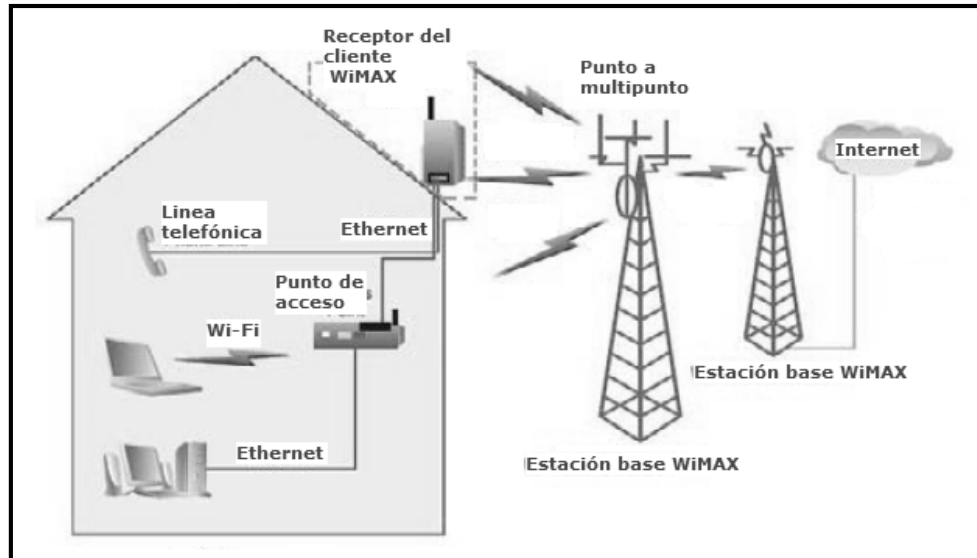
estándar 802.16 es una tecnología de red inalámbrica que proporciona conectividad interoperable para usuarios fijos, portátiles y completamente móviles. Proporciona cerca de 50km de área de servicio, permite que los usuarios consigan conectividad de banda ancha sin necesidad de línea de vista hacia la estación base, además proporciona un índice de datos de hasta 75Mbps, lo que es suficiente para proporcionar una conexión eficiente para múltiples usuarios desde una sola estación base.

Existen dos versiones del protocolo 802.16 una para servicio fijo y otra para móvil.

5.3.1 Protocolo 802.16 para servicio fijo

Es el estándar 802.16-2004 está diseñado para modelo de uso de acceso fijo. Este estándar utiliza una antena montada en el sitio del suscriptor. El IEEE 802.16-2004 proporciona acceso fijo a un ancho de banda inalámbrico interoperable. La solución de WiMAX para el acceso fijo funciona en las bandas de 2.5GHz, 3.5GHz y 5.8GHz. Esta tecnología proporciona una alternativa inalámbrica al cable módem, las líneas del suscriptor digital del cualquier tipo (xDSL) u otra tecnología de acceso que tenga el usuario como se representa en la figura 39. Este despliegue es la alternativa certificada, como opción ante Wi-Fi con antenas direccionables.

Figura 39. Topología de red WiMAX para acceso fijo y móvil



Fuente: Fundamentals of WiMax, Prentice Hall

A diferencia de las 64 subportadoras utilizadas por el IEEE 802.11, el IEEE 802.16-2004 utiliza OFDM con la señal dividida en 256 subportadoras mucho más estrechas que las 64 del Wi-Fi. Subportadoras más estrechas implica períodos largos de símbolo. El mismo porcentaje de tiempo de espera o de prefijo cíclico proporciona valores absolutos más grandes de tiempo para grandes retardos de propagación e inmunidad multidireccional.

5.3.2 Protocolo 802.16 para servicio móvil

El estándar IEEE 802.16e va un paso más allá del estándar IEEE 802.16-2004, agregando portabilidad y movilidad para clientes móviles con adaptadores IEEE 802.16e para conectar directamente con la red WiMAX.

5.3.3 Características de IEEE 802.16-2004

- **Modulación adaptiva.** Cuando los suscriptores estén en condiciones ruidosas o tengan niveles bajos de señal, el esquema de modulación adaptiva igualmente los mantiene conectados a cambio de un nuevo nivel de modulación.
- **Calidad de servicio.** El estándar IEEE 802.16-2004 posee diferentes niveles de calidad de servicio, dependiendo de la condición de los diferentes suscriptores.
- **Antenas inteligentes.** Con una antena sincronizada, cada sector tiene el potencial para alcanzar usuarios con más índices de datos sobre largas distancias que una antena unidireccional.

5.3.4 Acceso por Wi-Fi

Wi-Fi proporciona una certificación para la comunicación de clientes a puntos de acceso 802.11, con la finalidad de eliminar el cable en la red de área local (LAN). Existen varias versiones desarrolladas para este estándar. Estos son IEEE 802.11 a/b/g y actualmente los fabricantes de equipos están incluyendo el estándar más reciente 802.11n que es compatible con todos los anteriores pero puede alcanzar velocidades de hasta 600 Mbps. Estos utilizan diferentes frecuencias donde el primero opera en la banda de 5 GHz y los estándares IEEE 802.11b/g en la banda de frecuencia de 2.4 GHz.

Cada uno de estos estándares utiliza diferentes técnicas de radio-modulación, las cuales son indicadas a continuación:

- El estándar IEEE 802.11b utiliza modulación DSSSM (direct sequence spread spectrum modulation), soportando velocidades de hasta 11 Mbps.

- Los estándares IEEE 802.11a/g utilizan modulación OFDM soportando velocidades de hasta 54 Mbps.
- El estándar IEEE 802.11n trabaja mediante la tecnología MIMO (Multiple input-Multiple output, que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas. Este estándar es compatible con todas las ediciones anteriores de Wi-Fi.

La comparativa entre los estándares arriba descritos, se hace en la tabla IX.

Tabla IX. Comparativa entre los estándares IEEE 802.11a/b/g/n

ESTANDAR	ANCHO DE BANDA	FRECUENCIA	MODULACION
802.11^a	54 Mbps	5 GHz	OFDM
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	DSSSM
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	OFDM
802.11n	hasta 600 Mbps	2.4 GHz, 5 GHz	MIMO

Está claro que el hecho de utilizar tecnología Wi-Fi es solamente un medio de llevar los puntos de red de forma inalámbrica hacia los usuarios sin necesidad de cables, ya que la conexión a internet que llega al ambiente con cobertura Wi-Fi puede ser mediante cualquier tecnología de acceso como ADSL, PLC, cable coaxial, satélite, etc.

5.4 Acceso por redes celulares

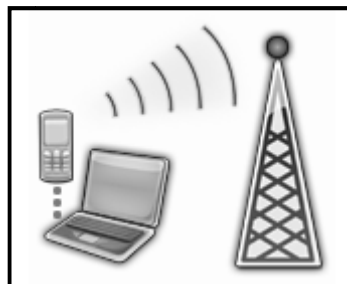
Cada vez más se va haciendo necesaria la movilidad en las conexiones a internet, por lo que los proveedores de servicios de telecomunicaciones móviles están

implantando redes de tercera generación o 3G o UMTS, en las que se pueden alcanzar velocidades desde 256 Kbps hasta 2 Mbps, en cualquier parte donde esté presente la señal de la empresa que presta el servicio.

Principalmente el servicio es ofrecido mediante módems USB que son en realidad teléfonos móviles con su propia tarjeta SIM como cualquier terminal móvil. Los teléfonos celulares que trabajan con la banda UMTS del operador, también pueden utilizarse como módem conectándose vía bluetooth o cable, al ser contratado un servicio adicional de paquetes de datos en función de los MB o GB transferidos por el usuario.

La red UMTS también ofrece servicios de video llamada entre móviles con el soporte para este servicio y también es posible transferir archivos de gran volumen, sincronizar cuentas de correo electrónico, descargar videos, música, navegar en el propio dispositivo y utilizar aplicaciones que requieren conexión a internet de alta velocidad. En la figura 40, se muestra un una celda de telecomunicaciones celulares radiando señal hasta un abonado móvil y este conectándose a una computadora personal vía cable o bluetooth.

Figura 40. Diagrama de conexión desde la celda hasta el usuario



Una de las principales limitantes de esta forma de acceso es que esta presente principalmente en áreas urbanas, ya que en zonas rurales, la demanda sería escasa.

5.4.1 Características

- Transmisión simétrica/asimétrica de alta confiabilidad
- Hasta 384 Kbps en espacios abiertos y 2Mbps con baja movilidad.
- Uso de ancho de banda dinámico en función de la aplicación.
- Acceso a internet, videojuegos, comercio electrónico, audio y video en tiempo real.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Calidad de voz como en la red fija.
- Puede coexistir con los sistemas 2G.
- Servicios de voz y datos al mismo tiempo.

CONCLUSIONES

1. El acceso de banda ancha a través de las líneas de distribución de potencia, trae una opción real que puede competir con otras en la que sería más costoso una nueva infraestructura de telecomunicaciones, ya que el tendido de la red eléctrica es existente y aprovechable, ahorrando costos en la inversión inicial.
2. La tecnología PLC no se limitan al acceso de internet de banda ancha, sino que puede aprovecharse en el campo de automatización de los servicios de una casa (domótica), telefonía y televisión IP, seguridad, control y redes domésticas.
3. Las condiciones geográficas de nuestro país, reúnen condiciones adecuadas para la implementación de redes PLC ya que se cuenta con un amplio alcance de las redes de energía pero poco alcance en redes de telecomunicaciones, lo que puede ayudar al desarrollo del país en ese tema.
4. El uso de la tecnología PLC, puede hacerse en conjunto con otras tecnologías de acceso como complemento unas de otras.
5. Un proyecto para ofrecer servicios de telecomunicaciones PLC puede orientarse a poblaciones donde no hay presencia de una operadora de Telecomunicaciones, por cuestiones de demanda, licencias de

construcción para la red de cobre) y podría estimarse en 10% de los usuarios de electricidad la demanda por servicios de telecomunicaciones.

6. La tecnología PLC se encuentra aún en desarrollo, por lo que como toda tecnología en estas condiciones, tienden a haber dificultades que deberán mejorarse para poder coexistir eficientemente con otros medios.

RECOMENDACIONES

1. La transmisión de datos a través de la red eléctrica, es una labor que no debería ser realizada solamente por la empresa distribuidora de energía, ya que no es su área de negocio específica, sino que lo más razonable es que exista una alianza estratégica con una empresa de telecomunicaciones, que administre todo lo relacionado con la transmisión de datos de alta velocidad (backbone).
2. Se debe determinar primero las condiciones en las que se encuentra la red, a fin de cerciorarse de que no existan empalmes mal hechos o cableados defectuosos que afecten la calidad de la señal y corregirlos antes de la implementación de la red PLC.
3. Se debe considerar que en este trabajo se hace referencia a la capa física del acceso de la red, que se encarga de proporcionar una interfaz eléctrica y mecánica para el medio de transmisión, y no se hace referencia a las otras partes del modelo OSI. Tampoco se analiza la parte de BRAS que es quien se encarga de administrar las sesiones entre el cliente e Internet, la función AAA, encargado de las autenticaciones de las identidades y la administración de los accesos de los clientes.
4. La alianza entre la distribuidora de electricidad y la operadora de telecomunicaciones debe considerar, entre otros, los siguientes factores: tarifa al

usuario final, forma de facturarlos, distribución de los ingresos según el uso que se realice de la infraestructura de las empresas involucradas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Harper Enriquez, Gilberto. **Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión.** 2ª edición. Editorial Limusa, 2000.
2. Harper Enriquez, Gilberto. **El libro práctico de los transformadores y motores electrónicos.** Editorial Limusa, 2000.
3. Martin, José Raúl. **Diseño de subestaciones eléctricas.** McGraw Hill, 1987.
4. Gönen, Turan. **Electric power distribution system engineering.** EEUU, McGraw Hill Book Company, 1986.
5. Donald, Fink y Wayne, Beaty. **Manual de Ingeniería eléctrica.** Editorial McGraw Hill. 1996. Edición original en inglés. Tomo I-II.
6. M.I.T. **Circuitos Magnéticos y Transformadores.** Editorial Reverte. 697 p.p.
7. Stevenson, William D. **Análisis de sistemas eléctricos de potencia.** McGraw Hill, 2ª ed. México, 1988.
8. Westinghouse Electric Corporation, **Distribution systems.** Volumen 3. EEUU, Westinghouse, 1959.

9. Andrews, Jeffrey G. y otros. **Fundamentals of WiMAX, understanding broadband wireless networking**. Prentice Hall, EEUU, 2007.
10. Charan Langton. Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) tutorial. www.complextoreal.com, 2004.
11. Villacampa, Javier. Power line communications (PLC), una oportunidad para los operadores sin infraestructuras. <http://www.masterdiseny.com/master-net/tribuna/index.php3>
12. IBERDROLA. [29 Ene 05]
<http://www.iberdrola.es/ovc/html/micrositePLC/index.html>
13. OPERA, "Open PLC European Research Alliance": <http://www.ist-opera.org/>
14. www.homeplug.com (marzo de 2008)
15. www.plcforum.org (marzo de 2008)
16. www.arteche.com (abril de 2008)
17. www.grupopremo.com (septiembre de 2008)
18. www.ilevo.com (septiembre de 2008)
19. www.ekopl.com (septiembre de 2008)

