



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Mecánica Eléctrica

**TECNOLOGÍA *DIGITAL POWER LINE CARRIER* O
TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA A TRAVÉS DE LA
RED ELÉCTRICA**

Josué Roberto Orozco Orozco

Asesorado por Ing. Luis Eduardo Durán Córdova

Guatemala, septiembre de 2003

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TECNOLOGÍA *DIGITAL POWER LINE CARRIER* O
TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA A TRAVÉS DE LA
RED ELÉCTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUÉ ROBERTO OROZCO OROZCO

ASESORADO POR ING. LUIS EDUARDO DURÁN CÓRDOVA

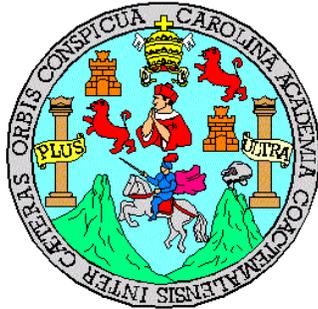
AI CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VICAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Marvín Marino Hernandez Sernandez
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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:

**TECNOLOGÍA *DIGITAL POWER LINE CARRIER* O
TRANSMISIÓN DE DATOS EN BANDA ANCHA A TRAVÉS DE
LA RED ELÉCTRICA**

Tema que fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica- Eléctrica con fecha de 11 de octubre de 2002.

Josué Roberto Orozco Orozco

DEDICATORIA

A DIOS

“Mira que te mando a que te esfuerces y seas valiente, no temas ni desmayes por que Jehová tu dios estará contigo a donde quiera que vayas” Josué 1:9

A MIS PADRES

Eugenio Benjamín Orozco Fuentes
Marcelina Domitila Orozco de Orozco

A MIS HERMANOS

Gustavo, Jorge, Egil, Eugenio, Rubilia, Iris,
Axel

A MI NOVIA

Lena Magali Yantuche Osorio

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala por ser medio que hizo posible mi visión.

Al claustro de catedráticos de la escuela de ingeniería Mecánica Eléctrica por su dedicación en la enseñanza y apoyo hacia mi persona y formación profesional.

A mis familiares, amigos y maestros, los cuales me han dado su apoyo incondicional desde mis inicios.

A UFINET por su apoyo para la realización de este trabajo.

2.	<i>DIGITAL POWER LINE CARRIER</i>	39
2.1	Arquitectura de redes <i>Digital Power Line Carrier</i>	41
2.2	Red de transporte	43
	2.2.1 Redes de área amplia	44
	2.2.1.1 Ejemplos de servicios de telecomunicaciones de datos a través de redes área amplia	46
2.3	Enlace última milla	55
2.4	Consideraciones especiales en redes <i>Digital Power Line Carrier</i>	55
	2.4.1 Frecuencia de operación y requerimiento de ancho de banda	56
	2.4.2 Características del canal	56
	2.4.3 Acoplamiento de altas frecuencias	59
2.5	Integridad de la información	62
	2.5.1 Interferencias eléctricas	62
	2.5.2 Susceptibilidad electromagnética	65
	2.5.3 Compatibilidad electromagnética	65
	2.5.4 Interferencias en conductores	66
2.6	Aislamiento entre las redes de alta y de media tensión	69
3.	<i>RED DIGITAL POWER LINE CARRIER</i>	75
3.1	Elementos de red DPLC	76
	3.1.1 <i>Head End</i> (HE)	76
	3.1.2 <i>Home Gateway</i> (HG)	79
	3.1.3 <i>Customer Premises Equipment</i> (CPE)	80
3.2	Modulación OFDM	81
	3.2.1 El transmisor OFDM	88

3.2.2	El receptor OFDM	90
3.3	Protocolos de comunicación	93
3.3.1	Protocolos de las interfaces del nivel físico	93
3.3.2	Protocolos del nivel de enlace de datos	94
3.3.3	Protocolos de los sub-niveles LLC y MAC	94
3.3.4	Protocolos ruteables	96
3.4	Protocolo TCP/IP	96
3.4.1	Arquitectura del protocolo TCP/IP	97
3.4.2	La dirección IP	101
3.5	Elementos de red DPLC y su similitud con elementos de red convencional	104
3.5.1	<i>Head End (HE) contra Router</i>	107
3.5.2	<i>Home Gateway (HG) contra Swicht</i>	108
3.5.3	<i>Customer Premises Equipment (CPE) contra Módem</i>	109
3.6	Topologías de red DPLC	110
3.6.1	Topología standard punto multipunto	110
3.6.2	Topología multi enlace (Punto a Punto)	111
3.6.3	Topología multi salto	111
3.6.3.1	Descripción de coexistencia entre HE's	112
3.7	Seguridad de la Información	113
3.7.1	Blindaje de líneas de transmisión	114
3.7.2	Protección de los conductores	116
3.7.2.1	Apantallamiento	116
3.7.3	Seguridad de la información por <i>software</i>	118
3.8	Ventajas técnicas de las redes <i>Digital Power Line Carrier</i>	119
4.	ESTUDIO ECONOMICO	121

4.1	Guía para el desarrollo y ejecución de pruebas piloto DPLC	121
4.1.1	Objetivos de la prueba piloto	121
4.1.2	Prueba de campo	121
4.1.3	Guía para adquisición de información de la red de baja tensión del usuario final	133
4.1.4	Preguntas sobre la implantación de un sistema DPLC	136
4.2	Modalidades de negocio	139
4.3	Análisis Económico	142
	CONCLUSIONES	149
	RECOMENDACIONES	151
	BIBLIOGRAFÍA	153
	ANEXO	155

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Transposiciones en líneas alta tensión	4
2	Derivaciones en líneas de alta tensión	5
3	Acoplamiento fase tierra	6
4	Acoplamiento fase fase e intercircutos mediante transformador diferencial	7
5	Forma de onda y espectro de los relámpagos	9
6	Potencial del choque de un relámpago	10
7	Nivel de ruido contra frecuencia para distintos voltajes de operación	12
8	Corriente en el capacitor de acoplamiento en función de la tensión de línea	14
9	Esquema de principio del acoplamiento efectuado a través del divisor de tensión capacitivo	15
10	Dispositivos de bloqueo	17
11	Sintonizador con inductor ajustable	19
12	Sintonizador para 2 frecuencias	20
13	Sintonizador con filtro de banda ancha	21

14	Sintonizador híbrido	22
15	Modos naturales de propagación	24
16	Diagramas espectrales de frecuencia	28
17	Equipo terminal análogo y división del ancho de banda	29
18	Ancho de banda en terminal doble canal con modulación FDM	29
19	Potencia pico a pico (PEP) para equipos mono y bi canales	30
20	Equipo terminal digital	31
21	Arquitectura de red PLC	41
22	Topología de red PLC	43
23	Topologías de red, a) estrella, b) anillo, c) árbol, d) malla, intersección de anillos, f) irregular	45
24	Celda ATM	49
25	Trayectoria SONET	51
26	Paquetes SONET consecutivos	52
27	Multiplexión de tributarias o fuentes en SONET	53
28	Circuito de acoplamiento en media tensión	60
29	Circuito protector de CPE	61
30	Circuito real de acoplamiento con cables nótese que los cables del capacitor están trenzados	61
31	Inducción electromagnética	63
32	Generación de interferencia por inducción electromagnética en cables paralelos	66
33	Aislamiento contra frecuencia	68
34	Conexión HE a la línea de potencia	79
35	Segmentación del ancho de banda en sub-canales forma tradicional contra OFDM	82
36	Segmentación del ancho de banda	83
37	Espectro de frecuencias de una onda FDM (N=1)	84
38	Espectro de frecuencias de siete ondas OFDM (N=7)	85

39	Espectro de frecuencia y “Factor de CRESTA”	86
40	“Factor de CRESTA” desfavorable	87
41	“Factor de CRESTA” favorable	87
42	Diagrama de bloques de un transmisor OFDM	88
43	Diagrama de bloques de un receptor OFDM	90
44	Principio del ecualizador “1 Tap” para OFDM	92
45	Nombres de los componentes del nivel físico IEEE 802.3	95
46	Topología punto multipunto	110
47	Topología punto a punto	111
48	Topología multi salto	112
49	Permeabilidad o filtración de cables cruzados	116
50	Esquema general red DPLC	122
51	Diagrama PERT de las actividades a realizar para la prueba de campo	124
52	Modelos de negocio <i>power line communications</i>	140
53	Los siete niveles del modelo OSI	156
54	Relación entre los niveles del modelo OSI	158
55	Un frame de datos simple	163

TABLAS

I	Comparación formas de acoplamiento	25
II	Potencia efectiva radiada para un número de canales de voz y datos	35
III	Frecuencias de tono y número de código	38
IV	Tasas de multiplexión SONET y SDH	54
V	Estimación de la capacidad de un enlace PLC	59
VI	Niveles de potencia	77
VII	Servicios soportados basados en TCP/IP	78
VIII	Características de <i>Ethernet</i> versión 2 e IEEE 802.3	95

IX	Estructura de los datos	98
X	Costo del equipamiento para media tensión	142
XI	Costo del equipamiento para baja tensión	143
XII	Costo del equipamiento para baja tensión en 10 transformadores de media a baja tensión	144
XIII	Flujos de efectivo	146

LISTADO DE SÍMBOLOS

π	3.1416
B	Ancho de banda
φ_i	Ángulo de fase
L	Bobina
C	Capacidad canal
C	Capacitor
CT	Centro de transformación
σ	Conductividad
α	Constante de atenuación
β	Constante de fase
γ	Constante de propagación
I	Corriente
dB	Decíbel
e	Exponencial
Av	Ganancia de voltaje
Xc	Impedancia capacitiva

$Z(j\omega)$	Impedancia de carga
X_L	Impedancia inductiva
\int	Integral
\log_2	Logaritmo de base 2
Ω	Ohm
T	Período de una onda
μ_0	Permeabilidad del espacio libre
ϵ_0	Permitibilidad del espacio libre
Δf	Rango de frecuencia
$jX(\omega)$	Reactancia
$R(\omega)$	Resistencia dependiente de la frecuencia
ρ	Resistividad
Σ	Sumatoria
TD	Transformador diferencial
V	Voltaje
WBF	<i>Wide band filter</i> , Filtro de banda ancha

GLOSARIO

100BaseT

Es un estandar de red que soporta tasas de transferencia de datos de hasta cien Mbps (100 megabits por segundo). Su designación *Ethernet* es la 100BaseT. Oficialmente, el estándar 100BaseT es el IEEE 802.3u.

ADSL

Tecnología que permite el envío mayor de datos a través de las líneas telefónicas de cobre actuales. El ADSL soporta tasas de transferencias de 1.5 a 9 Mbps cuando recibe un ordenador recibe información de la red y de 16 a 640 Kbps cuando el ordenador envía información a la red.

Ancho de banda

Rango de frecuencias ocupado, se obtiene al restar la frecuencia inferior de la superior que se utiliza.

Banda ancha	Transmisión de datos a alta velocidad.
Banda base	Señal sin modificar, es proporcionada por la fuente de la información, puede ser una señal de audio, datos o video.
Banda lateral única	Sistema de amplitud modulada, (A.M) requiere de la mitad del ancho de banda del empleado por cualquier otra sistema de modulación A.M, por lo que provee buena eficiencia del espectro, a la vez que es menos propenso al desvanecimiento selectivo que afecta las relaciones de fase entre las bandas laterales del espectro de señal.
BER	La fracción de secuencia de bits que están en error.
Bit	Unidad binaria de información, representada por un dígito binario o por uno de dos estados eléctricos.
<i>Cache/Proxy server</i>	Memoria especial de alta velocidad usada comúnmente en computadoras personales/ Servidor ubicado en la aplicación de un cliente semejante a un servidor <i>web</i> , y a un servidor real

CDMA	<i>Code division multiplexion access.</i> Tecnología celular digital, utiliza técnicas de dispersión de espectro, no asigna una frecuencia específica a cada usuario. En cambio, cada canal utiliza el espectro completo disponible. Las conversaciones individuales son encodificadas con una secuencia digital pseudo-aleatoria.
CEBus	<i>Consumer electronic bus,</i> Estándar de comunicaciones locales y control de red diseñado específicamente para el hogar, la transmisión se realiza a través de la red eléctrica, por trenzado, cable coaxial, RF o infrarrojos.
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional.
CENELEC	Comité Europeo de estandarización de Productos eléctricos, responsable de producir estándares genéricos de compatibilidad electromagnética.
Circuito resonante	Circuito que cancela mutuamente impedancias capacitivas e inductivas, al sintonizar la frecuencia de resonancia.
Codificación	Programa o circuito que modifica una señal de acuerdo a normas con el objeto de reducir los errores en la recuperación de la misma.

Condensador	Dispositivo conformado por dos placas paralelas, que mediante la polarización de las mismas conserva carga eléctrica.
Conductividad	Capacidad de un material para transmitir corriente eléctrica.
CSMA/CD	<i>Carrier sense multiple access collision detect.</i> Mecanismo de acceso al medio en donde los dispositivos listos para transmitir datos, primero revisan el canal por un <i>carrier</i> . Si ningún <i>carrier</i> es visto por un período específico de tiempo, un dispositivo puede transmitir. El acceso CSMA/CD es usado por <i>ethernet</i> e IEEE 802.3
DAB	<i>Digital audio broadcasting.</i> Es un método de transmisión de audio u otra información a través del aire para receptores de radio empleando un algoritmo digital generalmente emplea las bandas de frecuencia de A.M y F.M. Un servicio reciente que emplea esta tecnología es el radio XM.
Demodulación	Recuperar una señal que fue previamente combinada con otra de mayor frecuencia para facilitar su transmisión a través del espacio.

Dielectrico	Material con características aislantes de campos electricos.
Diodos Schottky	Dispositivo electrónico de dos terminales, generalmente empleado para frecuencias altas debido a su rapido tiempo de respuesta.
Dominio de colisiones	En redes <i>Ethernet</i> el término refiere al tamaño de la red en la cual se pueden detectar colisiones.
<i>Downstream</i>	Término empleado en redes de computadoras para definir la tasa de transferencia de datos de una red hacia un ordenador.
DSSS	<i>Direct sequence spread spectrum</i> , Tecnología de transmisión usada en redes LAN inalámbricas en donde una señal de datos enviada por una estación es combinada con una alta tasa secuencia de bits o por código de chip. El código de chip es un trayecto de bit redundante para cada bit transmitido, lo que incrementa la resistencia de la señal a la interferencia, si uno o más bits en el trayecto se distorsiona durante la transmisión, los datos originales pueden ser recuperados debido a la redundancia de la transmisión.

DVB	<i>Digital video broadcasting.</i> Es un método de transmisión de video u otra información a través del aire para receptores de televisión empleando un algoritmo digital.
Efecto piel	Profundidad de penetración de una onda electromagnética en un medio conductor.
Espectro de frecuencias	Rango de frecuencias.
ETSI	Instituto Europeo de estándares de Telecomunicaciones.
Factor de fuga	Punto en el que un aislante permite la conducción de corriente eléctrica.
<i>Fast Ethernet</i>	Ver descripción 100BaseT.
FDM	Multiplexión por división en frecuencia, es el esquema de reparto mas viejo y probablemente el más utilizado.
FH	<i>Frequency hopping.</i> Es el cambio repetitivo de frecuencias durante la transmisión de radio de acuerdo a un algoritmo especificado, con el motivo de minimizar la interceptación no autorizada. El ancho de banda total requerido para el salto de frecuencias es más amplio que el

requerido para transmitir la misma información utilizando solamente una frecuencia por portadora.

Firewall

Servidor de acceso, enrutador, emplea listas de acceso y otros métodos para asegurar la seguridad de las redes privadas.

Full duplex

Capacidad de transmisión simultánea entre una estación emisora y una estación receptora.

Gradiente

Vector cuya dirección es a lo largo de una línea de campo con una magnitud dada, de una forma mas específica es una medida de la diferencia potencial entre dos puntos.

HDLC

High data link control, Protocolo sincrónico del nivel de enlace de datos orientado a bit desarrollado por la ISO.

Hub

Estación que proporciona un punto común de conexión para la red de estaciones VSAT y otros dispositivos.

Intermodulación

Corresponde a la suma y a la diferencia de frecuencias fundamentales y armónicas producidas y transmitidas a través de un elemento no-lineal en un sistema de radio.

Internet	Conjunto de millones de computadoras conectadas entre sí a nivel mundial. Se le conoce como Red.
ISDN	<i>Integrated services digital network</i> . Tecnología de baja a media velocidad para telefonía digital. Transmite generalmente a 128 kbps.
ISP	<i>Internet service provider</i> , Cualquier ente capaz y autorizado para proveer un acceso a la Internet.
NMS	<i>Network manager system</i> , software propietario que permite administrar los servicios de una red de datos, así como de la configuración de la misma.
Portadora	Una señal específica de frecuencia que transmite información.
QAM	Modulación caracterizada por la superposición de dos portadoras en cuadratura moduladas en amplitud.
QPSK	Tipo de modulación, definida como modulación en cuadratura diferencial de fase. que actúa como transmisor hacia el satélite que actúa como receptor.

Relevador	Equipamiento eléctrico, empleado en las subestaciones eléctricas para control de eventos o alarmas, también es conocido como relé.
Ruido Gaussiano	Ruido uniformemente distribuido en un ancho de banda dado, independientemente de cual sea la frecuencia central. Tal distribución de ruido por unidad de anchura de banda en cualquier lugar del espectro, es denominado también ruido blanco.
SDLC	<i>Synchronous data link control</i> . Protocolos de comunicaciones del nivel de enlace de datos. SDLC es un protocolo serial <i>full duplex</i> orientado a bit, que ha generado varios protocolos similares incluyendo HDLC.
Sensibilidad	Nivel mínimo de recepción de la señal que el terminal receptor admite para asegurar el funcionamiento del circuito “control automático de ganancia”.
SLA	<i>Service level agreement</i> , acuerdo legal entre personas individuales o jurídicas que garantiza

un nivel mínimo en la calidad de un servicio contratado.

Token ring

LAN con método *token-passing* desarrollada y soportada por IBM. *Token ring* maneja velocidades de 4 o 16 Mbps a través de una topología de anillo. Es similar a la especificación IEEE 802.5

Transposición

Técnica empleada en líneas de transmisión eléctrica de alta tensión trifásica, consistente en cruzar las fases a lo largo del tendido, con el fin de compensar los espaciamientos asimétricos entre fases producto de la estructura propia de las torres de transmisión.

Upstream

Término empleado en redes de computadoras para definir la tasa de transferencia de datos de un ordenador hacia una red.

USB

Universal serial bus. Puerto de comunicaciones externo del ordenador con capacidad de conectar hasta 127 dispositivos periféricos al mismo tiempo. Soporta tasas de transferencias de datos de 12 Mbps.

UTP

Unshielded twisted-pair. Medio comprendido de cuatro pares de alambre usados en una variedad de redes. Existen 5 tipos de cableado

UTP comúnmente usados: cable categoría 1, 2, 3,4 y 5.

VLAN

Es una red de computadoras que se comportan como si estuvieran conectadas a la misma red, a pesar que estén ubicadas físicamente en diferentes segmentos de una LAN. Las VLANs son configuradas a través de *software* en lugar de *hardware*, lo que las hace extremadamente flexibles. Una de las mayores ventajas de una VLAN es que, cuando una computadora es reubicada físicamente a otro lugar, puede mantenerse en la misma VLAN sin ninguna configuración de *hardware*.

VPN

Red Privada Virtual, es una red que es construída a través de la red pública para conectar diferentes nodos.

X-10

Estándar de comunicación para transmitir señales de control entre equipos de automatización del hogar a través de la red eléctrica

RESUMEN

La idea de poder transmitir datos a través de la red eléctrica aprovechando toda la infraestructura desplegada, es una idea tan antigua que data desde los primeros días de las redes eléctricas, esto dio como resultado una tecnología llamada *Power Line Carrier* (PLC) o transmisión por onda portadora, el inconveniente de esta red es que solo podía ser empleada en la red de alta tensión, con bajas velocidades de transmisión y sin futuro comercial.

Casi cien años mas tarde, despues del desarrollo de nuevas técnicas de modulación, nuevos protocolos de comunicación y un conocimiento mas profundo de la compatibilidad electromagnética, renace la tecnología PLC ahora llamada *Digital Power Line Carrier* (DPLC) o *Power Line Communications* (PLC) distinto del primer PLC (que aún sigue vigente).

Esta nueva tecnología a diferencia de la anterior, es diseñada para poder emplear las redes eléctricas de media y baja tensión, permitiendo alcanzar altas velocidades de transmisión y con un previsible futuro comercial.

Es conveniente mencionar que DPLC, no constituye una red troncal de datos. DPLC permite emplear las líneas eléctricas de media y baja tensión para transmitir datos, lo que posibilita un ahorro en la construcción de enlaces última milla, para cualquier operador de telecomunicaciones.

OBJETIVOS

General

Brindar los lineamientos teóricos y prácticos necesarios para la implementación y puesta en marcha de un sistema *Digital Power Line Carrier* confiable y de calidad para la transmisión de voz y datos, indicando claramente la infraestructura necesaria para la explotación y comercialización de un sistema DPLC que garantice un alto índice de calidad y seguridad.

Específicos

1. Dar a conocer las diferentes aplicaciones en materia de redes datos que pueden soportar los sistemas *Digital Power Line Carrier*, ampliando de esta manera la bibliografía existente en relación a este tema, esperando así, brindar un aporte tecnológico

a la Facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2. Externar y compartir el conocimiento adquirido por el autor a lo largo de la investigación, a lectores nacionales ávidos de nuevos temas interesantes y novedosos.

INTRODUCCIÓN

En el mundo actual se desarrollan cada día cientos de investigaciones, que traen como resultado directo, constantes cambios conceptuales y tecnológicos, que vienen a mejorar procesos ya establecidos a la vez que dejan la puerta abierta a futuros refinamientos de los mismos, originando de esta manera un círculo regenerativo que da lugar a cada vez más y mejores técnicas y/o tecnologías.

Considerando lo anterior, puede comprenderse el hecho de que la tecnología para transmitir datos a través de la red eléctrica, llamada *Power Line Carrier* o PLC no sea una tecnología nueva, dado que, prácticamente data desde los inicios de las primeras redes eléctricas, sin embargo de esos tiempos a la fecha a experimentado cambios que le han permitido alcanzar entre otras cosas, mayores velocidades de transmisión de datos; siendo este avance quizá el más importante.

A pesar de que el concepto *Power Line Carrier* tiene ya varios años, no es, si no, hace aproximadamente cinco años atrás que se dio el gran avance al lograr velocidades de 2 Mbps como punto de partida, logrando cada vez mayores velocidades tales como 12 y 45 Mbps, así también, el concepto PLC sufriría un cambio de enfoque ú orientación al utilizar las líneas de media y baja tensión en contraste con las líneas de alta tensión empleadas en su versión inicial, con este cambio se logra llegar fácilmente al usuario final empleando la red eléctrica como enlace de última milla.

Es pues a partir de ese momento que varias compañías empiezan a combinar tecnologías que puedan explotar este nuevo recurso a la vez que les permite presentar un nuevo producto o servicio comercializable.

Esto ha provocado un alto grado de secretividad de las empresas desarrolladoras en torno a este avance, principalmente. Porque este logro marca el limite entre el antiguo concepto *Power Line Carrier* y el nuevo concepto *Digital Power Line Carrier* o *Power Line Communications* que aunque en esencia son iguales, las ventajas del segundo sobre el primero son varias, aún así y con todo el conocimiento adquirido en sistemas PLC no se conoce a ciencia cierta el desempeño de un sistema DPLC a velocidades de transmisión altas y con aplicaciones más complejas que las de un inicio; Telemedida y telecontrol de subestaciones eléctricas.

Es debido a lo anterior que el presente trabajo de graduación tiene como objeto describir las características de la tecnología *Digital Power Line Carrier*, así como, plantear las bases técnicas y económicas que permitan realizar un proyecto de campo en Guatemala.

1. **POWER LINE CARRIER**

Los sistemas *Power Line Carrier* o PLC, pueden básicamente dividirse en dos tipos o sistemas. *Power Line Carrier* y *Digital Power Line* o *Power Line Communications*, ambos son sistemas basados en la modulación de una onda de potencia. El primero, es el precursor de esta técnica mientras que el segundo incorpora nuevas técnicas; tanto digitales como de modulación que hacen de este nuevo PLC, un DPLC más poderoso y versátil que el *Power Line Carrier* tradicional, a la vez que lo orienta a otras aplicaciones diferentes a las del original.

1.1 **Power Line Carrier**

1.1.1 **Historia Power Line Carrier**

En 1919 la *General Electric* demostraba la factibilidad de comunicarse por medio de una portadora de línea de potencia, y en 1921 el primero de estos sistemas fue puesto en servicio. Esta primera aplicación fue hecha para la comunicación de voz, y luego se reconocieron que los canales de PLC pueden proveer circuitos para muchos otros usos.

Hacia finales de los veinte PLC era usado como piloto en un relevador de protección y desde entonces continua usándose para relevadores. La Segunda Guerra Mundial produjo un gran ímpetu para resguardar la transmisión de potencia y PLC ayudó en la transmisión de telemetría y control de carga.

El equipo PLC y sus aplicaciones ha sufrido constantes cambios, durante los primeros años estos equipos emplearon AM para transmitir la información, posteriormente emplearon FM y luego modulación en banda lateral única. Así también las aplicaciones han ido desde proporcionar un canal para protección de relevadores telémétricos, control telemétrico de la frecuencia de carga, control supervisor, localizador de falla sin dejar de lado su aplicación inicial, la transmisión de voz

1.1.2 Características *Power Line Carrier*

La característica principal del sistema PLC es el hecho de poder transmitir datos a través de la red eléctrica, para esto intervienen distintos elementos con parámetros particulares que hacen posible dicha transmisión.

- Línea de alta tensión como línea de transmisión
Impedancia característica de la línea, atenuación, ruido
- Dispositivos de acoplamiento
Condensador
- Dispositivos de bloqueo
Bobina, sintonizador
- Sistemas de acoplamiento
Acoplamientos fase tierra, acoplamiento fase fase.
- Equipos terminales
Equipos analógicos, equipos digitales.

1.1.2.1 Línea de alta tensión como línea de transmisión

Debido a que una línea de transmisión de energía eléctrica no está diseñada de igual forma que una línea de transmisión de datos, su comportamiento es muy deficiente para la transmisión de estos últimos.

Para poder comprender porque una línea de transmisión de energía eléctrica es deficiente para la transmisión de datos es necesario especificar completamente los siguientes parámetros y características.

Impedancia característica: La impedancia característica de una línea se refiere a la razón fasorial entre la tensión V y la corriente I en una línea de transmisión infinita de dos conductores.

La impedancia característica de una línea de alta tensión o de energía depende básicamente de la geometría y estructura de la línea, así como de la resistividad de la tierra.

Esta impedancia característica es teóricamente proporcional al logaritmo de la distancia entre los conductores dividido por el radio de los mismos.

Atenuación: Atenuación son todas aquellas pérdidas de señal que ocasionan la degradación y eliminación de una señal en un canal, existen causas de atenuación para canales en específico, por ejemplo, para radio enlaces podemos mencionar las pérdidas por condiciones de espacio libre, pérdidas por difracción entre otras.

La atenuación en una línea de Alta tensión depende de la topología de la línea (transposiciones de líneas, derivaciones), resistividad del conductor, condiciones ambientales, tipo de acoplamiento utilizado (fase tierra, fase fase).

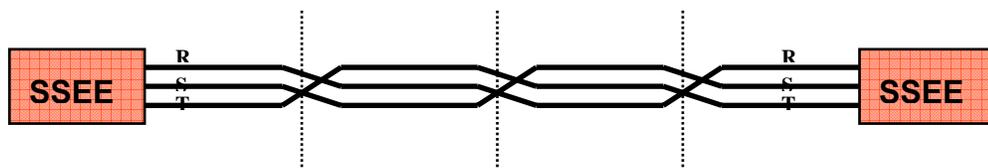
La atenuación de cualquier onda electromagnética en general aumenta con la frecuencia, tanto por efecto piel, como por la permeabilidad y la permitividad del medio.

La atenuación de señales es teóricamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia, aunque en la realidad la atenuación aumenta un poco más rápido que dicha proporción.

Transposiciones de líneas: se encuentran en líneas largas para compensar los espaciamientos asimétricos de los conductores de una línea trifásica para balancear las inductancias de las fases, compensando además el efecto capacitivo de la línea.

Estas transposiciones introducen atenuaciones importantes en función del número mismo de transposiciones, según la CEI 663 la atenuación introducida puede variar entre 2 y 12 dB.

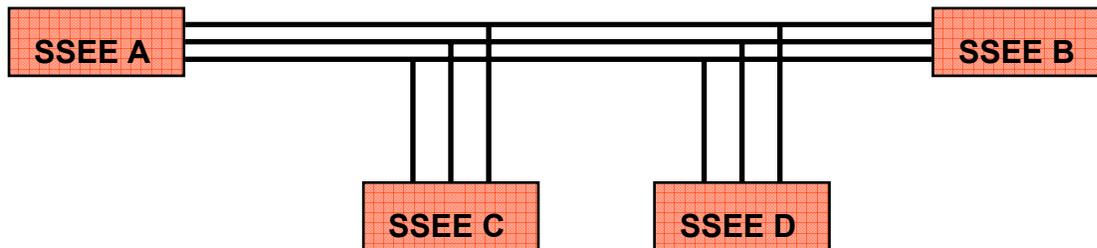
Figura 1. Transposiciones en líneas alta tensión



Derivaciones: ocasionan problemas principalmente debido al desacoplo que se crea en el punto de la derivación, generando ondas estacionarias en la línea en derivación, introducen también picos de atenuación adicional en función de la longitud de la línea en derivación, según la CEI 663 estos picos de atenuación se encuentran con una separación igual a la longitud de la línea en derivación.

Por tal razón, en estas derivaciones se instalan circuitos llamados trampas para que la línea de transmisión pueda ser vista como una línea sencilla de dos terminales.

Figura 2. Derivaciones en líneas de alta tensión

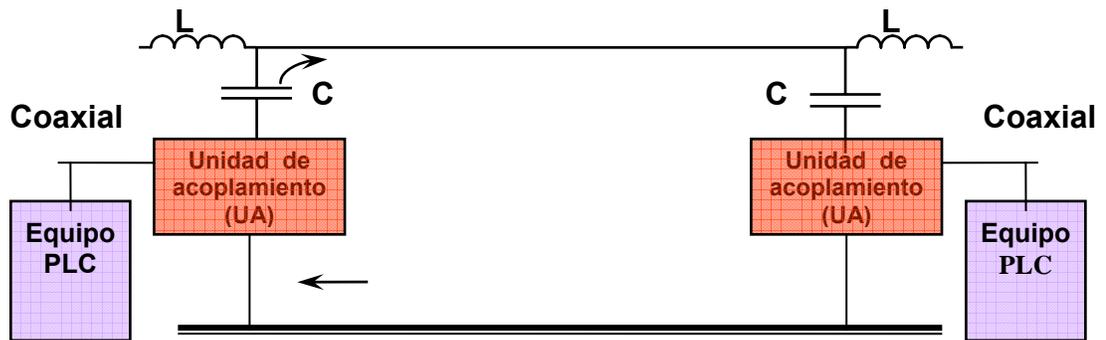


Acoplamiento: los acoplamientos de línea se fundamentan en la teoría modal, dicha teoría se fundamenta en el principio de que habrá tantos modos de propagación como conductores hallan en un sistema.

Existen dos maneras de acoplar las señales de datos o voz de un sistema PLC a la línea, fase tierra y fase fase.

En el primer caso, la señal entra a través del conductor de una fase y puede retornar por varias trayectorias dependiendo del nivel de resistencia de la tierra y de la configuración misma de la línea de potencia, no está demás mencionar que este método es el más comúnmente empleado.

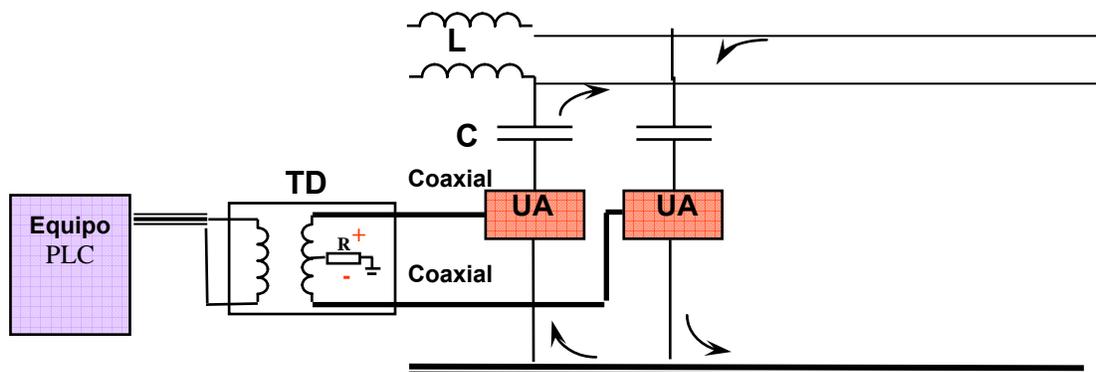
Figura 3. Acoplamiento fase tierra



En el segundo caso, la señal entra por un conductor de una fase y a diferencia del anterior, aquí si se define una trayectoria de retorno, dicho retorno queda especificado a otro alambre de fase, las pérdidas en este caso son generalmente menores que en el acoplamiento fase tierra, esto es debido a que la trayectoria de retorno generalmente tiene una resistividad baja, tal como la resistividad del cobre o el aluminio, otro beneficio de emplear este acoplamiento es que se reduce drásticamente la emisión de radiación electromagnética, cancelando parcialmente la posibilidad de que el conductor se comporte como antena dado que el espaciado entre fase y fase es limitado, contrario a lo que sucede en el acoplamiento fase-tierra, aún así no puede evitarse totalmente que escape radiación al exterior lo que permite obtener señal en cualquier

conductor que no este ligado directamente con los conductores que componen el circuito, aunque con una pérdida aproximada de 10 dB.

Figura 4. Acoplamiento fase fase e intercircuitos mediante transformador diferencial



Ruido: ruido es una señal ajena a las señales principales del sistema que ocasiona interferencia y distorsión de las señales. El ruido puede ser generado principalmente por efecto corona, descargas atmosféricas, averías a tierra, interferencia con emisoras de radio, maniobra en seccionadores e interruptores, el tipo generado por estos últimos es de tipo impulsivo.

Ruido por efecto corona: el efecto corona es un fenómeno que se presenta cuando existe una línea de alta tensión con un gradiente de potencial en su superficie, generado por un campo eléctrico lo suficientemente fuerte para atraer iones de polaridad opuesta acelerándolos de tal forma que se produzca una reacción en cadena y formando un flujo o corriente eléctrica constituida por iones presentes en el aire; normalmente considerado como un medio no conductor. Para los anchos de banda de los canales PLC el ruido generado por este efecto, se aproxima al ruido gaussiano blanco aditivo, su nivel depende del gradiente de tensión en la superficie de la línea, de las condiciones

ambientales, de la antigüedad de la línea y de la frecuencia, en general este efecto aumenta con la tensión de la línea y tiende a disminuir con la frecuencia.

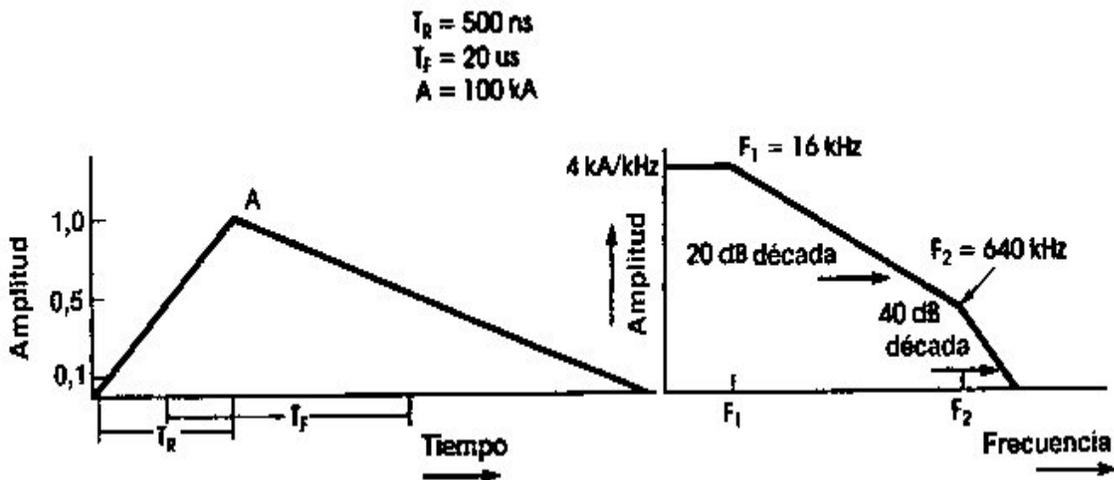
Este ruido se presenta de dos maneras; uno es el ruido adicionado a la portadora o ruido de portadora y el otro es el que se suma a la onda modulante o ruido modulante, este efecto altera la impedancia característica del conductor, al constituir una pérdida más de energía en la línea, lo que indica que provoca un aumento en la resistencia de la línea y ocasiona que las señales sean absorbidas de forma variable por la línea de potencia.

El ruido modulante forma parte de un grupo de ruidos que se presentan en las crestas positivas y negativas de la onda de potencia de 60 Hz Trifásico. El ruido modulante generado por el efecto corona no se ve disminuido al incrementar la potencia de los transmisores de señal ni al conseguir bajar la atenuación que sufre la señal en la línea de potencia. Sin embargo un incremento de potencia o una disminución de atenuación sí que tienen efecto en el ruido de la portadora.

Ruido por descargas atmosféricas: otro factor importante para el incremento de ruido en las líneas es el estado del tiempo; el clima puede alterar el nivel de ruido en la línea debido principalmente a descargas atmosféricas ó tormentas eléctricas, dichas tormentas pueden aumentar el factor de ruido existente en hasta por diez veces del valor que se tiene durante buen tiempo. Esto es debido a que en los primeros momentos de lluvia o llovizna después de un tiempo seco se deposita humedad en el aislador empolvado ocasionando que la conductividad y la el factor de fuga se incrementen considerablemente, posterior a esta llovizna la lluvia lava el polvo del aislador y el ruido decrece pero no al mismo nivel que antes de la lluvia.

Están también los relámpagos o descargas atmosféricas. Los relámpagos se producen a raíz de la acumulación de cargas estáticas en las nubes, que cuando llegan al punto de rompimiento del dieléctrico, rompen el aislamiento natural del aire resultando en chispas o flujo de cargas de gran magnitud, estos relámpagos pueden ser de múltiples descargas y ser de polaridad positiva o negativa respecto de la tierra. La forma de onda y espectro aceptado para un relámpago de 100 kA se muestra en la figura 5.

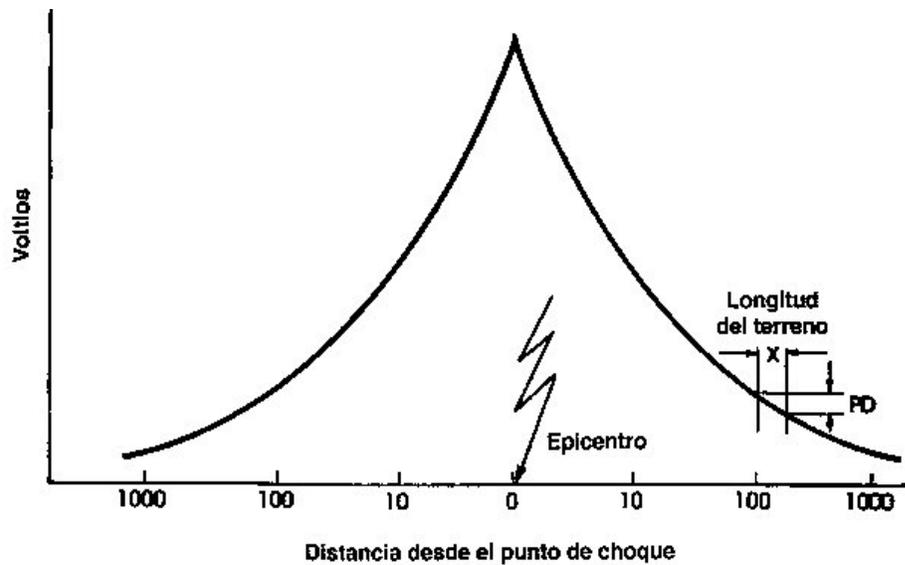
Figura 5. Forma de onda y espectro de los relámpagos



Fuente: Norman Ellis, *Interferencias eléctricas handbook*, Pág. 54

La descarga se disipa en el área de terreno que rodea al punto de choque, como el terreno tiene una conductividad propia se crea un potencial entre dos puntos cualquiera dentro de dicha área de impacto, este potencial se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Potencial del choque de un relámpago



Fuente: Norman Ellis, *Interferencias eléctricas handbook*, Pág. 55

En la que se mantiene la corriente y se asume una conductividad de 1 Mho. En esta figura puede observarse que existe un potencial apreciable, llamado potencial de tierra P_E entre dos puntos de tal forma que si dos sistemas están colocados una distancia x , y conectados para propósitos de comunicaciones, una señal de interferencia inducida por un relámpago será inyectada en el sistema, dicha señal viene dada por la siguiente ecuación.

$$P_E = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{D+x} \right)$$

Ecuación 1. Potencial de Tierra

Donde:

ρ = Resistividad del suelo

I = Corriente del choque
D = Distancia del punto de choque
x = Longitud del terreno

Las interferencias de una descarga son llamadas generalmente “Pulso Electromagnético de Relámpago” (LEMP). Los campos de dichos pulsos inducirán corrientes en cualquier material conductor a su alrededor, aparte del potencia de tierra. El campo magnético viene dado por la ecuación de Faraday.

$$H = \frac{I}{2\pi D} \left(\frac{A}{m} \right)$$

Ecuación 2. Ecuación de Faraday

Como la impedancia característica del espacio libre es de 377 Ohm, el campo eléctrico a cualquier distancia es:

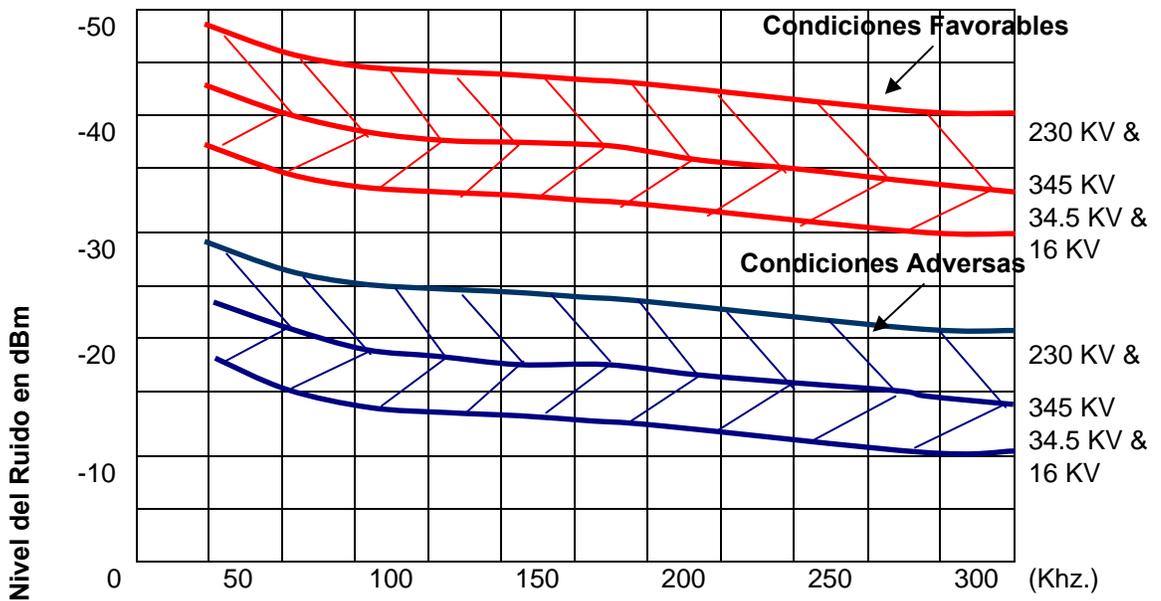
$$E = 377 \cdot H = \frac{377 I}{2\pi D} \left(\frac{V}{m} \right)$$

Ecuación 3. Ecuación de campo eléctrico

Las tormentas eléctricas y los relámpagos crean pues campos electromagnéticos bajo las capas ionizadas, cubriendo un amplio espectro de frecuencias. La fuerza de los campos eléctricos y magnéticos varía en función del año y de la ubicación geográfica.

La figura 7 indica el nivel de ruido en líneas de media y alta tensión operando en condiciones atmosféricas favorables y desfavorables.

Figura 7. Nivel de ruido contra frecuencia para distintos voltajes de operación



Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 19

1.1.2.2 Dispositivos de acoplamiento

Capacitores de acoplamiento: El capacitor de acoplamiento es el principal componente que permite realizar el acoplamiento eléctrico entre los equipos PLC y las líneas de alta tensión.

Los capacitores empleados en los primeros años del PLC fueron de aceite, posteriormente fueron hechos de tipo seco, con un buen número de unidades conectados en serie para atender a las proporciones de voltaje deseado, los capacitores contruidos de esta forma son mecánicamente sobrepuestos para alcanzar el aislamiento deseado para los distintos valores de voltaje.

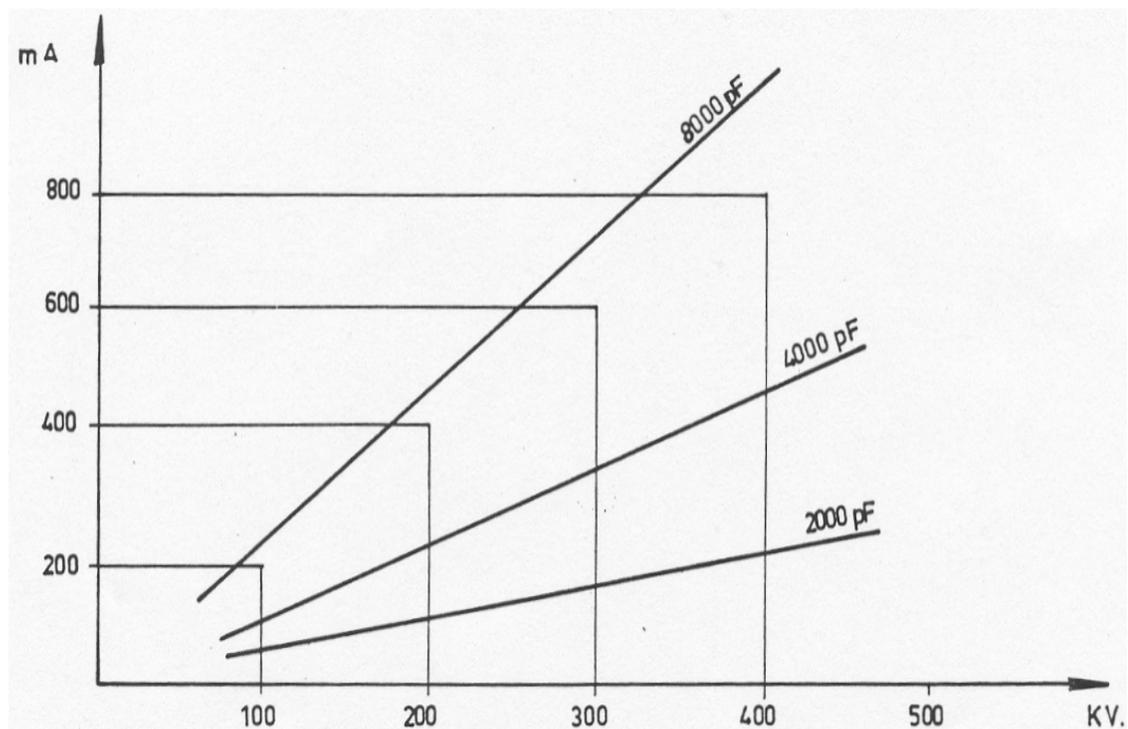
Son previstos para instalarse en continuidad con la línea, a la tensión máxima de trabajo que es igual a $\sqrt{3}$ del valor de la tensión máxima concatenada de línea.

Estos condensadores deben estar además dimensionados para soportar las sobre tensiones de tipo impulsivo y a frecuencia industrial que puedan presentarse durante la explotación, según la norma CEI 33-2. Debido a lo anterior estas normas prevén tensiones de prueba distintas a igual tensión máxima de trabajo; al menos para líneas con tensiones nominales superiores a 66 Kv.

Los valores capacitivos más empleados son: 2,000 y 4,000 pF y en algunos casos 8,000 y 10,000 pF, su elección depende principalmente de dos factores, lo económico y fundamentalmente de la anchura de banda y del valor más bajo de las frecuencias a transmitir.

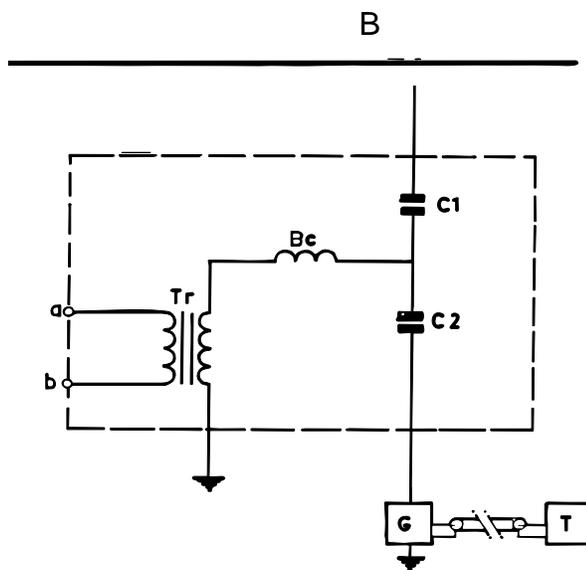
La figura 8, indica las corrientes que pueden drenar los distintos valores de condensador a la bobina de drenaje del dispositivo de acoplamiento (adaptador de impedancias)

Figura 8. Corriente en el capacitor de acoplamiento en función de la tensión de línea



En líneas de alta y muy alta tensión frecuentemente se emplean divisores capacitivos para la medida de tensiones; en estos casos, los mismos condensadores utilizados como divisores pueden ser empleados ventajosamente también para el acoplamiento a la línea de los equipos de PLC.

Figura 9. Esquema de principio del acoplamiento efectuado a través del divisor de tensión capacitivo



Donde:

C1 = Capacidad primaria

C2 = Capacidad secundaria

Bc = Bobina de compensación y de bloqueo a.F.

Tr = Transformador auxiliar

G = Grupo de acoplamiento

T = Terminal O. Portadoras

a-b = Regleta de medida

B = Bobina de bloqueo

Desde el punto de vista constructivo, los condensadores de acoplamiento están generalmente constituidos de varios elementos aislados de papel impregnado de aceite conectados en serie para obtener el valor deseado de tensión de trabajo.

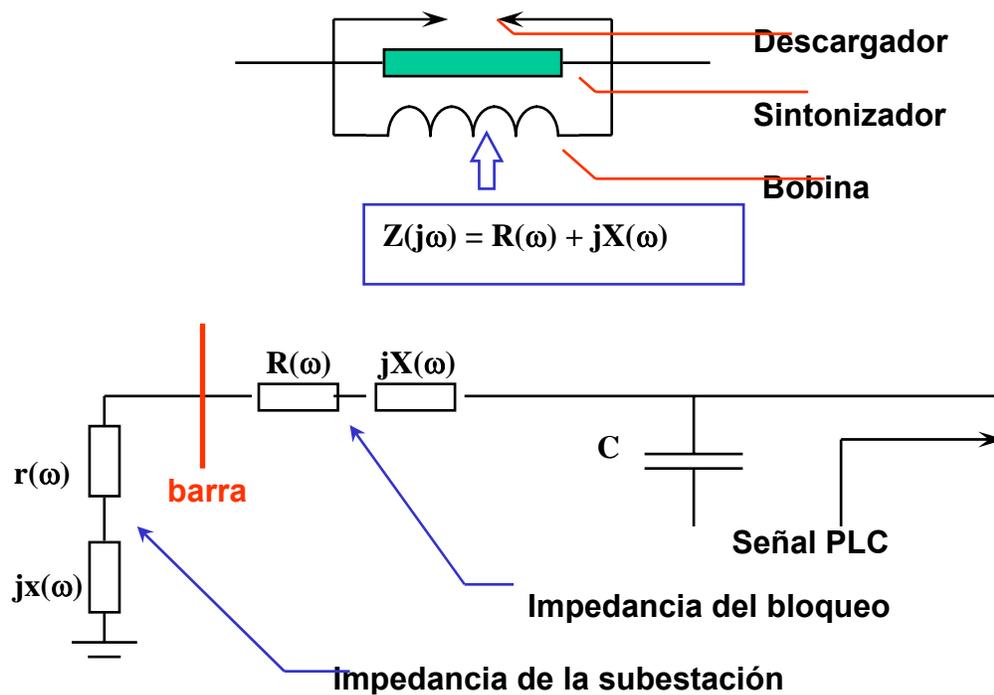
Mecánicamente están contruidos de forma que, se puedan instalar a la intemperie y además, resistir la acción directa de los rayos solares, con bruscos cambios de temperatura (entre -25° C y $+40^{\circ}$ C), lluvia, viento, escarcha y formación de hielo.

Los condensadores para las tensiones bajas están generalmente previstos para el montaje suspendido, mientras que los de las tensiones más elevadas se prevén para montaje apoyado; en tal caso, está mecánicamente previsto el modo de poder fijar la bobina sobre la parte superior del condensador.

1.1.2.3 Dispositivos de bloqueo

Generalmente conforman un circuito resonante paralelo que es colocado en serie con un dispositivo de baja impedancia, una barra o sección de línea de tal modo que la porción del circuito presentara una impedancia alta a la señal del sistema PLC a fin de que esta pueda inyectarse a la red eléctrica sin percibir una atenuación fuerte debido a la baja impedancia de los circuitos de eléctricos, independizando de esta manera el funcionamiento del enlace PLC de la impedancia que pueda presentar la subestación, a la vez que debe permitir el paso de la corriente de 60 Hz con las mínimas pérdidas posibles, garantizando que la línea de alta tensión se comporte como una línea de transmisión para ambas señales, este trabajo es básicamente desarrollado por una bobina llamada bobina de bloqueo.

Figura 10. Dispositivos de bloqueo



Considerando además que a ciertas frecuencias el sistema puede entrar en resonancia, que es el peor de los casos, las partes reactivas de las impedancias de bloqueo y de la subestación pueden cancelarse.

Para evitar estos casos el circuito de bloqueo cuenta con un sintonizador cuya misión es hacer que la parte resistiva de la impedancia de bloqueo sea lo más alta posible.

La recomendación de CEI 353 establece que las pérdidas máximas que un dispositivo de bloque puede introducir son 2.6 dB lo cual corresponde a una impedancia de bloqueo 1.41 veces la impedancia característica de la línea.

Estas pérdidas introducidas por los dispositivos de bloqueo debidas a la impedancia finita que presentan a la frecuencia de trabajo, indican el valor de un parámetro llamado **Eficacia del bloqueo** que también es una medida de la magnitud de la impedancia del dispositivo de bloqueo.

Estos elementos de bloqueo son usados también para proveer aislamiento en las frecuencias portadoras deseadas, entre las líneas de transmisión y los interruptores del circuito, transformadores y equipo similar localizado en estaciones generadoras o sub-estaciones y otras líneas de transmisión terminando en las puntas. De esta forma si ocurre una falla en cualquier equipo de la estación o sobre otra línea, las señales portadoras no se disipan en la falla.

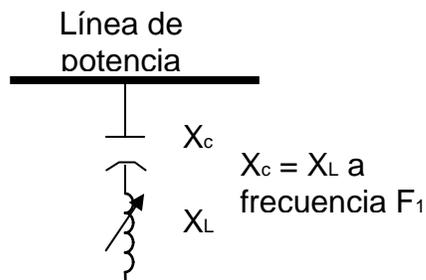
Sin embargo debe mantenerse cierta precaución para que estos circuitos no confinen la señal simplemente a una sección de la línea en particular, lo cual causaría que no se pudieran prevenir interferencias en alguna sección de la línea adyacente.

Sintonizador: es un circuito resonante que permite seleccionar una frecuencia deseada dentro del espectro de frecuencias. Para analizar el funcionamiento de este circuito vale reducirlo al aspecto de sintonización de frecuencia simple.

Como se discutió previamente el capacitor de bloqueo o de acoplamiento tiene como propósito acoplar la señal portadora por encima y fuera de la línea, pero también introduce una reactancia capacitiva en la trayectoria de la señal. Para tener un acoplamiento eficiente de la señal portadora, esta reactancia debe ser sintonizada de manera que presente una carga resistiva a un

transmisor de portadora. Para sintonizar el capacitor de bloqueo o acoplo se usa un inductor serie ajustable.

Figura 11. Sintonizador con inductor ajustable



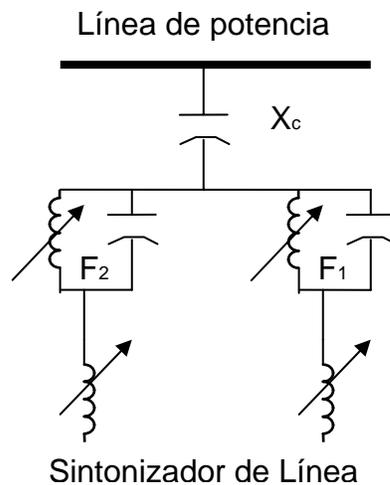
Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 13

Este inductor está sintonizado de manera tal que su reactancia inductiva sea igual a la reactancia capacitiva, obteniéndose de este modo un circuito resonante serie, ajustado o sintonizado a la frecuencia de la señal portadora deseada.

En dicho circuito resonante X_L es igual a X_c y las dos reactancias están desfasadas 180° , por lo tanto en la resonancia se cancela uno a otro, resultando en una impedancia resistiva muy baja.

El circuito resonante descrito funciona muy bien o es adecuado para el acoplamiento de una sola frecuencia a la línea. Para acoplar dos frecuencias, el sintonizador debe alterarse con la adición de un segundo circuito.

Figura 12. Sintonizador para 2 frecuencias



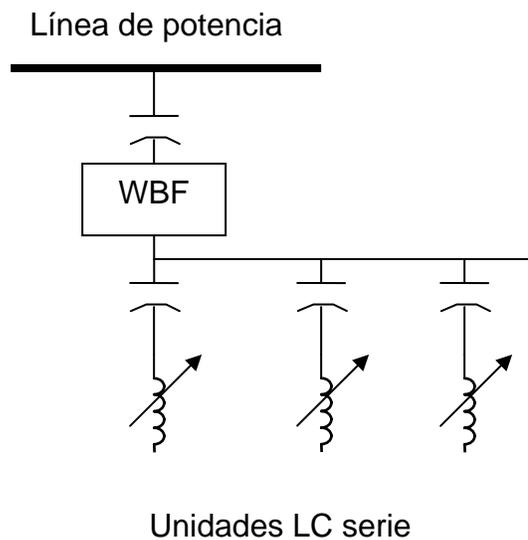
Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 13

En esta aplicación las unidades de acoplamiento son insertadas en cada trayectoria para botar todo excepto la frecuencia que corresponde a la frecuencia de la portadora.

Para más de dos pasos de resonancia la complejidad es más considerable, las pérdidas crecen y la economía es desfavorable. Como el sintonizador de banda ancha generalmente se usa cuando mas de dos grupos de frecuencias deben ser acoplados, cuando se requieren más de dos canales portadores para usar el mismo capacitor de acoplo, la línea resonante

sintonizada de la unidad sintonizadora puede ser reemplazada ya sea por un fijo o un filtro sintonizable de banda ancha.

Figura 13. Sintonizador con filtro de banda ancha

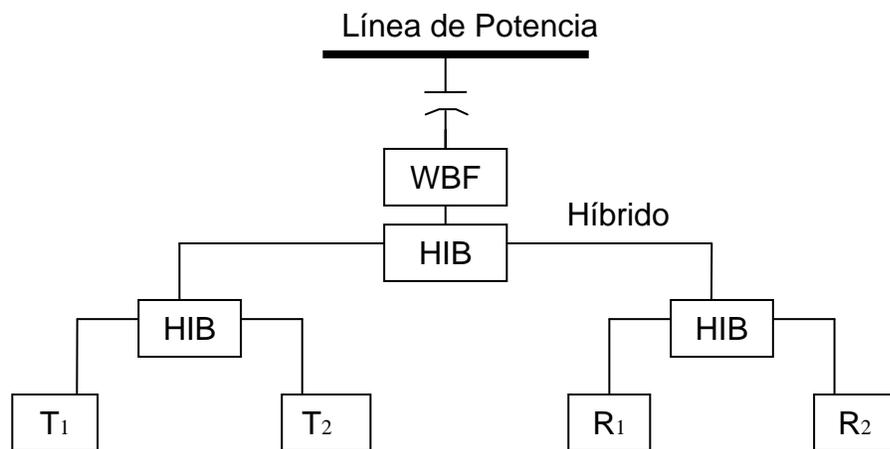


Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 13

La figura 13, muestra la aplicación del filtro de banda ancha, este filtro también provee una impedancia de igualación entre la línea y el equipo terminal pero no provee ningún medio inherente de separación o aislamiento de canales múltiples que puedan conectarse a él. Para proveer la separación requerida se utilizan unidades serie L/C, RF híbridos o filtros.

Los híbridos son usados para reducir problemas tales como la intermodulación que causa interferencia en el receptor y cargas en paralelo de los transmisores, estos generalmente se usan cuando dos o más frecuencias son acopladas a una línea

Figura 14. Sintonizador híbrido



Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemedida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 13

Ventajas de la sintonización híbrida de banda ancha:

- Previenen la interferencia de los transmisores terminales con los receptores asociados, permitiendo así un aumento de sensibilidad en los receptores.
- Reducen los productos de intermodulación capaces de causar interferencias en los receptores, beneficiando con ello la sensibilidad de los receptores.

- Aumentan la potencia de la señal entregada a la línea por el transmisor, evitando cargar el transmisor con combinaciones en paralelo.
- Proveen el máximo de rechazo a una banda de frecuencias mínimas de espaciamento.

Cabe mencionar además el transformador de acoplamiento de impedancia, este transformador sirve el propósito de igualar la impedancia baja del equipos PLC aprox. 50 Ohms a la impedancia característica de la línea de transmisión generalmente en el rango de 400 a 500 Ohms, para tener un ajuste exacto estos transformadores se proveen con tap central que permite variar las impedancias para un ajuste adecuado.

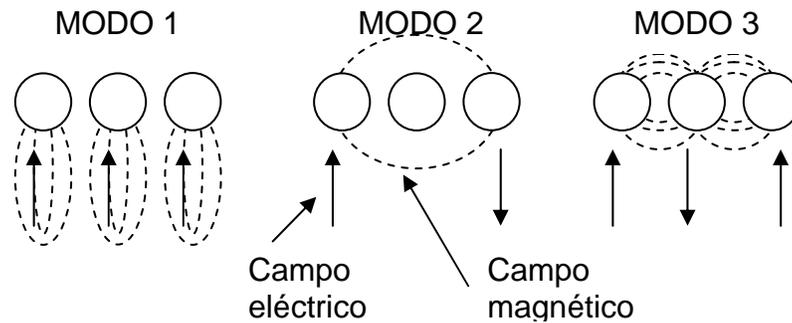
1.1.2.4 Sistemas de acoplamiento

Como vimos anteriormente, para acoplar la señal PLC a un sistema de transmisión de energía existen dos formas acoplamiento fase tierra, y acoplamiento fase-fase, ambos sistemas de acoplamiento se mencionaron como factores influyentes en la atenuación de la señal PLC en el sistema eléctrico, dado que todo esta estrechamente relacionado.

Las formas de acoplar una señal PLC a un sistema se rige bajo la estimación del modo de propagación de la onda dentro del circuito. Esto es porque los modos de propagación no pueden predecirse de manera exacta, es decir, en un sistema trifásico donde el acoplamiento puede ser fase fase, todas las fases están involucradas independientemente de las fases donde se acopla el sistema.

Este efecto se describe mediante la teoría modal, esta teoría es fundada en el principio de que habrá tantos modos de propagación como conductores halla en un sistema, por tal motivo un circuito simple de potencia trifásico sin transposición, tendrá tres modos naturales de propagación.

Figura 15. Modos naturales de propagación



Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 12

Tomando este caso simple de un circuito sin transposiciones, el modo tres tiene la atenuación más baja de todos, el modo dos es más alto que el tres aproximadamente 6 veces la atenuación del modo tres, mientras que el modo uno presenta una atenuación considerablemente muy alta aproximadamente cien veces la atenuación del modo tres.

La atenuación en el modo uno es tan alta debido a que; la señal tiene que regresar por tierra.

La atenuación en el modo dos es en parte mas alta que en el modo uno debido a que; el campo eléctrico entre dos conductores encadena la tierra mucho más que el campo eléctrico en el modo tres.

Entonces; independientemente de cómo se acople la señal PLC al sistema o línea de transmisión de potencia, las señales se ajustarán por sí mismas a una combinación de los modos dos y tres. El modo uno se atenúa tan rápido que resulta insignificante.

Para una línea con transposiciones estos modos naturales de propagación se distorsionan con cada transposición y se mantienen acomodándose a si mismos constantemente, perturbándose nuevamente en la siguiente transposición, al final el resultado sigue siendo la combinación de los modos 2 y 3.

Tabla I. Comparación formas de acoplamiento

ACOPLAMIENTO	EQUIPAMIENTO	ATENUACION
FASE TIERRA	MÍNIMO	MAYOR
FASE FASE	DOBLE DE FASE TIERRA	MENOR
TRIFÁSICO	MÁXIMO	SIMILAR A FASE FASE

1.1.2.5 Equipos terminales

Existen dos tipos de equipos PLC, los equipos analógicos y los equipos digitales, la diferencia entre ambos equipos es básicamente el tipo y forma de modulación de la señal.

De tal manera que las ventajas y facilidades que tenga un tipo de equipo sobre el otro depende de la modulación.

Modulación: alteración sistemática de una señal denominada portadora de acuerdo con la señal que se desee transmitir, llamando a esta última señal moduladora.

Los motivos para modular una señal son:

- Adecuar la señal mensaje a las características del canal
- Reducción de ruido e interferencias
- Utilización eficiente del espectro de frecuencias
- Aumento de la cantidad de información a transmitir sobre un canal

Tipos de modulación analógicas

Lineales

- AM: Modulación de amplitud
- DBL: Modulación de doble banda lateral
- BLU: Modulación de banda lateral única.

Angulares

- FM: Modulación de frecuencia
- PM: Modulación de fase

De pulsos

- PAM: Modulación de amplitud de pulsos
- PDM: Modulación de duración de pulsos
- PPM: Modulación de posición de pulsos

Por Codificación de pulsos

- PCM: Modulación por codificación de pulsos
- DM: Modulación Delta
- DPCM: Modulación por codificación de pulsos diferencial.

Tipos de modulación digital

- De Banda Base: G.703 por ejemplo
- ASK: *Amplitude Shift Keying*
- FSK: *Frequency Shift Keying*
- PSK: *Phase Shift Keying*
- QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*

Las ventajas y facilidades de la modulación digital sobre la analógica presentan son entre otras: codificación de las señales, lo que reduce los efectos del ruido y de las interferencias, almacenamiento de información en memorias digitales, regeneración de la información entre equipos de transmisión, compresión de datos, corrección de errores utilización eficiente del ancho de

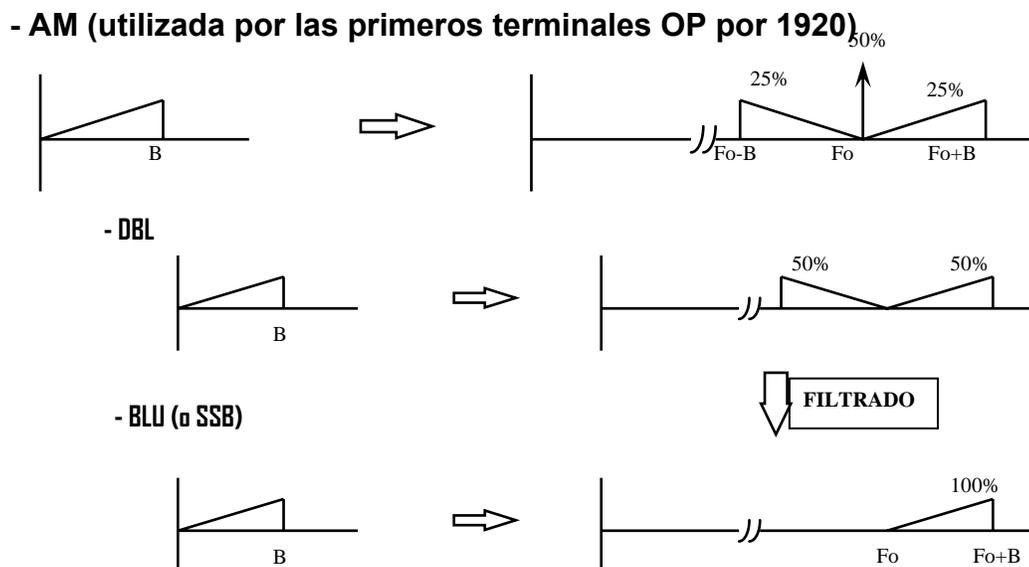
banda y de la potencia de los equipos, mientras que la modulación analógica únicamente modula una señal portadora.

Equipos analógicos

Los primeros equipos terminales PLC fueron analógicos y se emplearon por primera vez en 1920, estos equipos procesaban la información mediante modulación AM.

Posteriormente fueron empleados equipos con Modulación de Banda Lateral Única BLU o SSB, esta modulación es más eficiente en frecuencia y potencia, para efectos prácticos consiste en trasladar frecuencialmente la banda base a la frecuencia de trabajo.

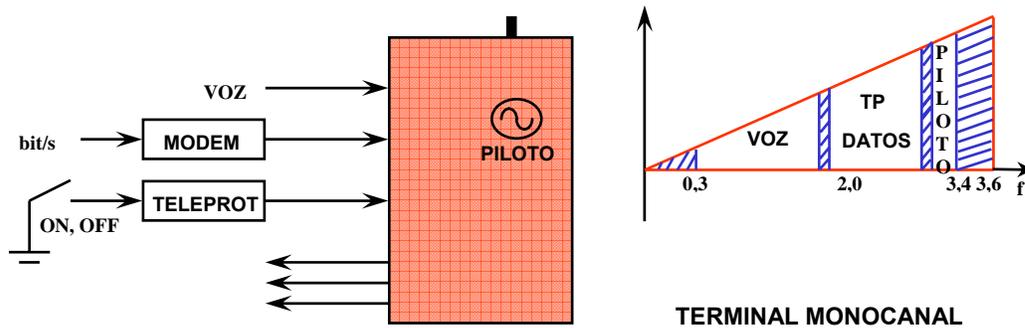
Figura 16. Diagramas espectrales de frecuencia



Estos equipos terminales están hechos de tal forma que la información o canales de información que acceden al terminal son analógicos, aunque el proceso que realiza el terminal puede ser analógico o digital.

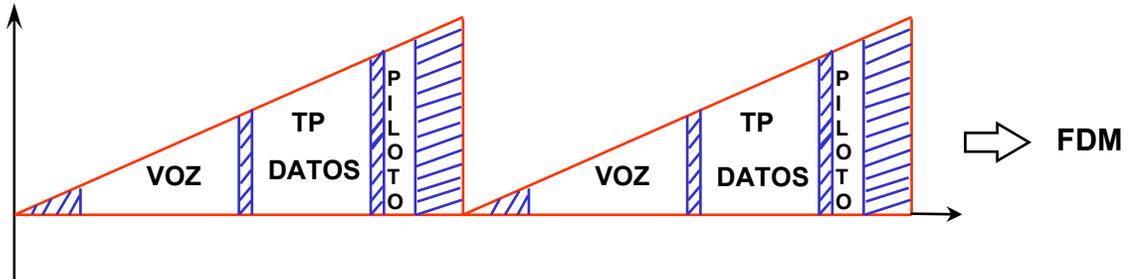
El ancho de banda *habitual* empleado por cada canal es de 4 KHz., aunque algunos países utilizan canales de 2.5 KHz.

Figura 17. Equipo terminal análogo y división del ancho de banda



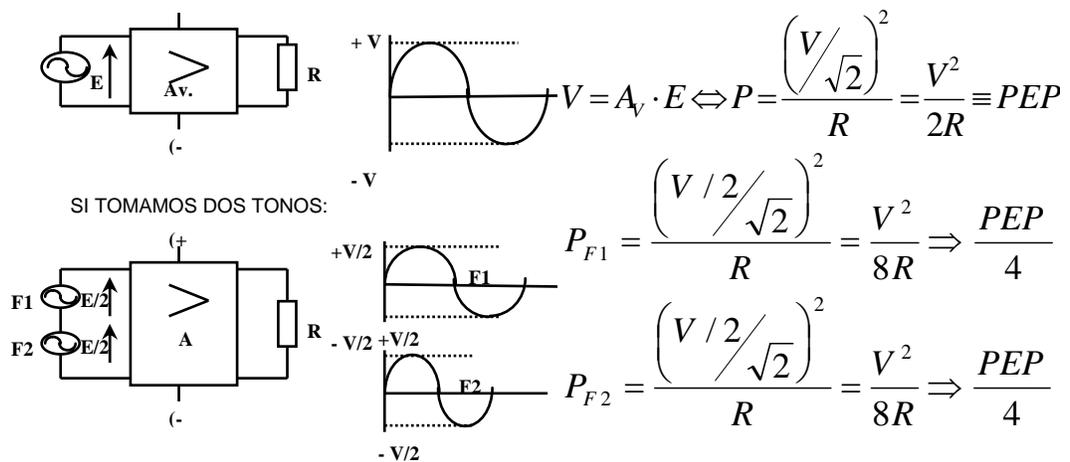
Dentro de este conjunto de equipos terminales, se encuentran además los terminales de doble canal.

Figura 18. Ancho de banda en terminal doble canal con modulación FDM



Estas terminales a diferencia de los equipos de canal simple, comparten la misma fuente de alimentación y la etapa de salida, mientras que la potencia disponible para canal es una cuarta parte de la potencia pico a pico de la señal.

Figura 19. Potencia pico a pico (PEP) para equipos mono y bi canales



En terminales bicanales la potencia disponible por canal es un cuarto de la PEP.

Las potencias disponibles para los equipos terminales analógicos son: 5, 2, 40 y 80 W. Se dividen en dos tipos de terminales:

Equipos digitales

La información o canales de información que acceden a estas terminales son digitales.

Estos equipos están principalmente enfocados para ISDN, y pueden verse como un módem de alta velocidad.

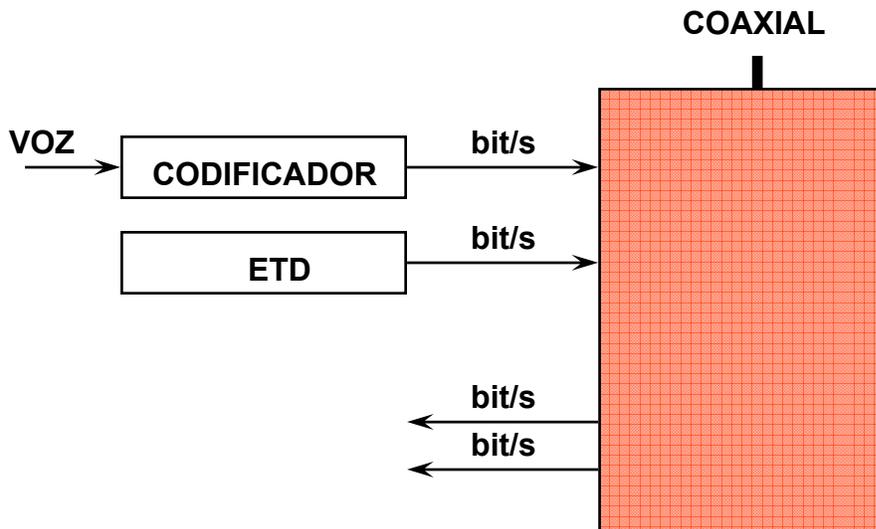
A fin de aumentar su flexibilidad normalmente incorporan multiplexores y módulos de tele protección.

Satisfacen la necesidad de incrementar el número de canales de comunicación, mediante el empleo de técnicas de modulación y procesado digital de la señal lo que permite transmitir 81 *kbit/s* en una banda de 16 Khz., con una remarcable inmunidad frente a los ruidos e interferencias característicos de las líneas de alta tensión.

De estos 81 *kbit/s* sólo 2 *kbit/s* están reservados para señalización, y supervisión del terminal remoto, quedando 79 *kbit/s* restantes a disposición del usuario para la transmisión de canales de datos y voz comprimidos generalmente a través de un multiplexor interno de hasta 11 puertos.

Además son equipos completamente programables.

Figura 20. Equipo terminal digital



Margen de frecuencias utilizado por los sistemas PLC

Las frecuencias en el rango de 30 – 500 Khz., se emplean para portadora de línea de potencia, ya que a ese rango de frecuencias se aísla de la frecuencia de 60 Hz de la portadora de potencia, y del ruido que esta produce. Las frecuencias menores de 30 Khz. no son viables por perdidas de eficiencia en los dispositivos de bloqueo y por limitaciones en los elementos de acoplamiento.

Las frecuencias superiores a 500 Khz., no son viables por pérdidas debidas a radiación, ya que la línea se comporta como una antena, por interferencias de emisoras de onda larga, y por perdidas en los conductores de la línea de alta tensión.

1.2 Aplicaciones del PLC en telemedida

En los modernos sistemas de potencia es necesario que el Centro de Control cuente con la medición de cada una de las estaciones más importantes, y por lo tanto, es necesario que estas le transmitan su respectiva medición y ha esto se le llama telemedida. Esta transmisión de datos o telemedida requiere de un canal de comunicaciones fiable.

Este canal de comunicaciones puede ser provisto por un sistema PLC, bajo el cumplimiento de algunos requisitos y factores que deben tenerse en cuenta, para la transmisión de la información mediante PLC u onda portadora.

Hay una gama de requisitos que deben de llenar los equipos de un sistema PLC, pero la característica más importante es la selectividad de los receptores, deben de considerarse además las características individuales de cada equipo, las del conjunto transmisor-receptor y al mismo tiempo las de los circuitos de acoplamiento y transmisión asociados, y poder determinar así el rendimiento total en cualquier aplicación.

Al igual que cualquier otro sistema de comunicaciones el parámetro más importante a considerar en un sistema PLC es la relación señal-ruido o SNR en el receptor.

El SNR es medido o expresado en decibeles o simplemente dB, y esto no es más que la diferencia logarítmica entre el valor de la señal en el punto receptor y el nivel de ruido de la línea.

La atenuación del canal por otro lado, es la diferencia entre el nivel de señal transmitido y el valor de la señal en el punto de recibo.

Los valores máximos y mínimos de ambos parámetros respectivamente, a los cuales los equipos tienen un rendimiento satisfactorio, depende de las características particulares de cada equipo.

En el caso del SNR mínimo este dato se determina por medición del SNR cuando el ruido blanco está justamente debajo del punto que causa falsa operación del equipo, el nivel de ruido blanco es medido sobre un ancho de banda de 3 KHz.

Para tener un valor aceptable de SNR es importante que el diseño cumpla con las siguientes características:

- El uso apropiado de trampas de línea, considerando incluso el uso de repetidoras, a fin de mantener un SNR aceptable.
- El espaciamiento de las frecuencias de operación es muy importante, ya que debe optimizarse la utilización del espectro de frecuencia, además de la prevención de las interferencias.
- Cuando se acoplan varios transmisores a un mismo punto, debe mantenerse un espaciamiento mínimo para evitar distorsiones e intermodulaciones, en las salidas de los transmisores.

1.2.1 Factores influyentes en relación señal - ruido

A fin de garantizar una buena relación señal – ruido o SNR es necesario tener previamente información de tres parámetros que son:

- Potencia efectiva transmitida
- Trayectoria de atenuación
- Ruido de línea

1.2.1.1 Potencia efectiva radiada

Cuando el equipo es diseñado para una sola función, el nivel de potencia efectiva es simplemente la salida total en vatios.

Para un equipo con varios canales o de funciones múltiples cada tipo de información transmitida causa modulación de portadora y contribuye a una parte de la señal portadora.

Con el objeto de prevenir las sobremodulaciones y/o distorsiones resultantes, las entradas combinadas, no deben causar una señal de voltaje, mas allá de los valores del equipo.

Tabla II. Potencia efectiva radiada para un número de canales de voz y datos

Número de Canales de Voz	Número de tonos telemetría	Potencia efectiva (dBm)
1	0	37

2	0	32
3	0	28
4	0	26
1	6	29
2	6	26
3	6	24
4	6	23
2	12	23
3	12	22
4	12	21
3	18	20
4	18	19
4	24	17

Fuente: Carlos Francisco Padilla White, **Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia**, Pág. 29

La tabla II, muestra la potencia efectiva, usada para estimar el rango de operación para voz y otras señales en aplicaciones típicas, tomando como base un transmisor con salida de 20 vatios.

1.2.1.2 Trayectoria de atenuación

La atenuación total de la trayectoria es la suma de todas las pérdidas de frecuencia portadora entre el transmisor y el receptor, estas pérdidas son:

- Atenuación de línea, es la pérdida por atenuación en la línea tanto para condiciones de clima favorables como desfavorables.

La atenuación de la línea esta en función de variables tales como: frecuencia, tipo de construcción de la línea, voltaje, tamaño del conductor, alambres neutros, métodos de acoplo, transposiciones de línea y condiciones climáticas

- Pérdidas de acoplamiento y paralelo, la pérdida de acoplo es debida a la componente resistiva de el sintonizador y capacitor de acoplamiento y es

una función de la frecuencia, diseño, impedancia característica de la línea y del tamaño del capacitor de acoplamiento, todas estas variables determinan además el ancho de banda, para efectos de estimación pueden considerarse 3 dB.

Las pérdidas por paralelo, se conforman por las trayectorias de fuga a tierra y es una función de la impedancia de la trampa de línea, estas pérdidas varían de 1 a 3 dB, por terminal.

1.3 Aplicaciones del PLC en telecontrol

De igual forma que el centro de mando de una red eléctrica necesita tener datos en tiempo real de las medidas de las distintas variables de sus principales centros, así también es importante que en un sistema de potencia el centro de mando programe los distintos eventos u operaciones necesarias que deben cumplir los centros o subestaciones más importantes. Esencialmente esto último es el objetivo del telemando o telecontrol, que no es más que el envío de instrucciones desde el centro de mando hacia las distintas subestaciones, para que las operaciones programadas sean ejecutadas, de forma remota, así pues existe una relación estrecha entre la telemida y el telecontrol, pues la información obtenida con la telemida es utilizada para tomar decisiones que garanticen la continuidad del servicio.

Dado que las condiciones más importantes para la transmisión de datos, fueron consideradas previamente, queda únicamente comentar algunas características importantes y distintivas del telecontrol.

1.3.1 Telecontrol por tonos

Es un sistema de control remoto mediante la transmisión de tonos codificados. El sistema consiste en cuatro tonos que corresponden a igual número de relevadores y cada tono corresponde al estado de los contactos del relevador y a la clase de contacto, mezclando en distintas formas estos tonos pueden lograrse diversidad de operaciones tales como arrancar motores o pararlos, abrir circuitos, botar carga, etc.

Para generar estos tonos codificados se usa una consola de control la cual es capaz de controlar selectivamente cuatro funciones de control. Cuando se oprime el botón de la consola esta suministra una señal clave al transmisor PLC y seguidamente los tonos son aplicados al mismo, este los envía al sistema. Cuando el primer tono es detectado en el receptor el proceso de decodificación se inicia y cuando se ha decodificado el cuarto tono la operación se realiza.

La tabla III, muestra los códigos de tono y las frecuencias asociadas a ellos.

Tabla III. Frecuencias de tono y número de código

Número	Código Tono	Frecuencia (Hz)	Número	Código Tono	Frecuencia (Hz)
1	135	245.1	15	142	358.6
2	105	251.9	16	112	368.5
3	136	258.8	17	143	378.6
4	106	266.0	18	113	389.0
5	137	273.3	19	144	399.8
6	107	280.8	20	114	410.8
7	138	288.5	21	145	422.1
8	108	296.5	22	115	433.7
9	139	304.7	23	146	445.7
10	109	313.0	24	116	457.8
11	140	321.7	25	147	470.5
12	110	330.5	26	117	483.5
13	141	339.6	27	148	496.8
14	111	341.0	28	118	510.5

Fuente:
Adaptada,
Carlos
Francisco
Padilla
White,
**Telemedi
da,
telecontro
l y
aspectos
de
protección
en un
sistema
con
portadora
de línea
de**

potencia, Pág. 38

2. DIGITAL POWER LINE CARRIER

Digital Power Line Carrier, no es más que la optimización de las técnicas desarrolladas en los primeros años del PLC o *Power Line Carrier*, con la adición de nuevos concepto y tecnologías desarrolladas en los últimos años.

De lo anterior, se obtiene una nueva tecnología que se ha bautizado con el nombre *Digital Power Line Carrier* (DPLC por sus siglas en inglés) o *Power*

Line Communications (PLC por sus siglas en ingles), esta tecnología permite tener un acceso de banda ancha para transmisión de información sobre la red eléctrica de media y baja tensión.

Digital Power Line Carrier ó *Power Line Communications* es la segunda generación de los sistemas PLC, del siglo pasado, esta nueva generación tiene muchas ventajas más sobre su predecesor, tales como: transmisión de datos a mayor velocidad, mayor ancho de banda, corrección de errores, modulación y asignación de frecuencia dinámica, uso de protocolos de comunicación actuales, además de tener una orientación distinta en torno a su aplicación, la cual no se limita únicamente a satisfacer las necesidades de telecomunicación de las empresas eléctricas, sino que, se extiende al mercado del consumidor final común y corriente, que necesite conectarse a una red telemática, ya sea privada o pública. (Para efectos prácticos se menciona a la red telemática como una red general que soporta diversos servicios, que van desde la transmisión de voz hasta la transmisión de video digital).

Para lograr todo esto, hubo necesidad de hacer un cambio radical en las frecuencias de operación, tuvo que dejarse atrás las frecuencias que iban desde 30 Khz. hasta 500 Khz. por frecuencias mas altas que van desde 1 Mhz. hasta 30 Mhz., a pesar de los problemas de radiación y perdidas en la línea que conlleva emplear dicho rango de frecuencias, Sin embargo, estos problemas son contrarrestados con nuevas formas de modulación que permiten la explotación de la línea de potencia para la transmisión de datos.

No obstante, de tener estas ventajas *Digital Power Line Carrier* mantiene unas y otras mas de las desventajas importantes que el PLC presentaba, tales

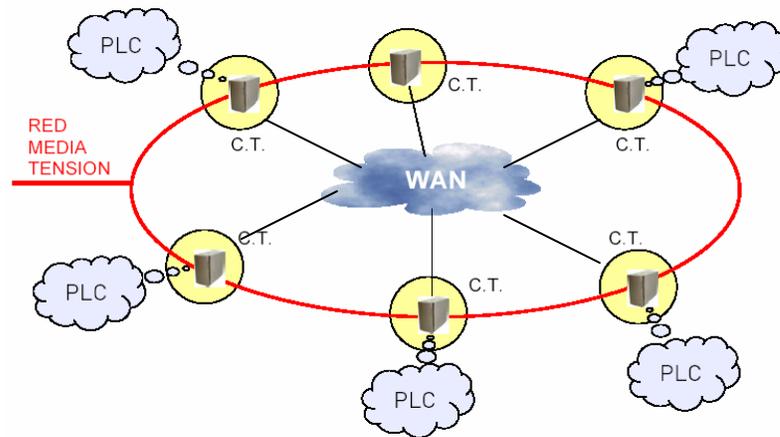
como: susceptibilidad al ruido, dependencia del status de las instalaciones, y un mayor equipamiento.

También varía su esquema de conexión, es decir; el Power Line Carrier, empleaba las líneas de alta tensión como red troncal, interconectando las diversas subestaciones eléctricas, las cuales para fines de telecomunicación podrían interpretarse como equipos terminales de datos ó DTE's.

2.1 Arquitectura de redes *Digital Power Line Carrier*

La arquitectura de una red PLC, en general es como se observa en la figura 21.

Figura 21. Arquitectura de red PLC



Como puede verse en la figura 21, existen dos tipos de redes que soportan las redes DPLC, por un lado, una red de área amplia (WAN por sus siglas en inglés), basada en cualquier tipo de servicio que permita la transmisión de datos, tal como *SDH*; *SONET*; *ATM*, *FRAME RELAY*; *X-25*, *SMDS* entre otros.

Esta red WAN interconecta en cada subestación de media tensión a los equipos módem de cabecera o *Head End* (HE), equipamiento que controla todas las unidades DPLC del sistema.

En el otro extremo esta la red de potencia, la cual conforma el enlace última milla; el punto de intersección entre ambas redes es el módem de cabecera o HE.

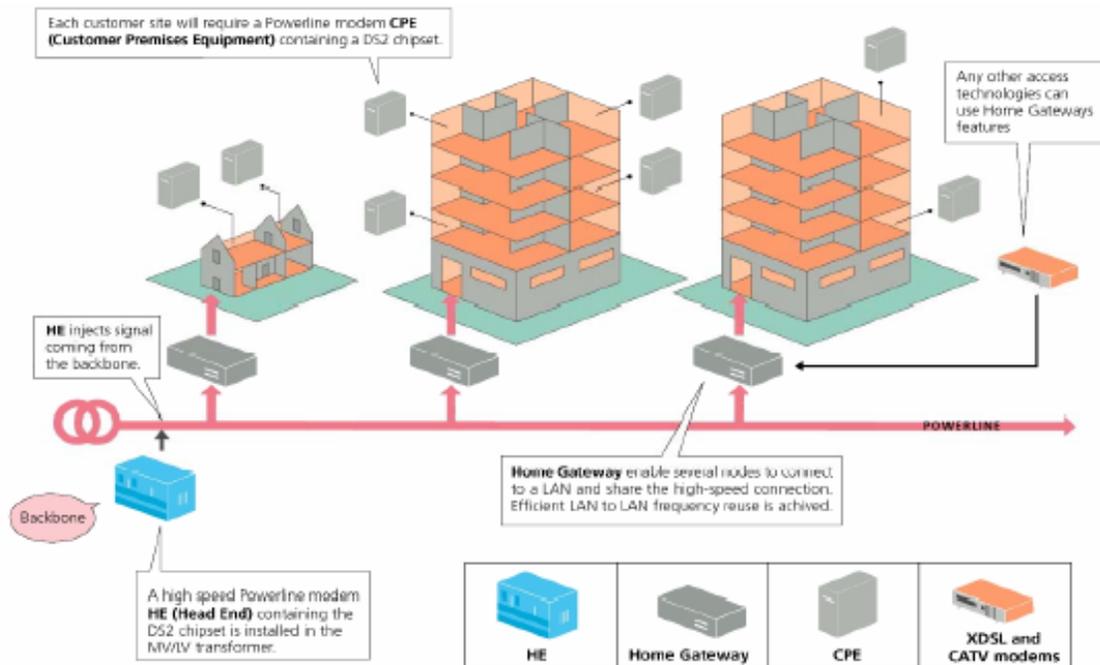
El HE, es el equivalente a una puerta de entrada para los datos hacia la red de potencia, este equipamiento acondiciona la línea de distribución, de media tensión para que soporte tasas de transferencias de datos que pueden ir desde los 2 Mbps, hasta los 45 Mbps, dependiendo de la longitud de la línea,

blindaje de la línea, y otros. Posteriormente a este equipamiento, en cada transformador de media a baja tensión se ubica un repetidor o *Home Gateway* (HG), que amplifica la señal proveniente del HE, a la vez que acondiciona las acometidas eléctricas que alimentan los hogares, y la red de baja tensión de las casas, hasta llegar a cualquier tomacorriente para que soporten tasas de transferencias que van desde 2 Mbps hasta 45 Mbps, dependiendo de las condiciones de las líneas y de la red interna, convirtiendo prácticamente a cualquier tomacorriente en un punto de acceso a la red WAN.

Finalmente, para que cualquier ordenador dentro del hogar pueda conectarse a la red WAN, mediante DPLC, debe utilizar un módem de usuario, o *Customer Premises Equipment* (CPE) el cual por un lado posee interfaces de tipo *Ethernet*, USB (*Universal Serial Bus*), RJ-11, para conexión a la computadora y por el otro un enchufe convencional, que permite a la computadora tomar su alimentación eléctrica de la red de potencia, a la vez que le permite conectarse a la red WAN. En general en un hogar pueden haber varias computadoras interconectadas todas vía DPLC, mediante CPE, y todos estos con un HG en común, de la misma manera pueden haber varios hogares alimentados de un transformador de media a baja tensión, con computadoras conectadas a la red vía DPLC, teniendo a un HG como punto de distribución de señal.

La figura 22 muestra una topología de red PLC, integrando los distintos elementos del sistema.

Figura 22. Topología de red PLC



Fuente: DS2, **DS2 technology description design of systems on silicon**, Pág. 1

2.2 Red de transporte

Las redes de transporte de datos, tienen como tarea principal proporcionar, un medio confiable y eficaz, para el traslado de datos entre una estación y otra, independientemente de las redes físicas en uso, De tal manera que una red de transporte puede interpretarse, como una red capaz de interconectar distintas sub-redes o redes LAN (*Local área Network*), mediante el uso de un medio con una alta capacidad de transmisión, llamado "*Backbone*" o troncal.

2.2.1 Redes de área amplia

Una red de área amplia o WAN, abarca zonas geográficas dispersas ya sea dentro de un mismo país o fuera de él, contiene diversidad de equipamiento, tal como equipo de multiplexión, de conmutación o cross-

conexión, de enrutamiento, e inclusive diversas estaciones dedicadas a ejecutar programas de usuario ó de aplicación, entre ellas la consola de monitoreo de red o gestión de red, así como una base de datos en la que se guardan, los distintos circuitos que interconectan las sub-redes y sus respectivas rutas de envío de datos.

En una red WAN, existen dos elementos distintos por los cuales atraviesan los datos: Las línea de transmisión y los elementos de conmutación.

Las líneas de transmisión también son llamadas, circuitos o troncales físicas, de igual manera existen circuitos o troncales virtuales, los cuales no establecen rutas físicas, si no, rutas virtuales dentro de la red, que al igual, que, las rutas físicas mueven *bits* de una estación a otra.

Los elementos de conmutación son computadoras especializadas que conectan dos o más líneas de transmisión, estos equipos siempre se encuentran en los nodos de la red. De tal forma que cuando los datos llegan por una línea de entrada, el elemento de conmutación debe escoger una línea de salida para reenviarlos.

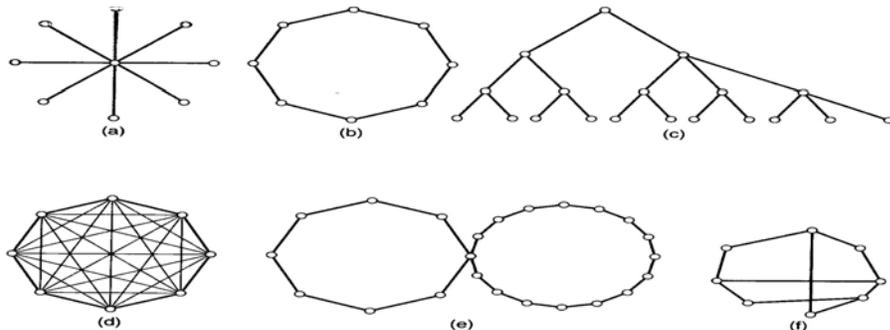
De igual manera a los equipos de conmutación un router puede operar de la misma forma, es decir un router puede decidir acorde a las situaciones existentes, por cual ruta, ya sea física o lógica, puede enviar la información proveniente de la LAN que interconecta con la troncal,

En casi todas las redes WAN, la red contiene varios cables o líneas de transmisión, cada una conectada a un par de enrutadores. Si dos enrutadores que no comparten un cable desean comunicarse, deberán hacerlo indirectamente, por medio de otros enrutadores (circuito virtual).

Cuando se envía un paquete de un enrutador a otro a través de uno o más enrutadores intermedios, el paquete se recibe completo en cada enrutador intermedio, se almacena hasta que la línea de salida requerida está libre, y luego se reenvía, esto establece una red llamada “por conmutación de paquetes”.

Un punto importante a considerar en el diseño de la red, es la forma de interconexión del enrutador con la troncal, esta interconexión es generalmente llamada “enlace última milla”.

Figura 23. Topologías de red, a) estrella, b) anillo, c) árbol, d) malla, intersección de anillos, f) irregular



Fuente: Andrew S. Tanenbaum, **Redes de computadoras**, Pág. 13

La figura 23, ilustra algunas posibles topologías de red, generalmente empleadas en las redes de área amplia, en contraste con las redes de área local, las redes de área amplia típicamente tienen topologías irregulares o asimétricas.

2.2.1.1 Ejemplos de servicios de telecomunicaciones de datos a través de redes área amplia.

Servicio de datos conmutados de multimegabits (SMDS)

SMDS (*Switched Multimegabit Data Service*) fue diseñado por Bellcore en la década de 1980 y puesto en servicio en la década de 1990 para conectar entre sí múltiples LAN. La meta era producir un servicio de datos de alta velocidad. Fue el primer servicio conmutado de banda ancha (de alta velocidad), mediante la utilización de un *backbone* que permite que los paquetes fluyan de una LAN a cualquier otra.

SMDS está diseñado para manejar tráfico en ráfagas, es decir de vez en cuando se tiene que transportar con rapidez un paquete de una LAN a otra, pero gran parte del tiempo no hay tráfico de LAN a LAN.

La velocidad estándar de transferencia de datos es de 45 Mbps, aunque pueden manejarse velocidades más bajas.

Redes X-25

Las redes X-25 fueron desarrolladas durante la década de 1970 por la CCITT para proveer una interfaz de conmutación de paquetes y sus clientes. El protocolo de la capa física llamada X.21 especifica la interfaz física, eléctrica y de procedimientos entre el host y la red. En realidad, muy pocas redes públicas manejan este estándar, pues requiere señalamiento digital en lugar de analógico en las líneas telefónicas. Como medida provisional, se definió una interfaz analógica similar al estándar RS-232.

El estándar de la capa de enlace se diseñó para manejar los errores de transmisión de la línea telefónica entre el host y la red pública.

El protocolo de la capa de red se ocupa de la asignación de direcciones, el control de flujo, la confirmación de entrega, las interrupciones y otras consideraciones relacionadas. Básicamente este protocolo le permite al usuario establecer circuitos virtuales y después enviar paquetes de hasta 128 bytes, a

través de ellos. Estos paquetes se entregan en forma confiable y en orden. La velocidad típica de transferencia de datos de una red X-25 es de 64 Kbps, lo cual la hace obsoleta para muchas aplicaciones. No obstante aún es empleada en muchas aplicaciones que requieren comunicaciones asíncronas.

Las redes X-25 están orientadas a la conexión y trabaja con circuitos virtuales tanto conmutados como permanentes.

Circuito virtual conmutado: se crea cuando una computadora envía un paquete a la red y pide que se efectúe una llamada a una computadora remota. Una vez establecida la conexión los paquetes se pueden enviar por ella y siempre llegaran en orden. X-25 proporciona además un control de flujo para asegurar que un emisor rápido no abrume a un receptor lento u ocupado.

Circuito virtual permanente: similar a uno conmutado; pero se establece previamente por un acuerdo entre el *host* y la portadora; siempre está presente y no se requiere una llamada que lo establezca para poder usarlo. Un circuito de este tipo es semejante a una línea dedicada o rentada.

Dado que existen muchas estaciones o *host* que no pueden operar con X-25, existe un equipamiento que los vuelve compatibles llamado **PAD** (*Packet Assembler disassembler*) y su función se describe en un documento llamado X.3. Se definió un protocolo estándar entre el *host* y el PAD, llamado X.28 y otro entre el PAD y la red, X.29. Las tres recomendaciones juntas son llamadas triple X.

Frame Relay

Frame Relay o retransmisión de marco, es un servicio para personas o empresas que requieren una forma de unir redes LAN, lo mas austero posible a

una velocidad razonable. Su existencia se debe a cambios en la tecnología en las últimas dos décadas.

Se puede pensar en *frame relay* como una línea virtual rentada. El usuario renta un circuito virtual permanente entre dos puntos y entonces puede enviar paquetes de hasta 1600 *bytes*. También es posible rentar circuitos virtuales permanentes entre un lugar determinado y muchas otras localidades, de modo que un marco lleve un número de 10 *bits* que le diga cuál circuito virtual usar.

La diferencia entre una línea rentada real y una virtual es que, con una línea real, el usuario puede enviar tráfico durante todo el día a máxima velocidad. Con una línea virtual se pueden enviar ráfagas de datos a toda velocidad, pero el uso medio a largo plazo deberá ser inferior a un nivel establecido. Aunque la diferencia de costos es competitiva.

La velocidad de transmisión típica de una red *Frame Relay* es de 1.5 Mbps.

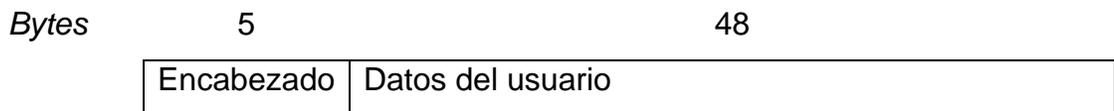
Las redes *frame relay* a diferencia de las redes X-25 no proporcionan control de flujo, no acuses de recibo, y ofrecen un servicio mínimo de detección de errores, por lo que si un paquete es enviado o recibido defectuoso la red, simplemente lo descarta y corresponde al usuario descubrir que se perdió un bloque a la vez que tiene que emprender las acciones necesarias para recuperarlo.

ATM

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) se basa en la idea de transmitir toda la información en paquetes pequeños de tamaño fijo llamado células o celdas.

Las celdas tienen una longitud de 53 bytes, de los cuales cinco son de encabezado y 48 de carga útil, tal como se muestra en la Fig. 24

Figura 24. Celda ATM



Las redes ATM son orientadas a la conexión. Para hacer una llamada primero se debe enviar un mensaje para establecer la conexión, después, todas las celdas subsecuentes siguen la misma trayectoria al destino. La entrega de las celdas no esta garantizada pero si su orden, es decir si se envía la celda 1 y la celda 2 en ese orden, ambas llegaran en el mismo orden.

Las redes ATM tienen velocidades que van desde los 155 Mbps hasta los 622 Mbps, con la posibilidad de seguir creciendo en el futuro. La velocidad exacta de 155.52 Mbps. se escogió por su compatibilidad con las redes SONET de AT&T. La velocidad de 622 Mbps. se escogió para que se pudieran mandar cuatro canales de 155 Mbps.

Uno de los servicios con que se basa en ATM se llama **B-ISDN** (*Broadband Integrated Services Digital Network*); el cual podrá soportar video, televisión en vivo, correo electrónico con multimedia de movimiento total, entre otros, todo esto a través de la línea telefónica.

SONET Y SDH

SONET (*Synchronous Optical Network*; red óptica sincrónica) surgió por la necesidad de estandarizar todos los sistemas ópticos TDM (*Time División*

Multiplexion; multiplexión por división de tiempo) de las distintas compañías telefónicas; surgidos después de la división de AT&T en 1,984.

En 1,989 el CCITT produjo un estándar llamado SONET y un conjunto de recomendaciones paralelas, a este conjunto de recomendaciones se les llama **SDH** (*Synchronous Digital Hierarchy*; jerarquía digital sincrónica), las recomendaciones agrupadas en este conjunto se denominan G.707, G.708, G.709, pero difieren del estándar SONET únicamente en detalles menores.

El diseño de SONET tuvo cuatro objetivos principales. Antes que nada permitir la interconexión de redes de diferente tipo. El logro de este objetivo requirió que se definiera un estándar de señalización común con respecto a la longitud de onda óptica, la temporización, la estructura de los paquetes y otros.

Segundo, SONET, tenía que proporcionar un mecanismo para multiplexar varios canales digitales.

Tercero, fue necesario tomar medidas para unificar los sistemas digitales estadounidense, europeo y japonés, los cuales se basan en canales PCM (*Pulse Code Modulation*; modulación por código de pulso) de 64 Kbps, pero combinados en formas diferentes e incompatibles.

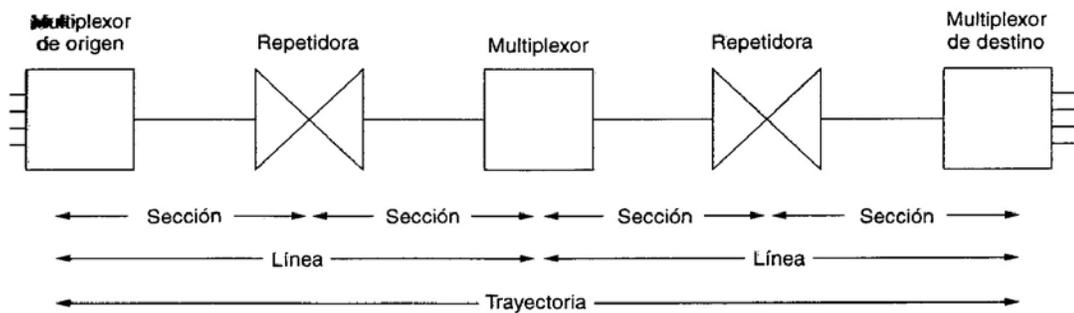
Cuarto, tenía que proporcionar apoyo para las operaciones, la administración y el mantenimiento.

Un sistema SONET consiste en conmutadores, multiplexores y repetidoras, conectados todos por fibra óptica. En la terminología de SONET, una fibra que va desde un dispositivo hasta cualquier otro es forma directa, con nada en medio se llama "sección". Una conexión entre multiplexores con una

repetidora en medio (posiblemente) se llama “línea”. Finalmente la conexión entre la fuente y el destino se llama “trayectoria”.

La figura. 25 muestra lo anterior. La topología de SONET puede ser una malla, pero generalmente es un anillo dual o redundante.

Figura 25. Trayectoria SONET



Fuente: Andrew S. Tanenbaum, **Redes de computadoras**, Pág. 126

Un paquete básico de SONET es un bloque de 810 *bytes* que se emite cada 125 μ s. Puesto que SONET es sincrónica, los paquetes se emiten, haya o no información que enviar.

Los paquetes de 810 *bytes* pueden describirse mejor como un rectángulo de bytes, de 90 columnas de ancho por 9 filas de alto, de tal forma que $8 \times 810 = 6480 \text{ bits} \times 1/125 \mu\text{s} = 51.84 \text{ Mbps}$. o **STS-1**

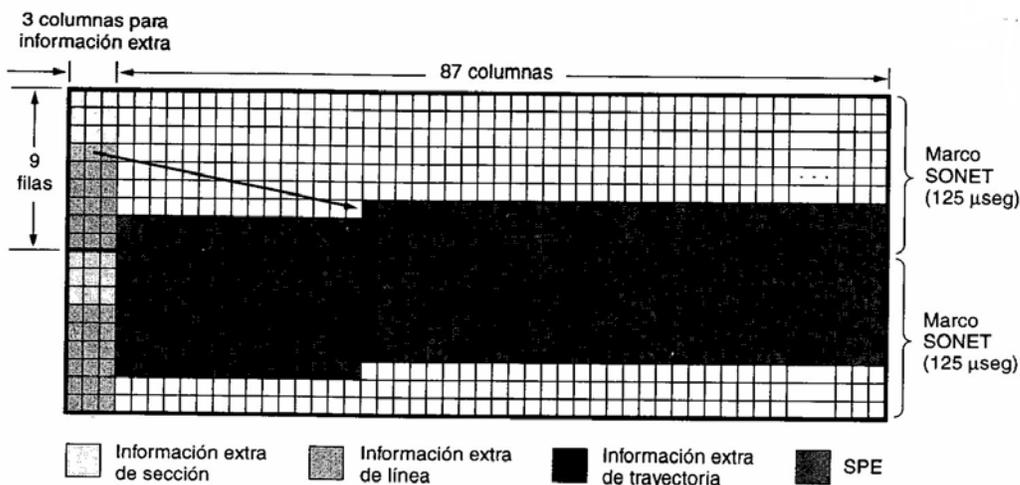
STS-1 *Synchronous Transport Signal – 1* (señal sincrónica de transporte) es el canal básico de SONET y todas las troncales son múltiplos de un STS-1.

Las 90 columnas de un paquete SONET se divide de la siguiente manera; las primeras tres columnas se reservan para información de administración del sistema. Las primeras tres filas contienen la información extra de la sección, las siguientes seis contienen la información extra de la

línea. La primera se genera y verifica el comienzo y el final de cada sección, mientras que la segunda se genera y verifica el comienzo y final de la línea.

Las 87 columnas restantes contienen $87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50.112$ Mbps de datos de usuario. Sin embargo los datos de usuario, llamados **SPE** (*Synchronous Payload Envelope*, envoltura de carga útil sincrónica), no siempre comienza en la fila 1, columna 4. La SPE puede empezar en cualquier parte dentro del marco. La primera fila de la información extra de línea contiene un apuntador al primer *byte*. La primera columna de la SPE es la información extra de la trayectoria, esto es la cabecera, para el protocolo de subcapa de la trayectoria de extremo a extremo. Ver figura 26.

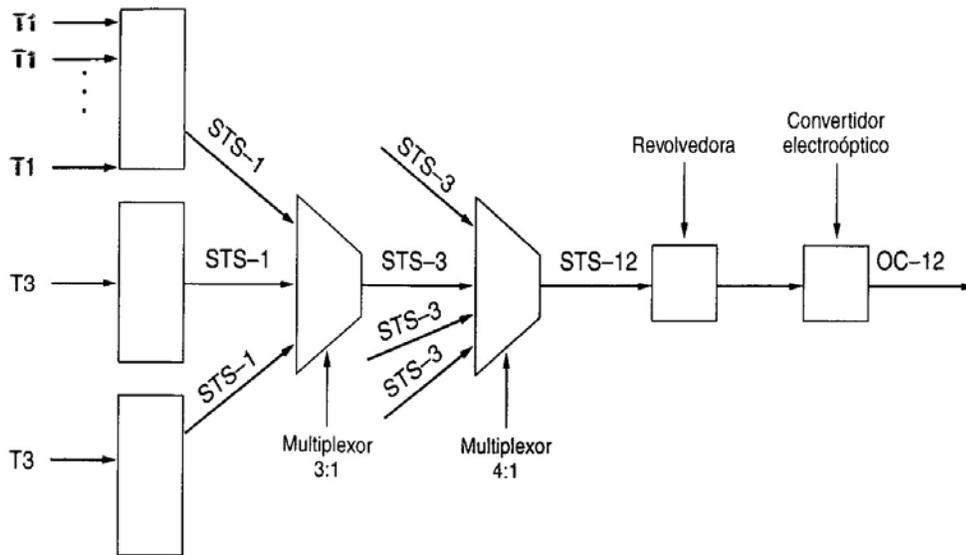
Figura 26. Paquetes SONET consecutivos



Fuente: Andrew S. Tanenbaum, **Redes de computadoras**, Pág. 127

La multiplexión de varias corrientes de datos, llamadas tributarias, desempeña un papel importante en la SONET, el proceso se ilustra en la figura 27.

Figura 27. Multiplexión de tributarias o fuentes en SONET



Fuente: Andrew S. Tanenbaum, **Redes de computadoras**, Pág. 128

Se empieza con varias corrientes de baja velocidad, que se convierten a la velocidad primaria STS-1, tres STS-1 se multiplexan para formar un STS-3 de 155.52 Mbps., tres STS-3 se multiplexan para formar un STS-12 en este punto la señal se revuelve para evitar que las corrientes muy largas de ceros y unos interfieran la medición del tiempo y se convierte de eléctrica a óptica, La multiplexión se hace *byte por byte* a fin de poder armar los paquetes en los puntos de conmutación y redirigirlos a los destinos programados.

La tabla IV muestra las jerarquías de multiplexión de SONET contra las de SDH, La portadora óptica que corresponde a cada STS-n se llama OC-n (Optical Carrier - n).

Tabla IV. Tasas de multiplexión SONET y SDH

SONET		SDH	Tasa de datos (Mbps)		
Eléctrico	Óptico	Óptico	Bruta	SPE	De usuario
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728

Fuente: Andrew S. Tanenbaum, **Redes de computadoras**, Pág. 129

Los nombres de SDH son distintos y empiezan en OC-3 porque los sistemas basados en CCITT no tienen una tasa de transmisión cercana a los 51.84 Mbps. La tasa bruta de transmisión de datos incluye toda la información extra. La tasa de transmisión SPE excluye toda la información extra de línea y sección, La tasa de transmisión de usuario excluye toda información extra y cuenta solamente las 86 columnas disponibles para la carga útil.

2.3 Enlace última milla

Un enlace última milla es únicamente el tramo de conexión física que une a una red LAN o usuario con una red WAN o de transporte.

Para dicha conexión de última milla es posible emplear los cables de distribución eléctrica, lo que da origen a las redes basadas en *Digital Power Line Carrier* (DPLC).

2.4 Consideraciones especiales en redes *Digital Power Line Carrier*

Un enlace DPLC, como cualquier otro medio de comunicación, posee características especiales que lo hacen único y por lo tanto, requiere de un análisis personalizado, si bien es cierto, existen similitudes con algunos medios de comunicación y pueden aplicarse los mismos principios, existen siempre variantes que lo hacen ser diferente o único.

Por lo tanto, a pesar de que en las comunicaciones por *PLC* que emplea la red de distribución eléctrica y que los principios generales son los mismos para *PLC* y *DPLC*, existen variantes que deben mencionarse y tomarse en cuenta.

- a) Frecuencia de operación
- b) Características del canal
- c) Acoplamiento de altas frecuencias

Vale mencionar que en el caso del *DPLC*, la red de alta tensión no es empleada, y por lo tanto, un enlace *DPLC*, va desde la subestación de alta a media tensión, empezando en la barra de distribución de media tensión, hasta el tomacorriente de cualquier usuario que este conectado a la red eléctrica.

2.4.1 Frecuencia de operación y requerimientos de ancho de banda

El logro de velocidades de transferencia de datos arriba de varios *Mbits/s* es posible en la red de distribución de energía eléctrica, si la frecuencia de

operación cambia del rango que va de 30 Khz. a 500 Khz. por un rango que va desde 1 Mhz. a 30 Mhz. con ancho de banda de aproximadamente. 10 Mhz.

2.4.2 Características del canal

Teoría de Shannon para el canal Digital Power Line Carrier

La capacidad para transferir datos, puede ser estimada para cualquier canal si se conocen los parámetros esenciales usados en la fórmula de Shannon.

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Ecuación 4. Ecuación de Shannon para la capacidad del canal

Donde C indica la máxima tasa de transferencia (en *bits/s*) o límite teórico para cada una de las transmisiones posibles libre de errores.

C normalmente no puede ser alcanzado, por cuestiones técnicas inherentes a la naturaleza propia del medio de transmisión que no tiene un ancho de banda infinito y también por razones económicas que van ligadas directamente a las razones técnicas, por el hecho, de que, el dinero y el ancho de banda tienen una relación proporcional y que entre mas ancho de banda se requiere más se percibe el impacto económico.

De manera que, pueden definirse dos términos: C como la capacidad teórica del canal, y r_a como la tasa de transferencia realizable o límite práctico. B es el ancho de banda disponible y S/N la relación señal ruido en la entrada del receptor.

El uso de la ecuación 4 no es dable para los canales DPLC, puesto que la relación señal ruido no es una constante dentro del ancho de banda B , y puede variar substancialmente. Por consiguiente, en la práctica, la densidad espectral de potencia de la señal $S_{rr}(f)$ y la frecuencia como dependiente de la densidad espectral de potencia del ruido $S_{nn}(f)$ deben tomarse en cuenta, por lo que, la ecuación 4 puede escribirse de la siguiente manera.

$$C = \int_{f_u}^{f_o} \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad \text{Con } B = f_o - f_u$$

Ecuación 5. Ecuación de Shannon para la capacidad del canal forma integral

Para poder emplear la ecuación 5, se debe de conocer la densidad espectral de potencia de la señal transmitida $S_{tt}(f)$, la función de transferencia del canal $H(f)$, así como la densidad espectral de potencia de la señal $S_{nn}(f)$ en el receptor. La densidad de potencia del espectro de la señal en el receptor es:

$$S_{rr}(f) = S_{tt}(f) \cdot |H(f)|^2$$

Ecuación 6. Densidad de potencia del espectro de señal recibida, en función de la transmitida

La función de transferencia $H(f)$ y la densidad de potencia del espectro de la señal de ruido $S_{nn}(f)$ son fijadas por las características del canal.

De tal forma que el único valor variable es la densidad espectral de potencia de la señal transmitida $S_{tt}(f)$, que es determinado principalmente por el esquema de modulación aplicado.

De las ecuaciones 5 y 6 puede verse que las altas velocidades de transferencia pueden ser logradas generalmente para malos canales, considerando que

mediante la modulación se puede obtener una alta densidad espectral de potencia de la señal transmitida.

Sin embargo, los requerimientos de la compatibilidad electromagnética (EMC)¹ entre DPLC y diferentes servicios inalámbricos, obligan a una limitación de la potencia sobre el rango de interés del DPLC entre 1 Mhz y 30 Mhz.

Por otro lado, el conocimiento de valores típicos de la función de transferencia $H(f)$ y la densidad espectral de potencia de la señal $S_{nn}(f)$ permite una optimización de la densidad espectral de potencia de la señal de transmisión, siempre que un incremento significativo de la capacidad del canal pueda ser logrado (particularmente para malos canales). Esto sin embargo supone que la alta densidad de potencia es permitida en los rangos de frecuencias seleccionados.

La estimación de la capacidad del canal, a través de la evaluación de las ecuaciones 5 y 6, claramente indica que el ancho de banda disponible, representa el más importante recurso para lograr una alta tasa de transferencia. Como el ancho de banda utilizable en la práctica no es continuo, si no más o menos fragmentado, en espacios o bandas de diferente ancho; una banda de transmisión, una banda de guarda y una banda de recepción; que, pueden ser distribuidas sobre el rango de 1 Mhz. a 30 Mhz.

Este hecho de fragmentar el ancho de banda, sumado a los esquemas de modulación empleados permite explotar el ancho de banda tanto como sea posible

¹ Ver página 65.

Además la capacidad del canal, generalmente decrece con la distancia debido a las características de filtro paso-bajos de un canal DPLC.

La tabla V, describe la capacidad del canal, en un enlace DPLC, empleado como enlace ultima milla.

Tabla V. Estimación de la capacidad de un enlace PLC

	Velocidad de transmisión		Distancia de la última milla
	Mejor caso	Peor caso	
Teórico	250 <i>Mbits/s</i>	14 <i>Mbits/s</i>	100 a > 300 m.
Práctico o realizable	100 <i>Mbits/s</i>	5 <i>Mbits/s</i>	100 a > 300 m.

Fuente: Adaptada, Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 273

2.4.3 Acoplamiento de altas frecuencias

El acoplamiento de señales dentro de la red *Power Line Carrier* en la forma condicionada para el rango de frecuencias entre 30 Khz. y 500 Khz. no puede ser usado para altas frecuencias.

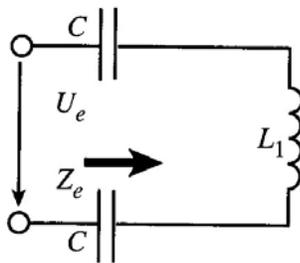
Los principios básicos, sin embargo, son validos con algunos ajustes.

El circuito de acoplamiento debe modificarse, ver figura 28. A fin de poder conectar el equipamiento Head End a la línea de media tensión. En general el alto grado de simetría es importantísimo por razones de compatibilidad electromagnética (EMC). Así pues, dos capacitores son insertados en la parte de media tensión del acoplador, transmitiendo la señal

DPLC tan simétrica como es posible dentro de una red de potencia, por lo tanto el uso de un conductor neutral para acoplamiento fase - neutro para el acceso es desfavorable con respecto a la EMC. Por lo que un acoplamiento fase – fase ofrece mejores resultados en la parte de media tensión.

En contraste con lo anterior, la situación es completamente diferente en las redes internas de baja tensión, donde el conductor neutral es el mejor portador de las señales PLC, con respecto a la EMC.

Figura 28. Circuito de acoplamiento en media tensión

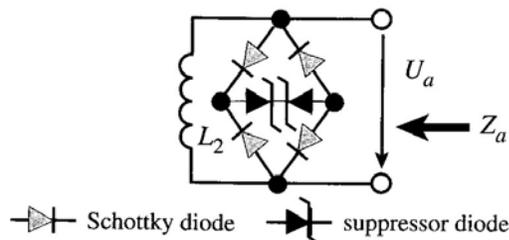


Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 240

En el lado del módem DPLC o CPE la protección del circuito debe ser un circuito puente compuesto por diodos Schottky cuidadosamente seleccionados, con el objeto de que las capacitancias inherentes a los diodos, no tengan variaciones, Ver figura 29.

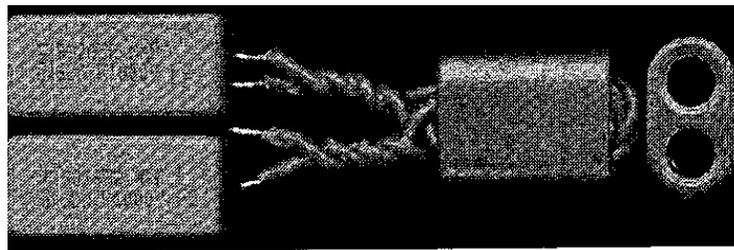
Por tal razón un supresor de diodos convencionales no puede ser empleado, dado que tienen una relativa alta capacitancia que puede atenuar sustancialmente la señal.

Figura 29. Circuito protector de CPE



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 240

Figura 30. Circuito real de acoplamiento con cables nótese que los cables del capacitor están trenzados



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 241

2.5 Integridad de la información

Un punto muy importante en los enlaces DPLC; es la integridad de la información o de la señal, es decir, debe garantizarse que la señal emitida llegue a su destino con la misma forma con la que fue enviada, para evitar

errores o paquetes de información perdidos. Partiendo de esta premisa, para que las redes DPLC tengan éxito en un futuro, deben garantizar desde ya en la medida de lo posible que no existan fugas, ni distorsión de la información,

El hecho, de que, al ser la red eléctrica el medio de transmisión, la señal enviada a través de ella esta sujeta a sufrir distorsión por ruidos impulsivos, generados por interferencias innatas a la naturaleza del medio, así también esta naturaleza innata le da la virtud a dicha línea de transmisión eléctrica empleada para las señales DPLC, el poder radiar ondas electromagnéticas convirtiéndola en una antena; situación que hay que evitar al máximo

Para evitar la situación anterior, deben de tomarse en cuenta algunas consideraciones y conceptos electromagnéticos aplicados a los conductores eléctricos tanto en la red de media tensión como en la de baja tensión, a fin de garantizar la integridad de la información.

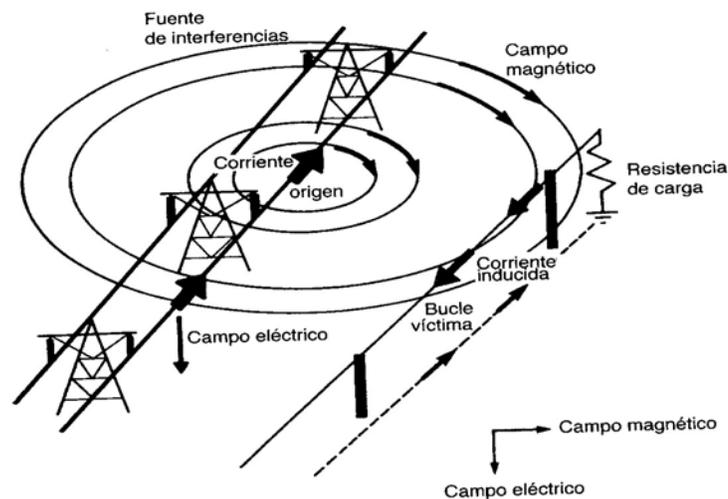
2.5.1 Interferencias eléctricas

Las interferencias pueden definirse como cualquier cosa que provoque molestias. Aunque normalmente se considera que las interferencias por frecuencias de radio son aquellas superiores a los 10 Khz., las interferencias pueden incrementarse debido a la concurrencia de campos electromagnéticos de frecuencias incluso más bajas o de corrientes de actividad eléctrica, y se suelen denominar erróneamente “interferencias de radiofrecuencia” (RFI).

Otro tipo de interferencia, puede ser ocasionado por Inducción Electromagnética, entre conductores de corriente. Siempre que una corriente eléctrica, por pequeña que sea, fluye por un cable u otro conductor existe un campo magnético externo. De igual manera un campo

cambiante en el tiempo hará que fluya una corriente en cualquier conductor que se encuentre en sus inmediaciones. Si esta corriente inducida se convierte en una molestia, entonces existe una interferencia electromagnética (EMI) y el segundo conductor ubicado en las inmediaciones se convierte en una víctima por inducción, mientras que el conductor interferente es llamado fuente electromagnética, lo que significa que en él existen campos eléctricos y magnéticos de manera simultánea, aunque como se muestra en la figura 31, estos dos componentes están en ángulo recto entre sí, y según se incrementa la distancia, la fuerza o emisión del campo se debilita. Así también para que la corriente inducida pueda fluir en la víctima, debe haber un circuito cerrado.

Figura 31. Inducción electromagnética



Fuente: Norman Ellis, **Interferencias eléctricas handbook**, Pág. 6

Las interferencias con muchos equipos y sistemas domésticos e industriales pueden ocasionar peligro, en el caso que compete; la integridad de la información, puede verse severamente afectada.

Para cualquier interferencia que ocurra puede no existir una sola fuente de interferencia y una víctima asociada, si no también un camino paralelo. Esté

puede ser por radiación espacial o por conducción, pero la ruta de conducción no tiene por que ser una conexión física por cable, puede ser por medio de una toma de tierra común compartida por la fuente y por la víctima o provenir de un suministro común de potencia.

La posible existencia de una fuente potencial de interferencia supone una amenaza para algunos sistemas.

Un aspecto a considerar si la amenaza es probable o posible, es; si el espectro y la magnitud son tales que pueden afectar al sistema considerado como víctima, pero el grado de amenaza dependerá de la “susceptibilidad” de la víctima, que a su vez dependerá de su diseño, cercanía a la fuente, ubicación, aislamiento o blindaje, y de la fuente de alimentación.

En general, si se toman precauciones de EMC en el diseño, el riesgo existe, pero podrá ser minimizado cuanto mayor cuidado se tenga.

Por tal razón, muchos sistemas y equipamientos mantienen claro el concepto de compatibilidad electromagnética (entre ellos las redes y el equipamiento DPLC) seleccionando para ello, dispositivos y circuitos integrados que tengan un ancho de banda limitado, junto con diodos que limiten los impulsos, y otros que mejoren la inmunidad o blindaje contra las interferencias. Por otro lado, ningún equipo puede existir por completo por si mismo, siempre forma parte de un sistema, pero eligiendo el apantallamiento, cable y toma de tierra adecuados, se puede evitar la susceptibilidad del sistema.

La seguridad de que el riesgo de interferencias electromagnéticas (EMI) sea bajo depende de los estándares EMC soportados, y de que las pruebas realizadas hayan mostrado que el prototipo los cumple, junto con un riguroso control de calidad en la producción del equipo.

Las consecuencias de las EMI pueden variar desde una pequeña molestia hasta la destrucción del sistema, y en el tema económico, la imposibilidad de comercializar el equipo.

2.5.2 Susceptibilidad electromagnética

Susceptibilidad es el grado hasta el que un equipo o sistema es vulnerable a los efectos de interferencias electromagnéticas o interferencias de radiofrecuencia, en otras palabras es el punto en el que una interferencia se convierte en una molestia.

El grado de susceptibilidad puede estar relacionado con la sensibilidad, frecuencia, ancho de banda y distancias. Los efectos pueden variar desde la irritación hasta la destrucción.

Generalmente tiende a preferirse el término inmunidad frente al de susceptibilidad, ya que el primero es un atributo positivo, mientras que el último es un atributo negativo.

2.5.3 Compatibilidad electromagnética

Si dos sistemas tienen que existir sin interferencias, la susceptibilidad de uno de ellos tiene que estar a un nivel en que no resulte afectado por las interferencias creadas por el otro, de manera que ambos sistemas puedan ser descritos como compatibles, de ahí el término de compatibilidad electromagnética (EMC).

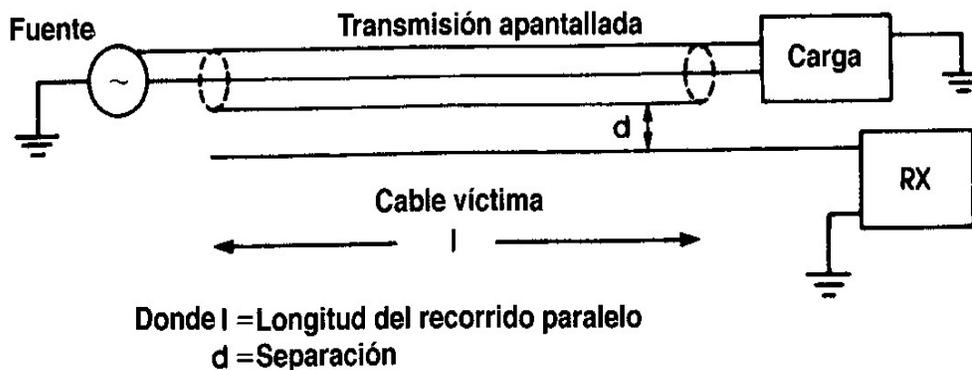
La compatibilidad electromagnética se refiere, no solo a la reducción de emisiones tanto de señales radiadas como conducidas, si no también a la reducción de la susceptibilidad de los equipos o sistemas frente a los entornos electromagnéticos.

La carencia de controles de EMC puede dañar la funcionalidad de los equipos, tiempos de producción, costes.

2.5.4 Interferencias en conductores

La interferencia en conductores, se presenta cuando dos cables corren paralelamente, y en uno de ellos circula una corriente que puede inducir, otra corriente en el cable víctima, generando interferencia por inducción electromagnética. Ver figura 32. Sin embargo estas corrientes inducidas, deben vencer primero el blindaje o aislamiento de la víctima.

Figura 32. Generación de interferencia por inducción electromagnética en cables paralelos



Fuente: Norman Ellis, *Interferencias eléctricas handbook*, Pág. 137

Cuando una corriente (I) fluye por un circuito, produce un flujo magnético (H) que es proporcional a I , de forma que si el circuito tiene una inductancia L , $H = LI$, donde el valor de L depende de las propiedades magnéticas de los alrededores del conductor que transporta la corriente así como de su geometría. Sí la corriente del circuito fuente produce una corriente en el circuito víctima,

esté, a cambio, producirá un flujo por si mismo, de forma que la inductancia mutua entre los circuitos es el nuevo flujo (H_1) dividido por la corriente original.

$$M = H_1 / I$$

Ecuación 7. Inductancia mutua

Así que el voltaje inducido en el circuito víctima es:

$$V = j\omega BA \cos \varphi$$

Ecuación 8. Voltaje inducido

Donde:

B = Densidad de flujo variante de la frecuencia $\omega = 2\pi f$

A = Área del conductor

φ = Ángulo de fase

Pero:

$$V_N = j\omega MI = M \frac{di}{dt}$$

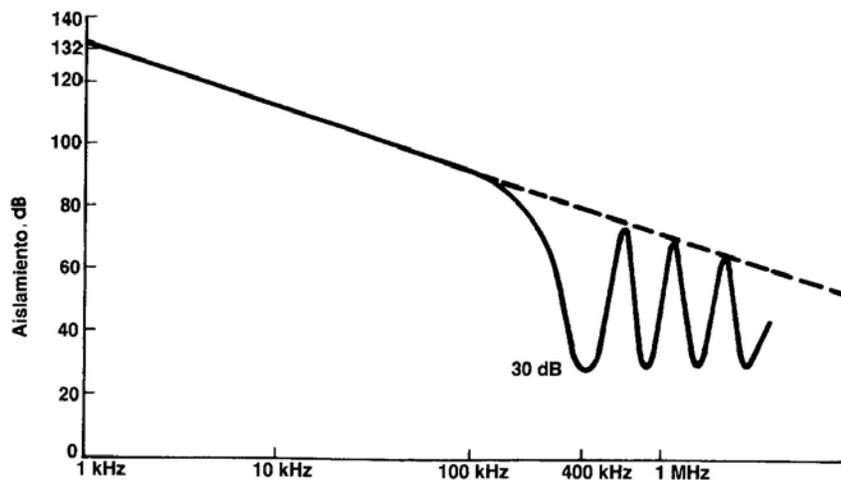
Por lo tanto, según se incrementa la frecuencia, crecen los efectos de la inductancia de la línea, así que el acoplamiento entre la fuente y la víctima es inducido crecientemente por su inductancia mutua,

La figura 33, compara el aislamiento en dB. Versus la frecuencia, empezando en 1 Khz., el aislamiento disminuye enormemente con la frecuencia, es decir, que el aislamiento es proporcional a $1/f$, a una reducción de 6dB/octava (20dB/década). La gráfica continua en línea recta, hasta que el la frecuencia de 400 Khz., el aislamiento se convierte en 30dB, con caídas

similares en múltiplos de 400 KHz. Esto es debido a que el cable de la víctima se vuelve resonante en longitud.

Por tal razón, los factores físicos que también afectan el aislamiento, son la separación entre cables y la longitud paralela, de tal forma que el aislamiento se incrementa con la separación (d) y disminuye con la longitud de la comunicación paralela (L).

Figura 33. Aislamiento contra Frecuencia



Fuente: Norman Ellis, **Interferencias eléctricas handbook**, Pág. 138

Estos datos son útiles para estimar los criterios de instalación, afín de evitar al máximo el despliegue de cables que corran paralelamente. (Razón por la que un cable UTP es eficiente).

2.6 Aislamiento entre las redes de alta y de media tensión

A diferencia de las redes PLC, que emplean la red de alta tensión; las redes DPLC, únicamente pueden emplear las redes de media y baja tensión, para transmisión de datos. Lo anterior representa un punto en contra, ya que, al

no poder transmitir datos sobre la red de alta tensión, no se puede aprovechar la red eléctrica en su totalidad, lo cual sería ideal, considerando que con la red de alta tensión, se llegaría a mas lugares sin la necesidad de apoyarse en una gran red troncal de transporte de datos, y por consiguiente los costos de expansión se verían notablemente reducidos. La razón principal para que la transmisión de datos, no pueda hacerse a través de la red de alta tensión es la siguiente:

Un campo eléctrico de alta frecuencia se amortigua al penetrar a un conductor en una distancia más corta que un campo eléctrico de baja frecuencia, debido al fenómeno electromagnético llamado “efecto piel” o profundidad de penetración de una onda en un medio conductor, razón por la que el campo eléctrico de alta frecuencia se atenúa exponencialmente y se retarda en forma lineal en fase al aumentar la distancia, siendo el nivel de atenuación inversamente proporcional a la profundidad de penetración.

Para las frecuencias de operación de las redes DPLC, una línea de transmisión de potencia, que es empleada como una línea de comunicaciones, es vista como una “línea infinita” debido a que finaliza en su impedancia característica, esto surge del hecho de que una línea infinita no puede tener una onda reflejada. Generalmente, las líneas de potencia no terminan en su impedancia característica, pero las líneas de comunicaciones frecuentemente sí terminan, con el fin de eliminar la onda reflejada, razón por la que los sistemas DPLC y PLC incluyen adaptadores de impedancia en su arquitectura.

Partiendo de este concepto, se encuentra que las ecuaciones electromagnéticas que modelan una línea infinita son:

$$V = V_1 e^{\alpha x} e^{j\beta x} + V_2 e^{-\alpha x} e^{-j\beta x}$$

Ecuación 9. Voltaje transmitido y reflejado en una línea de transmisión

$$\gamma = \alpha + j\beta = ZY$$

Ecuación 10. Constante de propagación de una onda electromagnética

$$Z = R + j\omega L$$

Ecuación 11. Impedancia de una línea de transmisión

$$Y = G + j\omega C$$

Ecuación 12. Admitancia de una línea de transmisión

$$Z_o = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Ecuación 13. Impedancia característica de una línea de transmisión

Como la frecuencia de operación de los sistemas *Power Line Communications* es muy alta, $\omega L \gg R$ y $\omega C \gg G$, la impedancia característica de la línea se reduce a:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Además la línea de transmisión de potencia no es una línea de transmisión ideal, y por lo tanto, debe estudiarse como una línea con pérdidas, así pues la constante de atenuación α debe tomarse muy en cuenta.

De la ecuación 10 que define la constante de propagación γ .

$$\gamma = \alpha + j\beta = ZY = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)}$$

Dado que las frecuencias de operación son altas $\omega L \gg R$ y $\omega C \gg G$ Y mediante el uso de relaciones matemáticas, tal como: $\sqrt{1+x} \approx 1+x/2$ con $x \ll 1$. La ecuación para la constante de atenuación queda de la siguiente manera:

$$\alpha \approx \frac{R}{2 \cdot Z_c} + \frac{G \cdot Z_c}{2} \quad \text{y} \quad \beta = \omega \sqrt{LC}$$

De la teoría de líneas de transmisión, se encuentra que los parámetros que definen una línea de transmisión, son: la resistencia (R), la inductancia (L), la capacitancia (C) y la conductancia (G).

El parámetro conductancia se presenta entre conductores o entre conductores y la tierra. La conductancia toma en cuenta las corrientes de fuga en los aisladores de líneas aéreas y a través del aislamiento de los cables. Generalmente, no se considera la conductancia entre conductores de una línea aérea porque la fuga en los aisladores llega a ser despreciable.

Considerando además que las líneas de transmisión de potencia, están formadas por hilos de cobre o aluminio trenzados, y que forman arreglos mediante conductores agrupados, para apantallar o blindar la línea.

La resistencia (R), la inductancia (L) y la capacitancia (C) pueden definirse mediante las ecuaciones siguientes³:

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{f\mu_0}{\sigma\pi}} \left(\frac{1}{r_{ext}} + \frac{1}{r_{int}} \right) \quad L = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \frac{d}{r \cdot e^{-1/4}} \quad C = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d}{r}}$$

³ Véase Análisis de Sistemas de Potencia de Granger/Stevenson 2ª. Edición, México, 1997

De lo anterior y mediante el uso de tablas tabuladas de las características eléctricas de los conductores proporcionadas por los fabricantes se pueden escribir ecuaciones para la resistencia (R), y para la constante de atenuación dependientes de la frecuencia.

$$R(f) = 1.45 * 10^{-3} \sqrt{\frac{f}{Hz}} \frac{\Omega}{Km}$$

Ecuación 14. Resistencia de una línea de transmisión en función de la frecuencia

$$\alpha(f) = 1.479 * 10^{-6} \sqrt{\frac{f}{Hz}} (Km)^{-1}$$

Ecuación 15. Atenuación de una onda electromagnética en una línea de transmisión en función de la frecuencia

Por ejemplo para una línea de 230 KV, de tres fases, con una longitud de 200 Km., que sea usada para transmitir señales DPLC, con las frecuencias de operación de estas (De 1 Mhz hasta 30 Mhz.), se tendrían atenuaciones para ambos extremos del rango de frecuencias empleados, como los calculados a continuación.

$$R(1Mhz) = 1.45 * 10^{-3} \sqrt{\frac{1 * 10^6 Hz}{Hz}} = 1.45 \frac{\Omega}{Km}$$

$$R(30Mhz) = 1.45 * 10^{-3} \sqrt{\frac{30 * 10^6 Hz}{Hz}} = 7.94 \frac{\Omega}{Km}$$

$$\alpha(1\text{Mhz}) = 1.479 * 10^{-6} \sqrt{\frac{1 * 10^6}{\text{Hz}}} = 1.479 * 10^{-3} (\text{Km})^{-1}$$

$$\alpha(30\text{Mhz}) = 1.479 * 10^{-6} \sqrt{\frac{30 * 10^6 \text{ Hz}}{\text{Hz}}} = 8.1 * 10^{-3} (\text{Km})^{-1}$$

Partiendo de la ecuación de onda de voltaje, el factor exponencial que relaciona la atenuación es: $e^{\alpha(f) \cdot x}$

$$e^{\alpha(1\text{Mhz}) * 200 \text{ Km}} \approx 1.344$$

$$e^{\alpha(30\text{Mhz}) * 200 \text{ Km}} \approx 5.053$$

y la atenuación $D(f,x)$ en dB es:

$$D(f, x) = 20 \cdot \log_{10} e^{\alpha(f) \cdot x} = 8.686 \cdot \alpha(f) \cdot x \quad (\text{dB})$$

$$D(f, x) = 20 \cdot \log_{10} e^{\alpha(1\text{Mhz}) * 200 \text{ Km}} = 8.686 \cdot \alpha(1\text{Mhz}) \cdot 200 \text{ Km} = 11.922 \text{ dB}$$

$$D(f, x) = 20 \cdot \log_{10} e^{\alpha(30\text{Mhz}) * 200 \text{ Km}} = 8.686 \cdot \alpha(30\text{Mhz}) \cdot 200 \text{ Km} = 44.813 \text{ dB}$$

De los valores anteriores, puede verse que, a las frecuencias de operación la atenuación de la señal DPLC en una línea de alta tensión es demasiada alta.

Aún y cuando se operara con las potencias de los equipos *Power Line Carrier* (aprox 40dB) no bastaría para sobrepasar la atenuación de la señal y si a esto se le suma, el hecho de que la atenuación en una línea de alta tensión, se ve afectada o incrementada por factores naturales, tales como la lluvia, formación de humedad en la superficie del alambre, efecto corona y que en general la atenuación en condiciones adversas de clima se incrementa en aproximadamente 15 veces a la atenuación en condiciones favorables, y si

finalmente se considera que la resistencia del conductor se incrementa con la frecuencia, las posibilidades de éxito en la transmisión de señales a alta frecuencia en la red de alta tensión, son demasiado bajas y por ende las velocidades que pueden obtener son bajas.

Lo anterior, describe el aislamiento natural o innato que encuentra la señal DPLC, entre las redes de media y alta tensión. Sin embargo aunque lo anterior es lo más importante, existen otras causas que evitan la propagación de la señal, tales como: la existencia del transformador de la subestación eléctrica entre la red de alta y media tensión, que actúa como un filtro pasabajo, los elementos de la red de potencia, como la barra de tensión, los seccionadores, que desacoplan la impedancia característica, causando por lo tanto una onda reflejada que se resta a la onda transmitida hacia la parte de alta tensión y que se suma a la onda transmitida hacia el usuario final.

Finalmente una señal DPLC, funciona muy bien en la parte de media y baja tensión, debido a que en estas redes las longitudes de los vanos son relativamente cortos, que los voltajes son bajos y en consecuencia, el efecto corona es despreciable, En contraste con esto puntos las líneas de transmisión de una red de alta tensión, están diseñadas para vanos muy grandes (cientos de kilómetros) y para soportar tensiones severamente altas con todo lo que esto implica.

3. RED *DIGITAL POWER LINE CARRIER*

Una red *Digital Power Line Carrier*, puede definirse; como aquella red de transmisión de datos, a alta velocidad o en banda ancha a través de la red eléctrica de media y baja tensión, empleando para ello; protocolos de

comunicación, técnicas de modulación digital, y frecuencias mayores a las antiguamente empleadas en las redes *Power Line Carrier* (PLC),

Pero, una red DPLC no es una red de transporte de datos. En realidad es un enlace de última milla complejo, compuesto por una gama de equipos que hacen ver a la red eléctrica como un cable más de datos, al que pueden conectarse uno o varios usuarios y servicios en forma de red LAN DPLC. Aprovechando de esta manera el hecho de que en la mayoría de hogares hay por lo menos un tomacorriente que de acceso a la red, evitando con ello, nuevos cableados y por consiguiente costos de instalación.

Por lo tanto, al indicar que una red DPLC tiene un ancho de banda que va desde los 2 Mbps, hasta los 45 Mbps, (dependiendo de las condiciones de la línea eléctrica) no indica que se tenga un ancho de banda máximo de toda la red de 45 Mbps para transmitir, si no indica qué, sobre una línea eléctrica se pueden llegar a transportar hasta 45 Mbps.

Con lo anterior, se pretende aclarar, que el tráfico pesado de la red, se transporta a través de la red troncal de datos, la cual esta soportada sobre diversos medios, que tengan capacidades altas de transmisión. Mientras que la red eléctrica viene a ser para el usuario final un medio de acceso a la red troncal.

3.1 Elementos de Red DPLC

Las redes DPLC, se soportan básicamente sobre tres elementos activos, sin mencionar el equipamiento de acople y bloqueo de señal que son elementos pasivos.

El equipamiento activo de una red PLC, lo conforman los siguientes elementos.

- *Head End* (HE)
- *Home Gateway* (HG)
- *Customer Premises Equipment* (CPE)

3.1.1 Head End (HE)

El equipamiento *Head End* o HE, puede considerarse para efecto prácticos como un equipo de modulación y demodulación de señal o simplemente módem.

El HE tiene como función principal interconectar la red troncal de transmisión de datos o *backbone*, (actuando en cierta manera como un router) con la red eléctrica.

Para lograr lo anterior este equipo toma la señal digital en banda base de la red troncal, y mediante métodos de modulación digital inyecta la señal a la red eléctrica, de igual manera a lo discutido en los capítulos anteriores, y mediante un proceso inverso inyecta la información proveniente del usuario de la red eléctrica a la red troncal.

Para inyectar la señal de datos a la red eléctrica, el HE emplea la técnica de modulación digital OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexion*) o Multiplexion por División de Frecuencia Ortogonal, (esta técnica se comentara con detalle mas adelante), modulando cada una de las portadoras con modulación QAM, con una densidad espectral de 8 *bits/Hz.*, esta densidad depende las condiciones del canal tal como la relación señal – ruido (SNR), ya

que el sistema al detectar una disminución del SNR disminuye la densidad espectral a fin de mantener constante la tasa de error por *bit* o (BER).

El rango de frecuencias de operación de este equipamiento, es de 2.46 Mhz. hasta 11.725 Mhz., con un ancho de banda de 9.265 Mhz. a través del cual puede transmitir 45 Mbps, de forma asimétrica, es decir, 18 Mbps de subida o Upstream y 27 Mbps de bajada o downstream.

Generalmente la sensibilidad mínima de recepción es de -60 dBm. aunque este valor depende del nivel de ruido existente. La tabla VI muestra algunos de los niveles de potencia configurables en este equipamiento.

Tabla VI. Niveles de potencia

Niveles de Potencia	
Densidad espectral de potencia, de la señal inyectada.	Programable > -50 dBm/Hz.
Máximo nivel de potencia transmitido	Programable > 15 dBm
Mínimo nivel de potencia transmitido	-60 dBm
Incremento escalonado de potencia	
Sensibilidad mínima de recepción	-60 dBm
Perdidas típicas por acoplamiento	(2 – 3) dB.

Fuente: Adaptada, DS2, **DS2 technology description design of systems on silicon**, Pág. 5

La información la transmite a través de tramas o paquetes con una longitud mayor o igual a 8 Kb. manejando tráfico en tiempo real lo cual permite transmitir voz y video.

Los paquetes son enviados mediante ráfagas de datos en forma de paquetes orientados, de manera semejante a la operación de una red con protocolo TCP/IP, lo que permite transmisión de voz sobre IP y video sobre IP.

Tabla VII. Servicios soportados basados en TCP/IP

802.1d Bridging
802.1q VLAN
DHCP Cliente/Servidor
SNMP
Telnet Cliente/Servidor

Fuente: Adaptada, DS2, **DS2 technology description design of systems on silicon**, Pág. 28

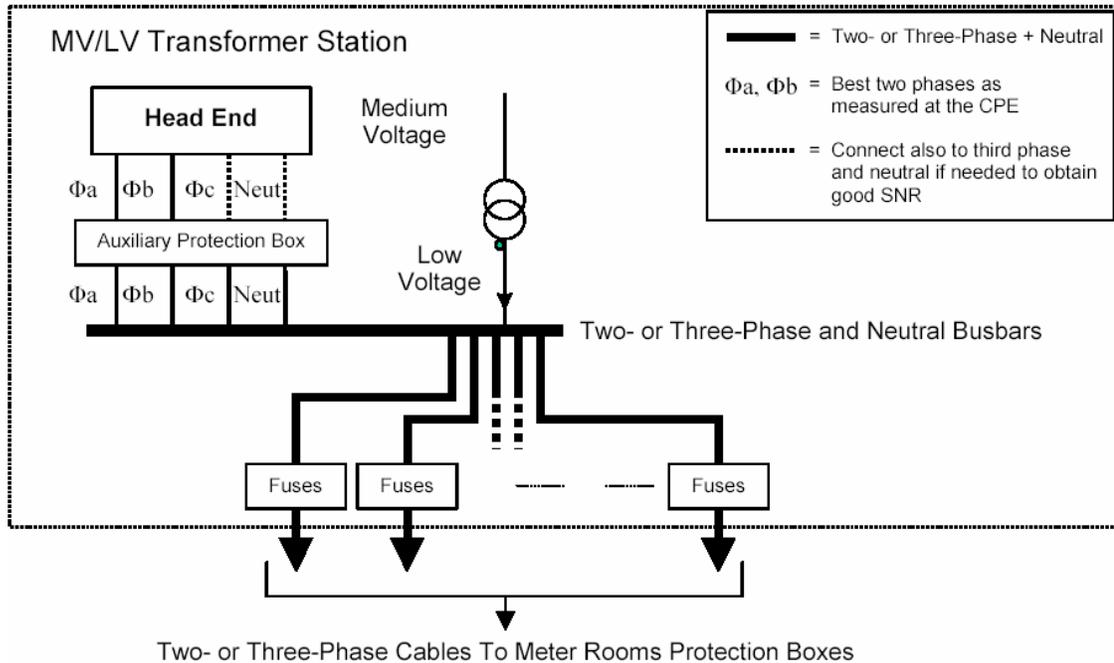
La tasa de transferencia va desde los 2 Mbps hasta los 45 Mbps, dependiendo de la frecuencia de operación, así como de la relación señal-ruido, con un ancho de banda máximo de 10 Mhz.

El tiempo de retardo en la transmisión de paquetes o latencia, normalmente es menor a los 3ms, aunque esto depende también de la calidad del canal y de la cantidad de tráfico.

De cara a la red troncal el HE, obtiene los datos en banda base mediante una interfaz de datos *Ethernet* 10/100BaseT (Adelante se comenta con detalle sobre las redes *Ethernet*).

El sistema de acoplamiento para inyectar la señal a la red eléctrica puede ser fase-fase ó fase- neutro, tal como se indica en la figura 34.

Figura 34. Conexión HE a la línea de potencia



Fuente: DS2, **DS2 technology description design of systems on silicon**, Pág. 23

3.1.2 Home Gateway (HG)

El equipamiento *Home Gateway* o HG, básicamente posee las mismas características de un HE, La principal diferencia entre ambos equipos radica en el *hardware* empleado, ya que el HG integra una tarjeta de transmisión y recepción compatible con el HE por un lado, mientras que por el otro integra una tarjeta de transmisión y recepción compatible con el equipo DPLC del usuario final. (*Customer Premises Equipment, CPE*).

La razón principal por la que el HG integra dos tarjetas distintas, se debe a que los rangos de frecuencias empleados en el tramo HE – HG; que va desde 2.46 Mhz. hasta 11.725 Mhz. es un rango de frecuencias distinto al rango de

frecuencias empleados en el tramo HG – CP; que va desde 13.88 Mhz. hasta 22.8 Mhz.

Esto tiene su razón de ser por dos causas: (1) Debido a que las frecuencias altas tienen mayor atenuación y son menos sensibles al ruido, por lo tanto transportan mejor una señal de banda base que las frecuencias bajas en tramos cortos y ruidosos, (2) Por regulaciones gubernamentales.

Lo anterior describe además al equipamiento HG, como un equipo repetidor de la señal proveniente del HE.

3.1.3 Customer Premises Equipment (CPE)

El equipamiento CPE, es el equipo a emplear por el usuario final, este equipo no es mas que un módem DPLC, estos módem manejan tasas de transferencia de datos que van desde los 2 Mbps hasta los 45 Mbps, una de las ventajas de estos equipos es que operan en modo *full – duplex*, y en modo punto – multipunto, además de integrar un puerto para transmisión de voz sobre IP, generalmente incluyen dos interfaces *ethernet* IEEE 802.3 (10/100 Mbps), y un puerto USB (*Universal Serial Bus*).

Estos equipos están diseñados para operar con 110V o 240V entre 50Hz y 60 Hz, inyectando la señal a través de acopladores de línea integrados, de tal forma que solo sea necesario conectar el equipo a la red eléctrica.

3.2 Modulación OFDM

Las primeras técnicas de modulación en banda dispersa o *Band-Spreading*, fueron desarrolladas para propósitos de comunicaciones militares, para obtener robustez ante cualquier disturbio y declives. En el pasado la tecnología se caracterizó por grandes esfuerzos operativos y altos costos. El rápido desarrollo de complejos circuitos integrados hizo posible la creación de las técnicas de espectro disperso o “*spread spectrum*” (SST) disponibles para la mayoría de aplicaciones.

Debido a la resistencia del SST frente a todas aquellas interferencias presentes en los anchos de banda angostos y una atenuación selectiva, hizo que del SST una técnica atractiva para aplicaciones DPLC. Una característica adicional que hace del SST algo interesante es su baja densidad de potencia espectral en las señales transmitidas, lo cual resulta muy compatible con los estándares de compatibilidad electromagnética (EMC por sus siglas en inglés).

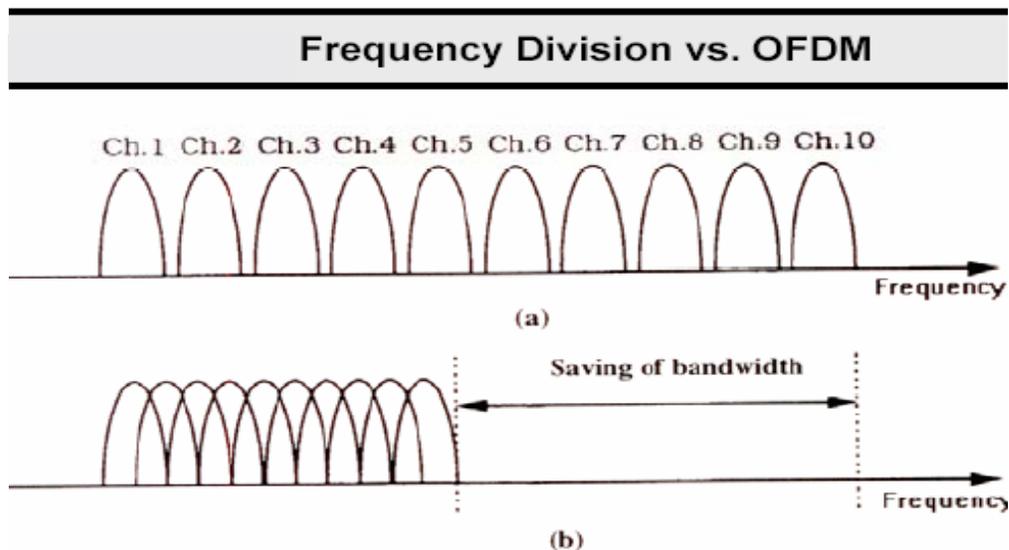
Entre las diversas modulaciones pertenecientes a las técnicas SST, están: CDMA (*Code Division Multiplexing Access* o Acceso por Multiplexión por División de Código); FH (*Frequency Hopping* o Salto en Frecuencia), OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* o Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal) y DSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).

De estas técnicas de modulación mencionadas, OFDM es un esquema de modulación multiportadora con diversas aplicaciones, entre las que se pueden mencionar: ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line* o Línea de Subscriptor Digital Asimétrica); DAB (*Digital Audio Broadcasting* o Difusión de Audio Digital) y DPLC. Además OFDM está convirtiéndose en un fuerte candidato para la Difusión de Video Digital (DVB por sus siglas en inglés).

OFDM es una modulación que define una secuencia de símbolos (S_k) en el dominio de la frecuencia para transmitir en el dominio del tiempo, y mapear las muestras recibidas de nuevo al dominio de la frecuencia, OFDM resuelve además otro problema, asociado con la alta velocidad de transmisión, y es la interferencia ínter símbolos (ISI) causado por los retardos de los múltiples trayectos esparcidos.

Es una técnica fuertemente relacionada con FH, por lo tanto OFDM muestra robustez ante grandes interferencias a la vez que habilita múltiples accesos. En modulación OFDM, el ancho de banda disponible **B** es segmentado dentro de numerosos sub canales de ancho de banda angosto, lo que permite un ahorro y optimización del ancho de banda disponible.

Figura 35. Segmentación del ancho de banda en sub canales forma tradicional contra OFDM



Fuente: DS2, *DS2 technology description design of systems on silicon*, Pág. 7

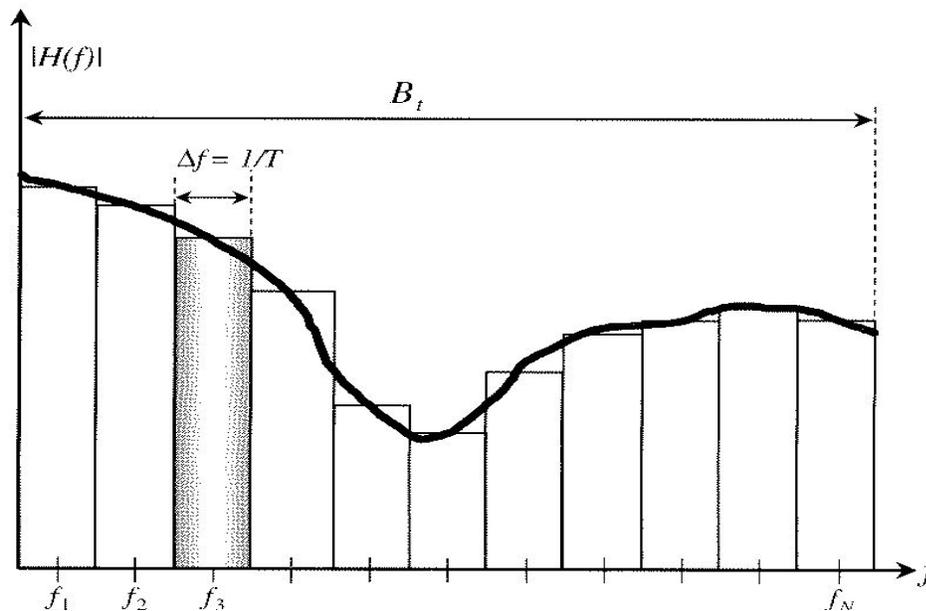
Una cadena de datos es transmitida a través de multiplexión por división de frecuencia (FDM por sus siglas en inglés) usando un número N de canales con frecuencias que van desde f_1, f_2, \dots, f_N en paralelo, por lo tanto cada uno de los sub-canales tiene un ancho de banda.

$$\Delta f = \frac{B}{N}$$

Ecuación 16. Ancho de banda por sub-canal OFDM

En la figura 36, se puede apreciar esta segmentación.

Figura 36 Segmentación del ancho de banda



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 300

La propiedad de los anchos de banda angostos de los sub-canales justifica la presunción de que, la atenuación y el retardo de grupo son constantes dentro de cada canal.

Por lo tanto; la ecualización, que no es mas que el procesamiento de la señal o técnica de filtraje diseñada para eliminar o reducir el ISI (Interferencia Inter Simbólica) tratando de restaurar la naturaleza ideal de los canales, resulta una tarea fácil. Está es una ventaja de la señales multiportadoras sobre las señales de portadora única. Una señal típica OFDM en el dominio del tiempo puede ser descrita de la siguiente forma.

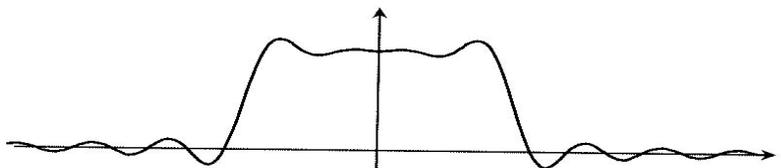
$$S_{OF}(t) = A_{rect} \left(\frac{t}{T} \right) \sum_{i=1}^N \sin \left(2\pi \left(f_o + \left[i - \frac{N+1}{2} \right] \Delta f \right) t \right)$$

Ecuación 17. Ecuación de onda OFDM en el dominio del tiempo

Como la ecuación anterior denota; el mínimo espaciamiento de frecuencia es $\Delta f = 1/T$, donde T es el período de la onda. La ecuación describe un conjunto de N formas de onda ortogonales, que cubren el rango de frecuencias desde: $f_o - [(N-1)/2]\Delta f = f_o - (B - \Delta f)/2$ hasta $f_o + [(N-1)/2]\Delta f = f_o + (B - \Delta f)/2$.

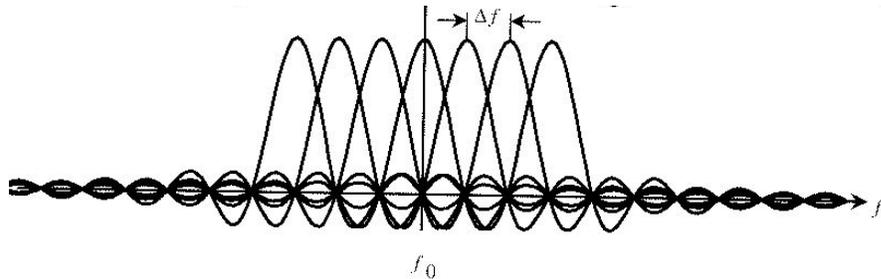
Una comparación de las condiciones espectrales en el dominio de la frecuencia para N=1 y N=7 formas de onda se ilustran en las figura 37 y 38 respectivamente.

Figura 37. Espectro de frecuencias de una onda FDM (N=1)



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 301

Figura 38. Espectro de frecuencias de siete ondas OFDM (N=7)



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 301

La ortogonalidad permite el traslape espectral, lo cual es mucho más eficiente; alrededor de dos veces mejor en comparación con las técnicas de portadora única.

Si se nombra la tasa de transferencia por sub-canal con el símbolo r_s para N sub-canales, se tiene un ancho de banda total, igual a:

$$B = (N+1) \cdot r_s \approx N \cdot r_s$$

Ecuación 18. Ancho de banda total de un canal OFDM

Esta excelente utilización del espectro puede ser o es ya una clave elemental para el éxito del PLC a alta velocidad, porque por un lado está el hecho de tener filtros pasabajos en las redes eléctricas, conformados por la impedancia característica de la línea y la impedancia inductiva del transformador, y sus efectos en la limitación del rango de frecuencias utilizables. Y por otro lado el uso de ciertas frecuencias pueden ser prohibidas por regulaciones gubernamentales.

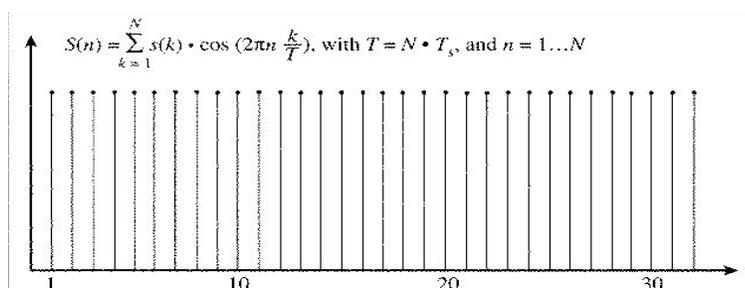
En un sistema FH clásico, la información es contenida en una secuencia de frecuencias, y las portadoras son transmitidas secuencialmente.

En OFDM, la diferencia substancial, es que, cada portadora es modulada llevando una parte de la cadena de datos, dividida entre un número de portadoras, mucho mayor de cien, todas transmitidas en paralelo. Como la señal transmitida es ahora la suma de muchas portadoras moduladas, la magnitud del espectro permanece sin cambios, aunque la representación de la señal en el dominio del tiempo parece complicada.

Las figuras 39, 40 y 41 ilustran un problema, usando una señal cosenoidal en el dominio del tiempo y simplificada a $N = 32$ portadoras.

La figura 39 muestra líneas espectrales con amplitudes constantes sobre un rango de frecuencias, con un espaciamiento $\Delta f = 1/T$ en el dominio del tiempo, el valor RMS del pico es el factor de CRESTA (un factor importante) que debe ser conservado lo mas bajo posible, aunque no es una tarea fácil debido a la naturaleza aleatoria de la cadena de datos.

Figura 39. Espectro de frecuencia y “Factor de CRESTA”

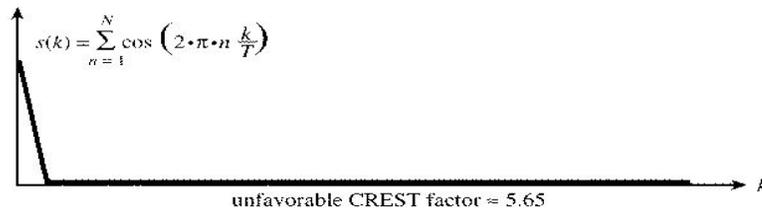


Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 302

La figura 40, muestra el peor de los casos, aquí las 32 portadoras son sumadas con igual fase, que en este ejemplo es cero. Entonces se tiene una amplitud pico alta de las 32 consideradas en el primer ejemplo, y todas las demás son cero, por lo tanto el factor de CRESTA es un valor máximo. Esta situación no es nada deseable para ningún caso.

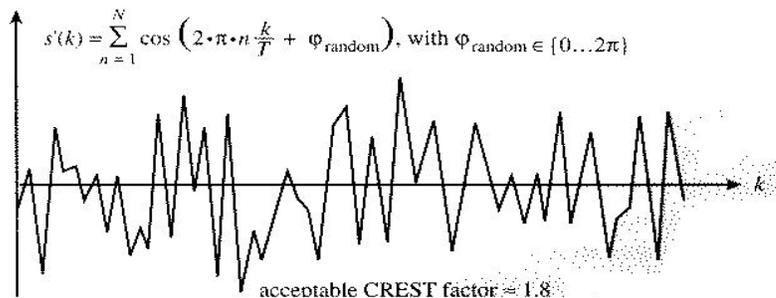
Un bajo factor de CRESTA no se busca únicamente, para bajar los costos del transmisor de potencia al mantenerlo bajo, sino también por consideraciones de compatibilidad electromagnética. Un pico de valor alto puede producir niveles significativos de radiación.

Figura 40. “Factor de CRESTA” Desfavorable



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 302

Figura 41. “Factor de CRESTA” Favorable



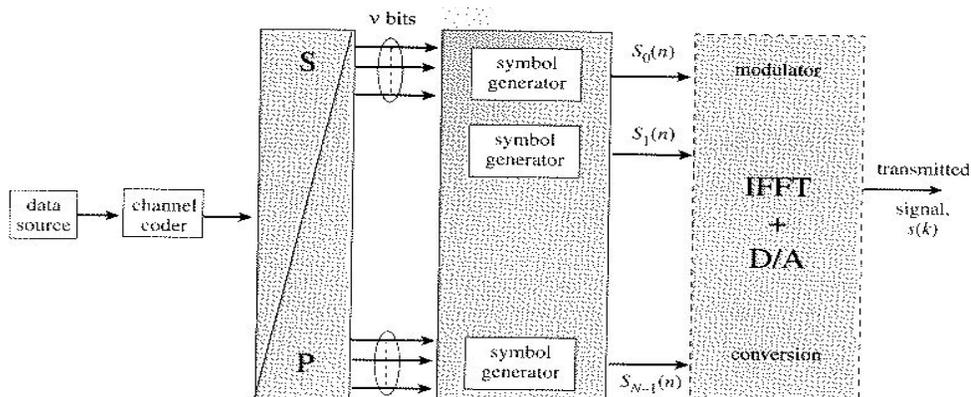
Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 302

La figura 41, sugiere como llevar a cabo una significativa mejoría, en este ejemplo, las fases de las 32 portadoras son aleatorias, con el asombroso resultado que el factor de CRESTA es disminuido dramáticamente. Pero semejante procedimiento puede sin embargo no ser siempre la mejor manera de encontrar resultados satisfactorios. Debido a la naturaleza aleatoria del proceso esto no puede ser excluido ya que muchas veces o no siempre todas las portadoras tienen la misma fase. En la práctica, la cadena de datos a transmitir puede determinar las fases de las portadoras, que usualmente también son un proceso aleatorio.

En contraste a un puramente llamado proceso aleatorio, el llamado “*bit loading*” o carga de *bit* de las portadoras pueden ser controlados por el transmisor, de esta forma se puede tener un método de modulación sofisticada que puede ser usada para evitar constelaciones donde la mayoría de portadoras tienen fases iguales, manteniendo un factor de CRESTA bajo.

3.2.1 El transmisor OFDM

Figura 42. Diagrama de bloques de un transmisor OFDM



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 307

La figura 42, ilustra un diagrama de bloques de un transmisor OFDM tradicional. La fuente de la cadena de datos es un canal codificado. Entonces la cadena codificada de *bits*, es convertida de serial a paralelo y dividido en N grupos de v *bits*. Cada uno de estos grupos representa un símbolo, que es asignado a cada uno de los sub-canales. Por ejemplo, se tiene un número $N = 1000$ operando en modulación QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*.) y un número $v = 2$, por lo tanto se tiene un bloque de datos de 2000 *bits* transmitidos en paralelo, a los generadores de símbolos. Cada generador de símbolos produce un coeficiente de Fourier $S_i(n)$ que mapea un símbolo asociado dentro de un espacio de la señal; todo esto, por que hay ecualización.

Esto también hace posible desarrollar el mapeo individual de *bit*, por cada sub-canal. Por supuesto, este procedimiento solamente puede hacerse si la calidad de la información del canal esta disponible.

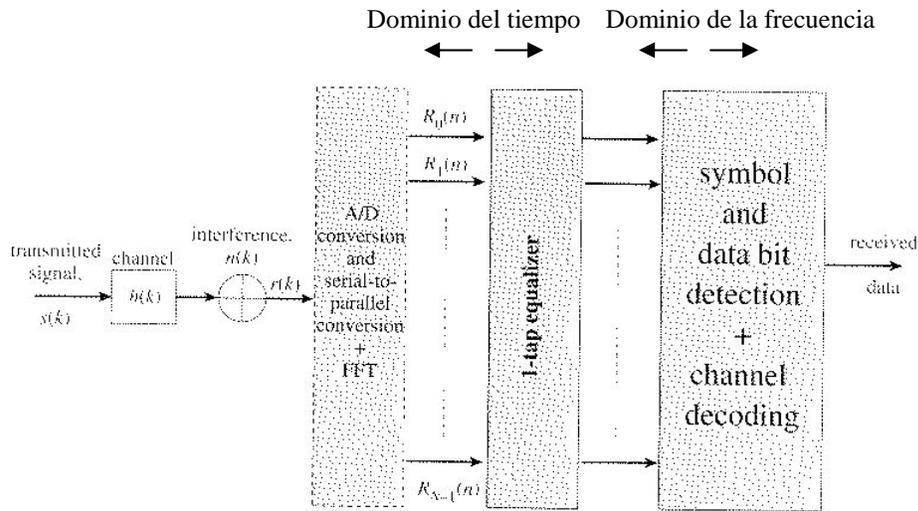
Esta información puede ser adquirida en una inicialización de fase durante la preparación de cada una de las secuencias transmitidas.

Como los parámetros de los canales powerline son altamente estacionarios a excepción del ruido impulsivo, una simple secuencia de preparación al momento de iniciar la sesión puede ser suficiente para dicho mapeo.

Los complejos símbolos $S_i(n)$ son puestos bajo un IFFT, (Un IFFT es el proceso desarrollado eficientemente por un procesador digital de señal o DSP, que optimiza la arquitectura de un algoritmo para un tratamiento de la transformada rápida de Fourier, (FFT por sus siglas en ingles, *Fast Fourier Transform*.) y de la transformada rápida inversa de Fourier, (IFFT por sus siglas en ingles, *Inverse Fast Fourier Transform*.) que entrega N muestras de la señal transmitida $s(k)$ en el dominio del tiempo, después el convertidor Digital a Análogo y un filtro pasabajo, filtra la señal $s(t)$ lista para ser amplificada por un amplificador de potencia para finalmente ser acoplada a la línea.

3.2.2 El receptor OFDM

Figura 43. Diagrama de bloques de un receptor OFDM



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 308

El diagrama de bloques de un receptor de OFDM se muestra en la figura 43. En este se muestra el canal con la adición de una función de respuesta al impulso $h(t)$, una señal de interferencia $n(t)$, y finalmente la típica estructura de un receptor de OFDM.

La señal recibida $r(t)$ es una versión distorsionada de la señal $s(t)$ afectada por $n(t)$. N muestras de $r(t)$ son tomadas en la entrada del receptor para luego ser convertidas de señales analógicas a digitales. Con una tasa de muestro $1/T_s$ se da al receptor un vector digitalizado $r(k)$, que no es mas que la transformada de Fourier. El resultado es un vector $R(n)$, que representa los coeficientes de Fourier de la señal recibida.

En muchos casos, esto da la sensación de un desarrollo aceptable de ecualización al eliminar la influencia de la función de transferencia del canal, antes de la detección del símbolo y *bit*.

La ecualización de la señal es sencilla debido a la naturaleza del ancho de banda de los sub – canales, dado que la atenuación y el retardo de grupo son constantes. Así pues cada sub – canal puede ser descrito por una función de transferencia.

$$H_i = \alpha_i \cdot e^{j\theta_i} \quad \text{Con } i = 0, \dots, N - 1$$

Ecuación 19. Función de transferencia

Durante una inicialización de fase, cuando una secuencia es preparada para ser transmitida (Que es el punto en el que el receptor reconoce) H_i es estimado e invertido, de la siguiente manera.

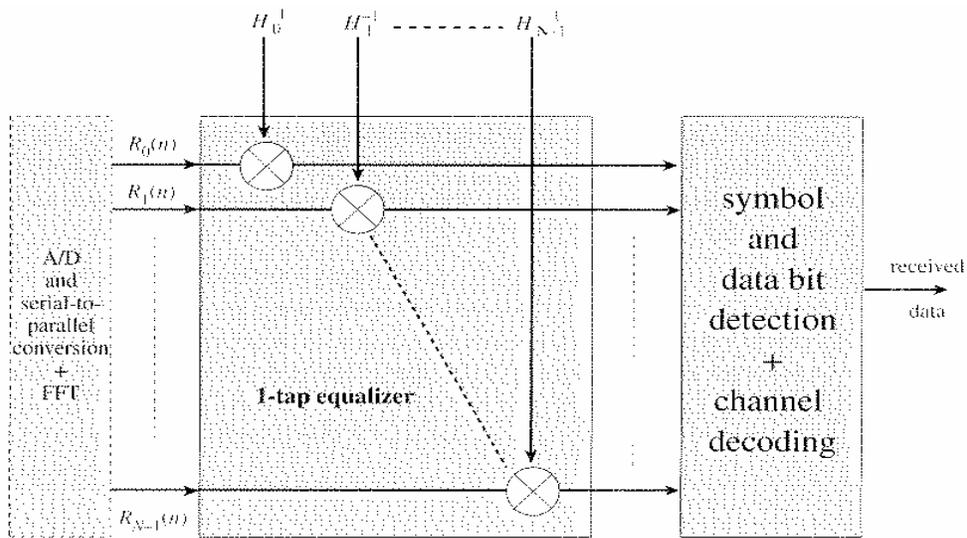
$$H_{ii}^{-1} = \frac{1}{H_i} = \frac{1}{\alpha_i} \cdot e^{-j\theta_i} \quad \text{Con } n = 0, \dots, N - 1$$

Ecuación 20. Función de transferencia inversa

Multiplicando cada coeficiente de Fourier R_i por el correspondiente H_{ii}^{-1} provee la ecualización deseada (Ecualización 1 – Tap). Una preparación de secuencia normalmente es necesaria solamente en intervalos de tiempo muy largos, porque los canales *powerline* son altamente estacionarios.

En la práctica, una simple preparación de secuencia al inicio de la sesión de comunicaciones normalmente es suficiente.

Figura 44. Principio del ecualizador “1 Tap” para OFDM



Fuente: Klaus Dostert, *Powerline communications*, Pág. 309

OFDM promete pues robustez ante los dos tipos de distorsiones ocasionadas por los efectos del filtro pasabajos y fuertes fluctuaciones en los canales PLC debidos a las funciones de transferencia de los impulsos de la red.

La principal fortaleza radica en el hecho, de que, el canal es dividido dentro de pequeños sub – canales de ancho de banda angosto.

3.3 Protocolos de comunicación

Los protocolos son acuerdos entre personas o procesos. Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que definen la interacción entre dos máquinas o procesos que son similares o que tienen funciones similares.

Los elementos básicos de un protocolo de comunicaciones lo conforman un conjunto de símbolos, o caracteres, un conjunto de reglas para la secuencia y temporización de los mensajes construidos en base a los caracteres, además de incluir procedimientos para determinar si ha ocurrido o no un error y como corregirlo.

En la práctica existe una diversidad amplia de protocolos, los cuales pueden ser divididos en:

- Protocolos de las interfaces del nivel físico
- Protocolos del nivel de enlace de datos
- Protocolos de los sub-niveles LLC y MAC
- Protocolos ruteables.

Entre otros.

3.3.1 Protocolos de las interfaces del nivel físico

Más que protocolos pueden considerarse como estándares que establecen o definen las características físicas, mecánicas y eléctricas de los distintos tipos de cables, conectores o interfaces a conectar.

Cada estándar define las señales en el cable y especifica el conector al final del cable.

3.3.2 Protocolos del nivel de enlace de datos

El protocolo más común en este nivel es el SDLC (*Synchronous Data Link Control*), sin embargo existen derivados de este que también son comúnmente empleados, tales como el HDLC (*High Level Data Link Control*) y el IEEE 802.2 entre otros. Cada uno de estos protocolos ha cobrado importancia en su propio dominio. SDLC se mantiene como el principal protocolo del nivel de enlace de datos SNA (*Systems Network Architecture*) para enlaces de redes WAN (*Wide Area Network*).

Mientras que el IEEE 802.2 usualmente referido como LLC (*Logical Link Control*) es extremadamente popular en ambientes de LAN.

3.3.3 Protocolos de los sub niveles LLC y MAC

El sub-nivel LLC (*Logical Link Control*) es el mas alto de los dos sub-niveles del nivel del enlace de datos. El protocolo más predominante en el sub-nivel LLC es el IEEE 802.2.

El sub nivel MAC (*Media Access Control*) es el nivel bajo de los sub-niveles del nivel del enlace de datos. El protocolo más predominante en el sub-nivel MAC es el *Ethernet*.

Ethernet fue desarrollado por la corporación Xerox en la década de los 70's. *Ethernet* fue la base tecnológica para la especificación IEEE 802.3, la cual aparece en la década de los 80's.

El término *Ethernet* es usualmente usado para referirse a las redes LAN con la tecnología de acceso múltiple de portadora con detección de colisión (*CSMA/CD Carrier Sense múltiple Access / Collision Detection*).

Las redes *Ethernet* e IEEE 802.3 especifican tecnologías similares. Ambas son redes de área local CSMA/CD y ambas son redes de *broadcast* o difusión. En otras palabras, todas las estaciones ven todas las tramas o frames, independientemente de que sean o no destinadas a ellas. Cada estación debe examinar las tramas recibidas para determinar si la estación es un destino, si es así, la trama es pasada a un nivel de protocolo superior para su procesamiento.

Figura 45. Nombres de los componentes del nivel físico IEEE 802.3

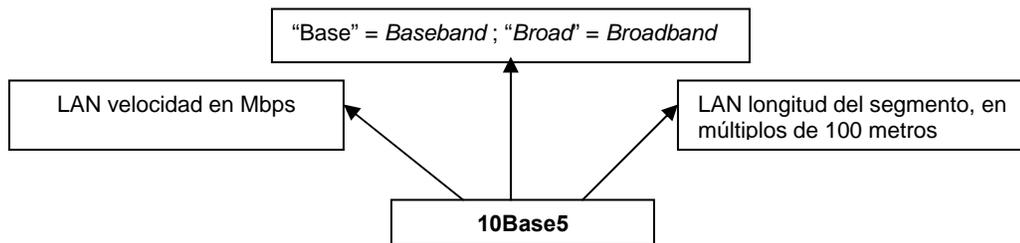


Tabla VIII. Características de Ethernet versión 2 e IEEE 802.3

Características	Valor Ethernet	Valores IEEE 802.3				
		10Base5	10Base2	1Base5	10BaseT	10 Broad36
Razón de datos (Mbps)	10	10	10	1	10	10
Método de señalización	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband	Baseband
Máxima longitud de segmento (metros)	500	500	185	250	100 (UTP)	1800
Media	50 – Ohm coaxial	50 – Ohm coaxial	50 – Ohm coaxial	Unshielded twisted pair wire (UTP)	Unshielded twisted pair wire (UTP)	75 – Ohm coaxial
Topología	Bus	Bus	Bus	Estrella	Estrella	Bus

Fuente: Carlos Roberto Zamora Abadía, **Enrutadores y puentes: herramientas para la integración y conectividad de redes**, Pág. XX

3.3.4 Protocolos ruteables

Dentro de los protocolos ruteables el mas interesante y el que mayor auge ha cobrado es el protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol e Internet Protocol*).

Estos protocolos o protocolo pueden ser usados para comunicarse a través de cualquier grupo de redes interconectadas. Estos son igualmente empleados en redes LAN así como en redes WAN.

3.4 Protocolo TCP/IP

El protocolo TCP/IP es quizás el protocolo de comunicaciones mas importante de los últimos años, es el protocolo mayormente empleado en las redes telemáticas por su versatilidad y soporte, sin embargo existen varias razones que le han permitido llegar a ocupar el espacio que hoy ocupa en las redes de transmisión de datos.

- TCP/IP es ideal para unir hardware y *software* distintos.
- TCP/IP puede integrar muchas clases distintas de redes, puede correr sobre redes Ethernet, *token ring*, redes X.25, líneas discadas en redes de conmutación de circuitos, prácticamente sobre cualquier red y sobre cualquier medio de transmisión,
- Posee un esquema común de direccionamiento que permite a cualquier dispositivo o elemento de red comunicarse con otro dispositivo de la red sin equivocación aún y cuando esta red fuera enorme.

Estas características hacen que del protocolo TCP/IP el protocolo ideal para las redes DPLC, dado que puede unir cualquier dispositivo que pueda manejar dicho protocolo, empleando cualquier medio de comunicación en el caso de DPLC las líneas eléctricas, sin distinción alguna del tamaño de la red.

3.4.1 Arquitectura del protocolo TCP/IP

Aunque no hay un acuerdo universal acerca de cómo describir la arquitectura del protocolo TCP/IP con un modelo de capas, similar al modelo OSI, (modelo que cuenta con siete capas definidas por la “Organización Internacional para la Estandarización ISO²).

A diferencia del protocolo TCP/IP, el modelo OSI no es un protocolo ni contiene protocolos, únicamente establece reglas, fronteras y un lenguaje claro a fin de que los sistemas que se atienen a dichas normas o reglas pueden comunicarse abiertamente.

La mayoría de descripciones de TCP/IP definen de tres a cinco capas funcionales en la arquitectura del protocolo. Cada capa tiene sus propias e independientes estructuras de datos, conceptualmente una capa no se percata de la estructura de datos empleada en las capas superiores e inferiores a ella.

Las capas más descriptivas son:

- Capa de acceso a la red
- Capa de *Internet*
- Capa de Transporte
- Capa de Aplicación

² Ver Anexo A.

Tabla IX. Estructura de los datos

Capa de Aplicación	TCP	Stream	UDP	Message
Capa de Transporte		Segment		Packet
Capa de <i>Internet</i>		Datagram		Datagram
Capa de acceso		Frame		Frame

Fuente: Adaptada, Freddy Estuardo Rodríguez Quezada, **Impacto del protocolo TCP/IP en la gerencia de la red pública de datos y en el desarrollo de redes privadas de comunicación**, Pág. XX

Capa de acceso a la red

La capa de acceso a la red es la mas baja de la jerarquía del protocolo TCP/IP, acá se proveen los medios para que el sistema envíe los datos a los otros elementos de red. Esta capa define como se emplea la red para transmitir y encapsular datagramas IP así como mapeo de direcciones IP a las direcciones físicas usadas por la red; los datagramas son el formato definido por el protocolo *Internet*, son paquetes o bloques de datos que llevan información necesaria para ser enviados como si fueran una carta postal, con una dirección asociada,

A diferencia de las capas de mas alto nivel, la capa de acceso a la red, debe conocer con detalle la red física que soporta la transmisión de los paquetes, para formatear correctamente los datos que están siendo transmitidos y consentir con las limitaciones de la red, esta capa puede contener las funciones de las tres capas mas bajas del modelo OSI. (Capa física, Capa de enlace y Capa de red).

Una de las fortalezas de TCP/IP es su esquema de direccionamiento; ya que únicamente identifica cada elemento o servidor en la red.

Capa de *Internet*

La capa inmediata superior a la capa de acceso a la red, es la capa de *Internet*. El protocolo *Internet*, RFC 791, es el corazón de TCP/IP y es a la vez el protocolo más importante en la capa de *Internet*.

IP o *Internet Protocol* provee el servicio básico de envío de paquetes sobre el cual se construyen las redes TCP/IP. Todos los protocolos en las capas arriba y debajo de IP, usan el protocolo de *Internet* para enviar datos, es decir todos los datos fluyen a través de IP, sin importar su destino final.

IP es la piedra angular de *Internet* y dentro de sus funciones están:

- Definir el datagrama.
- Definir el esquema de direccionamiento de *Internet*
- Mover los datos entre la capa de acceso a la red y la capa de transporte.
- Enrutamiento de datagramas a servidores remotos.
- Fragmentación y re-ensamble de datagramas.

El protocolo IP es además un protocolo sin conexión, es decir no intercambia señales de control para establecer una conexión de extremo a extremo antes de empezar la transmisión de datos, en contraste con otros protocolos que si envían señales de control, el protocolo IP confía en protocolos de las otras capas para establecer la conexión, así también para el control, detección y corrección de errores, de tal forma que el protocolo IP se limita únicamente al envío de datos.

Capa de transporte

La capa de protocolo justamente arriba de la capa *Internet* es la capa de transporte servidor a servidor. Este nombre es usualmente acortado a capa de transporte. Los dos protocolos más importantes en la capa de transporte son el protocolo de control de transmisión (TCP) y el protocolo de usuarios de datagramas (UDP).

TCP provee un servicio de envío de datos confiable con detección y corrección de errores de extremo a extremo, orientado a conexión.

UDP provee un servicio de envío de datagramas sin conexión, de poca complicación.

Ambos protocolos envían datos entre la capa de aplicación y la capa de *Internet*.

Capa de aplicación

Esta capa incluye todos los procesos que usan los protocolos de la capa de transporte para enviar datos. Hay varios protocolos de aplicación. La mayoría provee servicios de usuarios y todos los nuevos servicios siempre se añaden a esta capa. Los protocolos de aplicación mayormente conocidos son:

TELNET: Protocolo terminal de Red, provee autenticación de usuario remoto por la red.

FTP: Protocolo de transferencia de archivos, se emplea para transferencia de archivos.

SMTP: Protocolo de Transferencia Simple de Correo, protocolo que envía el correo electrónico.

DNS: Servicio de Dominio de Nombres, mapea direcciones IP a los nombres asignados a los dispositivos de red.

RIP: Protocolo de Información de Enrutamiento, es usado por los dispositivos de red para intercambiar información de rutas o enrutamiento.

NFS: Sistema de Archivos de Red., permite que los archivos sean compartidos por varios servidores en la red.

3.4.2 La dirección IP

Un punto clave del éxito del protocolo TCP/IP lo representa el hecho de poseer un esquema de direccionamiento que permite a un dispositivo comunicarse con otro sin equivocación, esto se logra mediante la asignación de direcciones a los elementos de la red.

Para hacer lo anterior, y permitir que los datos se muevan entre puntos específicos, el protocolo de *Internet* (IP) mueve los datos entre servidores en la forma de datagramas. Cada datagrama se envía a una dirección, llamada dirección IP.

Las direcciones IP, a menudo, son llamadas direcciones de servidor ó dirección servidor, en realidad esto es hasta cierto punto un error, o simplemente engañoso. En realidad las direcciones IP son asignadas a interfaces de red, no a sistemas de computadoras en si.

La dirección IP esta formada por 32 *bits*, para identificar una interfaz y a la red a la cual esta conectada. Hay cuatro formatos para la dirección IP, cada uno de los cuales se utiliza dependiendo del tamaño de la red. Los cuatro formatos son:

- Clase A
- Clase B
- Clase C
- Clase D

Aunque últimamente se ha añadido la clase E.

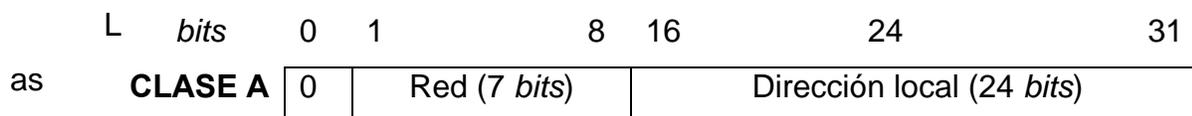
Conceptualmente, cada dirección esta compuesta por dos partes una que identifica la red (*Netid*) y otra que identifica los servidores, estaciones finales o *host* dentro de la red (*Hostid*).

La clase se identifica mediante las primeras secuencias de *bits*, a partir de los 3 primeros *bits* (de orden más alto).

Las direcciones de Clase A corresponden a redes grandes con muchas máquinas. Las direcciones en decimal son 0.1.0.0 hasta la 126.0.0.0.

Si el primer *bit* es 0, esta es una dirección de red clase A, los siete *bits* siguientes identifican a la red y los últimos veinticuatro *bits* identifican a la estación final.

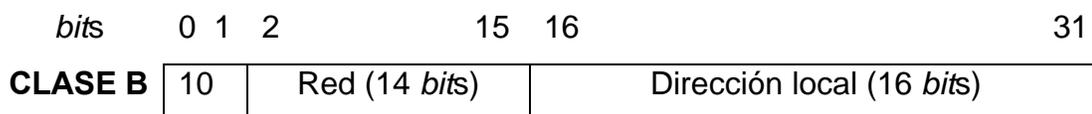
Por lo que hay por lo menos 126 números de red clase A, cada red clase A puede estar compuesta por millones de estaciones (aprox. 16 millones)



direcciones Clase B sirven para redes de tamaño intermedio, y el rango de direcciones varía desde el 128.0.0.0 hasta el 191.255.0.0.

Si los primeros dos *bit* son 1 0, esta es una dirección de red clase B, los catorce *bits* siguientes identifican a la red y los últimos dieciséis *bits* identifican a la estación final.

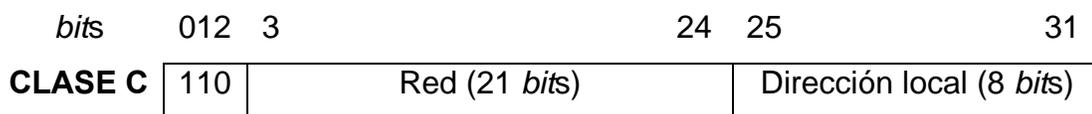
Por lo que hay por lo menos 16384 números de red clase B, cada red clase B puede estar compuesta por miles de estaciones (aprox. 65,536)



En las direcciones Clase C el rango de direcciones varía desde el 192.0.1.0 hasta el 223.255.255.255.

Si los primeros tres *bit* son 1 1 0, esta es una dirección de red clase C, los 21 *bits* siguientes identifican a la red y los últimos ocho *bits* identifican a la estación final.

Por lo que hay por lo menos 2 millones de números de red clase C, cada red clase C puede estar compuesta de menos de 254 estaciones.



Finalmente, las direcciones de Clase D se usan con fines de multidifusión, cuando se quiere una difusión general a más de un dispositivo. El rango es de 224.0.0.0 hasta 239.255.235.255.



Cabe decir entonces que, aunque las direcciones de clase E serán en el futuro, Comprenden el rango desde 224.0.0.0 hasta el 247.255.255.255

Por tanto las direcciones IP son cuatro conjuntos de ocho *bits*, con un total de 32 *bits*. Por comodidad estos *bits* se representan como si estuvieran separados por un punto, por lo que el formato de una dirección IP puede ser red.host.host.host para clase A hasta red.red.red.host para clase C.

A partir de una dirección IP, una red puede determinar si los datos se enviarán a través de una *Router* (elemento de red que será tratado con mayor detalle en la sección siguiente). Obviamente, si la dirección de la red es la misma que la dirección actual se evitara el *router*, pero todas las demás direcciones de red se enrutarán a un *router* para que salgan de la red local. El ruteador que reciba los datos que se deben transmitir a otra red, determinara la ruta o enrutamiento a seguir con base a la dirección IP del destino, y de una tabla interna que contiene la información de las rutas o enrutamientos.

3.5 Elementos de red DPLC y su similitud con elementos de red convencional

Los elementos o dispositivos de red DPLC, mantienen una cierta similitud con los elementos de una red convencional de transmisión de datos, tales como: *routers*, *switch's* y módems.

Sin embargo en la realidad no hay ninguna similitud real entre un elemento y otro, aunque para propósitos descriptivos pueden compararse los dispositivos como semejantes.

Router

Router o ruteador, es un dispositivo de propósito general diseñado para segmentar redes, con la idea de limitar tráfico de difusión o *broadcast*, a la vez que proporciona seguridad, control y redundancia entre redes. También puede dar un acceso económico a una red de área amplia WAN y proporcionar un servicio de *firewall* ó pared de fuego, para evitar el acceso de usuarios no autorizados.

Un ruteador opera en la capa 3 del modelo OSI (Capa de Red), esta capa como se discutió anteriormente, es una de las tres sobre las que se basa la capa de acceso a red, primera capa en la arquitectura del protocolo IP, un ruteador además puede distinguir los distintos protocolos de red, tales como el protocolo de *Internet* ó IP. Esta capacidad le permite hacer una decisión inteligente al momento de enviar los paquetes.

El ruteador es responsable de crear y mantener tablas de ruteo para cada capa de protocolo de red, estas tablas son creadas ya sea estáticamente o dinámicamente. De esta manera el ruteador extrae de la capa de red la dirección IP destino y realiza una decisión de envío basado sobre el contenido de la especificación del protocolo en la tabla de ruteo.

Dado que el ruteador es un dispositivo inteligente, puede seleccionar una mejor ruta de envío de paquetes, basándose sobre diversos factores, más que por la dirección MAC destino o red LAN destino, (ver 3.3 Protocolos de Comunicación/ Protocolos de los sub-niveles LLC y MAC). Estos factores pueden incluir cuenta de saltos, velocidad de línea, retraso y condiciones de tráfico. La desventaja es que el proceso adicional de procesado de tramas por un ruteador puede incrementar el tiempo de espera.

Switch

Un *switch* es un dispositivo de propósito especial diseñado para resolver problemas de rendimiento de red, debido a anchos de banda pequeños y colisiones en redes de medio compartido, puede agregar mayor ancho de banda, acelerar la salida de paquetes, reducir tiempo de espera.

El *switch* segmenta de manera económica una red dentro de pequeños dominios de colisiones, obteniendo un alto porcentaje de ancho de banda para cada estación final o host. No están diseñados con el propósito principal de un control óptimo sobre la red o como la fuente última de seguridad, (tal como lo hace el router que si posee un firewall).

El *switch* al segmentar un dominio de colisiones de una red de área local LAN, en pequeños dominios de colisión, reduce o casi elimina la competencia entre estaciones por el medio, dando a cada una de las estaciones un ancho de banda mayor, resolviendo un problema de ancho de banda.

Un *switch* opera en la capa 2 del modelo OSI (Capa de Enlace), esta capa, es una de las tres sobre las que se basa la capa de acceso a red, primera capa en la arquitectura del protocolo IP.

Aunque el *switch* y el ruteador pueden realizar algunas tareas de manera similar existen diferencias muy marcadas entre ambos. Un switch reenvía los paquetes únicamente en base a la dirección MAC, contrario al ruteador que se apoya mayormente en protocolos de red, y no sobre la dirección MAC, además de poseer mayores facilidades de *software*. Un *switch* acelera la salida de paquetes y reduce los tiempos de espera, contrario al router que eleva los tiempos de espera debido a procesos adicionales de ruteo.

Módem

En la fuente de la información, un módem o modulador - demodulador convierte las señales digitales en señales analógicas para poder ser transmitidas a través de las facilidades de las comunicaciones análogas. En el destino, las señales son convertidas nuevamente en su forma digital original. Los módem le permiten a los datos ser transmitidos a través de una línea no diseñada para tales efectos.

Un módem opera en la capa 1 del modelo OSI (Capa de enlace), en esta capa se definen los estándares tanto de señalización, como de niveles eléctricos y formas mecánicas de las interfases.

El módem no es un equipo inteligente, únicamente convierte las señales de una forma a otra, existen dos clases de módem los analógicos y los digitales, la diferencia de los segundos sobre los primeros, radica en el hecho que los módems digitales transmiten las señales de las fuentes de información en banda base, y se emplean en la interconexiones de redes de área local, o redes de área amplia.

3.5.1 *Head End (HE) contra Router*

A pesar de que el funcionamiento del HE para la transmisión de datos puede ser interpretado como un *router*, existen grandes abismos en el modus operandi de ambos.

Si bien el HE es empleado para conectar una red troncal de datos, con una red LAN interconectada vía DPLC, tal como lo hace un *router*, la primera diferencia se encuentra en la capa OSI de operación; el *router* opera en la capa 3, mientras que todos los equipos DPLC operan en la capa 1 de OSI.

El HE no maneja tablas de ruteo, contrario al *router* que si lo hace, de igual forma el HE no basa su operación en el protocolo IP, aunque si tiene una dirección IP asociada en su interfaz ethernet, este es un claro ejemplo de la virtud del protocolo TCP/IP que al asociar una dirección IP a una interfaz permite interconectar equipos de naturaleza distinta.

Finalmente el *router* es un equipo inteligente al momento de decidir que ruta tomar para llegar al destino, sin importar el ancho de banda de cada señal proveniente de las estaciones pertenecientes a la red LAN fuente, en contraste con el HE que no decide rutas simplemente interconecta el enlace “Ultima Milla” con la red troncal, con consideraciones de ancho de banda empleado por cada elemento o estación de la red LAN PLC.

3.5.2 Home Gateway (HG) contra Switch

El *switch* es un elemento de red empleado para segmentar redes y a la vez concentra estaciones en un solo punto o nodo, este punto o modo de operación del switch se asemeja al modo de operación del HG, ya que este concentra un número N (como lo permita el ancho de banda) de estaciones conectadas a la red eléctrica vía módem DPLC o CPE.

Sin embargo la primera diferencia existente, al igual que con el HE y el *router*, es la capa OSI de operación, ya que el *switch* opera en la capa 2, mientras que el HG opera en la capa 1.

Otra diferencia sería la capacidad del *switch* de segmentar redes, virtud que no esta presente en los HG.

3.5.3 *Customer Premises Equipment (CPE) contra Módem*

A diferencia del HE y el HG, equipos que tienen más diferencias que similitudes con el *router* el *switch*, respectivamente, el equipamiento *Customer Premises Equipment* o CPE, es muy similar a un módem análogo.

Los dos equipos operan en la capa 1 de OSI, posibilitan la transmisión de datos en líneas de transmisión diseñadas para otros fines, tales como; transmisión de voz o potencia. Los dos equipos convierten las señales digitales a otro tipo de señal mediante modulaciones analógicas y/o digitales.

Finalmente aunque los equipos DPLC son parecidos en funcionamiento a los equipos empleados en la transmisión de datos de las redes telemáticas, no hay que perder de vista que los equipos DPLC únicamente permiten la transmisión de datos vía la red eléctrica, manejando la señal entre ellos, con una forma distinta a una señal en banda base, tal como lo hacen los ruteadores, *switch* o módems digitales,

Tal y como se vio, el CPE es muy similar al módem análogo convencional en contraste con los otros equipos DPLC, por que al igual que el módem análogo permite la transmisión de datos sobre la red telefónica, el CPE permite la transmisión sobre la red eléctrica, sin embargo para efectos prácticos una línea telefónica no permite conectar varias estaciones o computadoras con un ancho de banda para cada una aceptable, mientras que una línea eléctrica con el apoyo de estos equipos DPLC, sí permite dar anchos de banda aceptables a varias estaciones conectadas a la misma. Así pues estos equipos conforman en cierta manera una red LAN PLC, soportada directamente a un enlace última milla, para su posterior conexión a la red troncal.

3.6 Topologías de redes DPLC

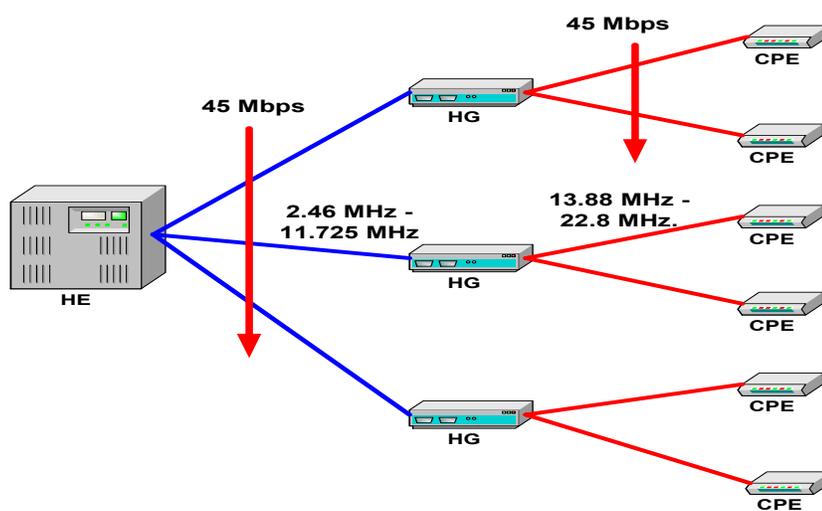
3.6.1 Topología standard punto multipunto

En esta topología la comunicación entre el HE y los HG, emplea el rango de frecuencias mostrado en la figura 46, de igual manera la comunicación entre el HG y los CPE, emplea el rango alto de las frecuencias DPLC, como se observa en el mismo gráfico.

Si los HG son instalados en el cuarto de máquinas, de un edificio, la atenuación entre el HE y los primeros es alrededor de 30dB o más. Los HG pueden operar simultáneamente sin generar interferencia.

Con esta topología, la máxima tasa de transferencia que puede ser alcanzada entre el HE y cualquier CPE es 45 Mbps.

Figura 46. Topología punto multipunto



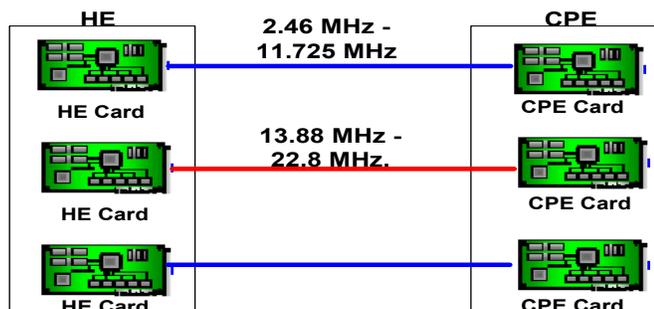
Fuente: Adaptada, DS2, *DS2 technology description design of systems on silicon*, Pág. 24

3.6.2 Topología multi enlace (punto a punto)

En esta topología múltiples HE's y múltiples CPE's son instalados para conectar dos puntos, usando enlaces paralelos. Tres tarjetas pueden ser instaladas en un HE y tres en un CPE.

La máxima tasa de datos que pueden ser alcanzadas es 135 Mbps (3 X 45 Mbps), pero esta configuración tiene la desventaja de no ser extensible con repetidores adicionales o HG's, en contraste con la topología estándar.

Figura 47. Topología punto a punto



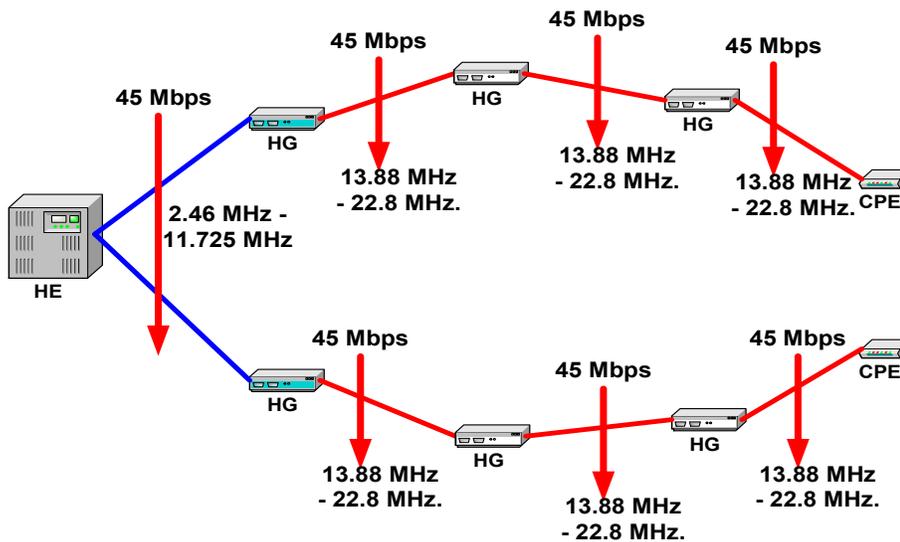
Fuente: Adaptada, DS2, **DS2 technology description design of systems on silicon**, Pág. 25

3.6.3 Topología multi salto

Esta topología es especialmente diseñada para implementar enlaces que necesiten alcanzar distancias muy largas. Elementos de repetición pueden ser instalados, incrementando la distancia efectiva. Este tipo de conexión es posible debido, a que, con la longitud aumenta la atenuación llegando a ser suficientemente alta para permitir la reutilización de frecuencias libremente, si la atenuación no fuera alta, entonces los repetidores no serían necesarios.

El incremento de repetidores en el enlace entre el HE y el CPE; puede incrementar el tiempo de latencia, generalmente 2 ms. por salto, si el salto es un enlace punto a punto.

Figura 48. Topología multi salto



Fuente: Adaptada, DS2, **DS2 technology description design of systems on silicon**, Pág. 26

3.6.3.1 Descripción de coexistencia entre HE's

La coexistencia entre HE's esta basada en multiplexión de frecuencia. Si algunas frecuencias deben ser usadas por muchos HE's o HG's, entonces debe existir una alta atenuación entre ellos. Si la atenuación es muy alta 35dB. o más, entonces el sistema puede transmitir con un desempeño óptimo, alcanzando la velocidad de transferencia de 45 Mbps. Si la atenuación es baja, entonces la relación señal –ruido (SNR) es limitada por el valor de la atenuación. La distancia mínima entre equipamientos HE, depende de la atenuación.

Controles de potencia dinámicos son usados en cada HE para reducir la interferencia Inter-HE, garantizando que cada HE transmita con el mínimo nivel de potencia necesario para alcanzar el valor de atenuación que limite la SNR. El máximo número de HE's o HG's que pueden estar en una misma red de potencia, depende de la topología.

3.7 Seguridad de la información

Dado que, en la actualidad el tema de la seguridad informática es un tema al que se le da mucha relevancia, por el hecho de que el mal uso de la información puede provocar; fraudes, pérdida, espionaje industrial o mal uso de recursos, etc. Las empresas velan mucho, para que no exista fuga de información confidencial por medios tanto humanos como tecnológicos. Otro punto en esta misma línea; aplica al suministrador de un servicio de transmisión de datos, que utilice la red eléctrica como enlace ultima milla, quien debe velar para que el ancho de banda contratado por un usuario, sea empleado solo por él, o a los que; él – el usuario - autorice, a fin, de que nadie sin autorización pero si con acceso a la red eléctrica pueda hacer uso de tal enlace.

Debido a tales consideraciones, los suministradores e instaladores de equipo deben de tomarse en cuenta algunos conceptos electromagnéticos para la construcción de una red DPLC que garanticen en cierto grado la seguridad de la información, además de esto los equipo deben integrar protecciones generadas por medio de *software*, que garanticen que solo un usuario registrado puede tener acceso a la red LAN, a través de un enlace DPLC.

3.7.1 Blindaje de líneas de transmisión

El propósito de una línea de transmisión es llevar energía o información de un punto a otro tan eficientemente como sea posible. Con corrientes continuas o de frecuencia cero, las únicas pérdidas presentes en las líneas son la resistencia en serie y la conductancia en paralelo, mientras que para corrientes alternas con frecuencias distintas de cero, en especial las corrientes de alta frecuencia, la línea puede empezar a tener pérdidas por radiación, ya que puede actuar en cierta medida como antena y la potencia puede ser radiada hacia el espacio o recibida desde el espacio. Si la línea de transmisión lleva información, (voz, datos, video, etc) tal acción o comportamiento de antena puede introducir ruido indeseado e interferencias en la línea, disminuyendo por lo tanto el rendimiento de la misma y haciendo que la línea sea activa en el sentido que la energía entra en ella en otros lugares y no en sus terminales de entrada.

Para evitar esto, es necesario aislar los campos electromagnéticos de la línea de los elementos circundantes, y a esto se le llama **blindaje**.

En el caso de las líneas de distribución eléctrica, existen dos maneras de blindarlas.

Dado que en una línea de transmisión bifilar (dos conductores) los campos eléctricos y magnéticos no están confinados y se extienden teóricamente hacia el infinito, La línea debe ser encerrada en un tubo metálico mejorando el blindaje al llenar el tubo con material dieléctrico, esto en realidad simula una línea coaxial, la cual confina los campos electromagnéticos dentro de si. Sin embargo esto es poco práctico para las líneas de distribución de alta, media tensión.

Otra técnica para mejorar el blindaje es agrupar conductores en paralelo.

Debido a que en voltajes altos, el efecto corona y sus consecuentes pérdidas de potencia e interferencia en las telecomunicaciones puede ser excesiva si el circuito tiene un solo conductor por fase, es sabido, que el gradiente de voltaje en la superficie de un conductor se reduce considerablemente (y por lo tanto el efecto corona) si se tienen dos o más conductores por fase que estén a una distancia que, comparada con la distancia que hay entre fases sea relativamente pequeña.

El agrupamiento consiste en dos, tres o cuatro conductores. La corriente no se repartirá exactamente entre los conductores a menos que exista una transposición de conductores dentro del grupo.

Merece la pena aclarar que aún y cuando estas líneas en principio solo transporten potencia se les coloca generalmente un blindaje por configuración de conductores. Blindaje que para efectos de transmisión de información es completamente necesario.

El blindaje por configuración de conductores es una manera relativamente fácil de implantar sin mencionar su practicidad, y funciona muy bien tanto para transmisión de potencia como de información.

Por lo que los enlaces o redes DPLC, confirman el hecho de poder adaptarse a la red existente, al encontrarse como primer paso líneas ya blindadas que no requieren un solo trabajo de adecuación para poder inyectar la señal DPLC desde la subestación.

Finalmente vale la pena mencionar que, si bien la técnica de encerrar conductores no es práctica en las redes de media tensión, si que puede emplearse y en algunas formas de hecho se usa en las redes de baja tensión interna de los hogares, ambiente en el que las condiciones de interferencias varían.

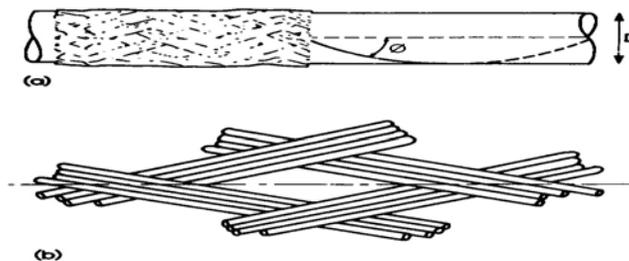
3.7.2 Protección de los conductores

A pesar de que los conductores pueden tener un aislamiento “natural” contra las interferencias, logrado mediante la maximización de la distancia de separación entre conductores, y mediante cuidados durante la instalación (evitando paralelismo donde sea posible) la manera más sencilla de proteger los conductores de las interferencias es apantallarlos o aislarlos, a través de técnicas o adhesión de materiales.

3.7.2.1 Apantallamiento

El apantallamiento se usa para proteger los circuitos sensibles a los campos externos y minimizar las emisiones.

Figura 49. Permeabilidad o filtración de cables cruzados



Fuente: Norman Ellis, *Interferencias eléctricas handbook*, Pág. 130

Cuando una onda electromagnética se encuentra de frente con un medio conductor habrá cierta reflexión en su superficie, pero también alguna penetración en el material y disipación de energía dentro de su densidad. Algunos de los rayos que alcancen la superficie interna más distante del material sufrirán reflexión interna, mientras que si el aislamiento no es demasiado grueso, también habrá un campo emergente, como en la figura 49.

La calidad del apantallamiento se conoce como **efectividad del aislamiento**. Como la efectividad total del aislamiento puede tener varios órdenes de magnitud, generalmente se expresa en dB, siendo 20 veces el logaritmo del índice de fuerza del campo incidente en relación con la fuerza del campo emergente. Por ejemplo, una reducción de 100:1 es de 40dB, y de 10:1 es de 20dB.

El apantallamiento más efectivo, es el recubrir el conductor, mediante metal sólido, pero su desventaja está en la carencia de flexibilidad y en el incremento de peso que esto provoca. Para mejorar la flexibilidad se puede utilizar una cinta metalizada helicoidal o un aislante trenzado.

Para profundizar más en este tema es necesario consultar fuentes especializadas en estas técnicas. Este trabajo, únicamente hace referencia a lo relacionado a los factores que interfieren o que pueden influir en las redes DPLC y como contrarrestarlos sin hacer cambios significativos en la red eléctrica interna de baja tensión, considerando que las redes DPLC están pensadas para adaptarse a la infraestructura existente, a fin de no hacer nuevas inversiones en cableado ya sea apantallado por recubrimiento metalizado o no.

3.7.3 Seguridad de la información por *software*

Autenticación y autorización: para que un CPE pueda tener acceso a la red, debe ser reconocido y autorizado por el HE, ya que la configuración de estos equipos esta basada en una configuración maestro-esclavo ellos establecen una comunicación encriptada entre ambos equipamientos los cuales deben de poder entenderse. Cualquier CPE que no sea autorizado no podrá conectarse a la red, no podrá compartir recursos y sus transmisiones simplemente serán desechadas.

Modulación específica por usuario variable en tiempo real: cualquier mensaje transmitido a través de la red DPLC, es modulado acorde al nivel de ruido, específicamente a la relación señal ruido (SNR), medida para cada CPE, y esta modulación puede cambiar en tiempo real dependiendo de los cambios en las características de la línea. La modulación exacta debe ser conocida, a fin de que cada elemento en alerta, sepa en que momento y en que orden recibirá y transmitirá información. La información sobre como modular en la transmisión es comunicada en el momento de recibir la información y viceversa, y considerando que la información viaja encriptada, pretender infiltrar un equipo no autorizado es una tarea muy difícil.

Encriptación³: se emplea cuando el nivel de seguridad es alto.

802.1q VLAN: este protocolo aísla eficientemente a un usuario de otro, o un grupo de otro, todo esto controlado por el HE, y configurado por el operador o administrador de la red, así como también, la restricción de permisos para acceder o no a un recurso de la red.

Finalmente está disponible para aplicaciones delicadas, encriptaciones VPN.

³ Ver Anexo B

3.8 Ventajas técnicas de las redes *Digital Power Line Carrier*

La ventaja principal de una red DPLC sobre todas las demás que posee, es el poder llegar a todos los hogares a través de la red eléctrica.

Dado que la infraestructura eléctrica llega a la mayor parte de las regiones, los costos de enlaces última milla, se ven reducidos notablemente, debido a que no hay necesidad de realizar nuevos tendidos de cable, ni obra civil para implantar la tecnología.

A manera de comparación; construir un enlace última milla vía PLC, con todo el equipamiento necesario, y otro vía fibra óptica, el enlace PLC es aproximadamente el 75% más barato que el de fibra, alcanzando el enlace una distancia máxima de 3 Kilómetros.

Lo anterior permite ver a las empresas distribuidoras de energía eléctrica, como posibles operadores de telecomunicaciones capaces de poder ofrecer en cualquier momento a cualquier usuario, servicios de telecomunicaciones, tales como: transmisión de datos, transmisión de voz a través de IP, video bajo demanda, acceso a *Internet*,

Además de los servicios que puede ofrecer la empresa eléctrica obtiene beneficios propios, como: poder interconectar sus distintas subestaciones o centros de transformación, tener telecontrol y telemedida tanto de sus medidores de energía en las subestaciones, como en los medidores de sus usuarios.

Mientras que a nivel de usuario se puede tener una LAN en el hogar sin necesidad de cableado nuevo, automatización de su hogar (Domótica) interconectando electrodomésticos u otros aparatos que posean una dirección IP, a través de la red de baja tensión e interconexión a redes públicas de telecomunicación.

Sin embargo, aún y cuando la empresa distribuidora de energía decidiera incursionar en el campo de las telecomunicaciones, debe primero construir una red troncal para transporte de datos que soporte todos los servicios mencionados, esta red puede estar soportada bajo cualquier tipo de topología y tecnología.

4. ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 Guía para el desarrollo y ejecución de pruebas piloto DPLC

4.1.1 Objetivos de la prueba piloto

La realización de una prueba piloto tiene como objetivos principales:

- a) Comprobar la viabilidad técnica de la construcción de una red DPLC en un segmento de la red eléctrica para luego extenderla a otras partes de la red,
- b) Evaluar la rentabilidad del proyecto a mediano y largo plazo.

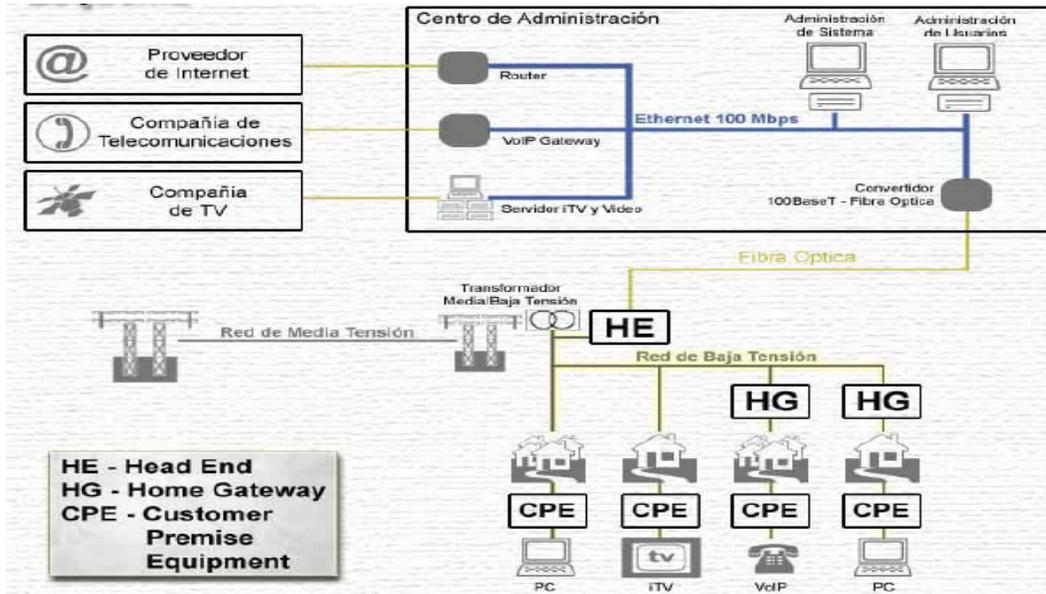
4.1.2 Prueba de campo

El desarrollo de una prueba de campo puede tener una amplia variación según los objetivos perseguidos. A continuación se detallan cada uno de los puntos que deben ser considerados, para lograr los objetivos anteriormente mencionados

Esquema general

En la prueba de campo existirán una serie de usuarios que dispondrán en sus instalaciones de una serie de servicios brindados mediante DPLC. Estos equipos serán controlados y administrados desde una Centro de Control al cual llegarán conexiones de proveedores para poder brindar los servicios.

Figura 50. Esquema general red DPLC



Fuente: EBA CORP. *Power line communications*, Informe *FieldTrial*, Pág. 2

Tareas a realizar

A continuación se listan una serie de pasos para llevar a cabo en la ejecución de una prueba de campo

A) Visión de la prueba (4 semanas)

- Seleccionar el personal responsable de ejecutar la prueba o el proyecto de campo, comenzando con la selección del líder del "Proyecto Prueba Piloto" y a las personas encargadas de brindarle soporte..
- Seleccionar el alcance de la prueba de campo
- Definir los objetivos de la prueba de campo para poder evaluar resultados.

B) Investigación preliminar (5 Semanas)

- Investigar y documentar información general respecto de otras pruebas.
- Selección de servicios a probar y/o utilizar
- La documentación de esta etapa debe incluir todos los parámetros a analizar y las condiciones del campo (número de usuarios, cantidad de usuarios por transformador, niveles de voltaje, impedancias, potencias, etc.) para esto puede establecerse una matriz o protocolo de pruebas.

C) Análisis y selección de la localidad (3 semanas)

- Análisis de las distintas áreas donde se puede llevar a cabo la prueba piloto. Análisis de mediciones de capacidad del medio y ruido en las líneas.
- Selección del posible campo de operaciones
- Análisis y selección de los usuarios del sistema

D) Diseño de la prueba piloto (2 semanas)

- Análisis y selección de proveedores de servicios externos, tales como, telefonía, *Internet*, transmisión de datos, etc.
- Análisis y selección de *software* y hardware interviniente necesario para ejecutar las pruebas o NMS de servicio.

E) Acuerdos (5 semanas)

- Acuerdos con los proveedores de servicios
- Acuerdos con socios o *partners* tecnológicos
- Acuerdos con los usuarios

F) Instalaciones y ajustes (1 semana)

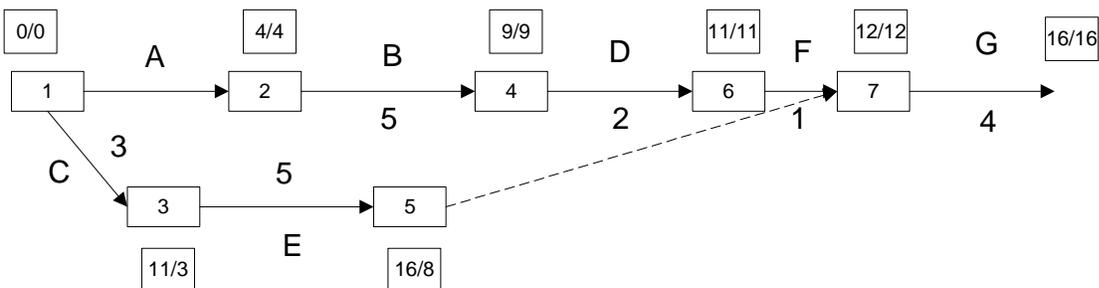
- Instalación de equipamiento en el centro de control.
- Pruebas de funcionamiento de equipos en una red *ethernet* y/o *fast ethernet*.
- Instalación de equipamientos en campo
- Instalación de conectividad con los proveedores de servicios externos
- Integración de la solución completa.

G) Prueba y análisis completo (4 semanas)

- Medición de resultados (ver punto siguiente)
- Elaboración de informes de rendimientos, costos y análisis finales
- Preparación de presentaciones técnicas y no técnicas.

Las tareas anteriormente mencionadas se grafican en un diagrama PERT de ruta crítica, Ver figura 51.

Figura 51. Diagrama PERT de las actividades a realizar para la prueba de campo



Protocolo de pruebas y mediciones

- Compatibilidad de equipos.
- Desempeño de transmisión; punto a punto y punto a multipuntos
- Facilidad de instalación
- Configuración remota
- Interferencias
- Escalabilidad del ancho de banda.
- Calidad del Servicio
- Facilidad de mantenimiento y diagnóstico de fallas
- Posibilidad de conexión
- Coexistencia con otras tecnologías (X10, *CEBus*, etc.)
- Privacidad de la información transmitida

Requerimientos de *hardware* y *software* en centro de gestión

Los requerimientos de *hardware* y *software* deben analizarse sobre la base de los servicios que se deseen probar, a continuación se detallan para cada servicio los elementos necesarios:

Centro de control / *ShowRoom*

- Computadoras para pruebas
- Computadora de control, *Network Management System* (NMS)
- Cableado estructurado 100BaseT
- Gabinete para equipamiento
- Equipamiento activo de red

Equipamiento

- CPEs
- HEs
- HGs

Transmisión de datos (Red IP) – Acceso a *Internet*

- *Routers*
- Conectividad proveedor externo o ISP
- *Switch* de datos
- Conexiones a proveedor externo
- *Cache / Proxy Server*
- Servidor *Web* y de correo electrónico

Servicio *In-Home* LAN

El servicio de *In-Home* LAN puede ser probado colocando más de un CPE dentro de la misma casa o edificio, es recomendable realizar algún tipo de estudio de abonados o acometidas, contadores, etc. para determinar cantidad de accesos simultáneos al resto de los servicios y que hogares podrían tener un menor desempeño.

Servicio de juegos en Red

Al poseer la comunicación de datos establecida se puede realizar sesiones de juegos en red sin mayores requerimientos. Luego de seleccionar los juegos a utilizar el único requerimiento es comprar las licencias de uso correspondientes.

Servicio de telefonía sobre IP / voz sobre IP

Existen dos servicios diferenciados al considerar la transmisión de la voz sobre redes de datos:

Telefonía sobre IP: Se refiere a utilizar el sistema de transmisión de datos para crear líneas telefónicas tradicionales, con los servicios que esto implica: un número de teléfono por usuario, servicios de transferencia de llamadas, facturación detallada, etc. Con este servicio se logra que cada usuario utilice el servicio de Telefonía/IP como un servicio de telefonía tradicional.

Voz sobre IP: Se refiere a la transmisión de la voz por la red de datos, sin importar la forma de acceso al servicio, no implica un reemplazo de la telefonía tradicional, en general es usado en empresas donde se cuenta con una salida al exterior (telefonía tradicional) y un sistema para identificar a los usuarios.

Cualquiera de los servicios requieren de:

- *Gateway* con la red externa
- Sistema de facturación y control.
- Interfaces para teléfonos comunes o Teléfonos IP

Servicio de transmisión de audio y radio

- Estación receptora y codificadora de la señal
- Servidor de *streaming* para transmitir la señal
- *Software* de emisión de la señal: Microsoft *Media Player*, *Real Player*, etc.

Servicio de transmisión de películas bajo demanda o televisión interactiva

- TV
- Salida de video desde una PC o STB
- Prototipo de *software* para iTV
- Teclado inalámbrico o *Webpad*
- Digitalización de películas
- Equipo para digitalizar
- *Software* de reproducción
- Prototipo de *software* de compra / acceso a las películas

Servicio de transmisión de videoconferencias

- Cámaras de escritorio
- Cámaras con placa decodificadora
- *Software* de video conferencia (*NetMeeting, PalTalk, etc.*)

Servicio de control y monitoreo remoto

- Cámara de video con distintos ejes de movilidad controlables vía IP

Requerimientos de Recursos Humanos

En la prueba de campo se requerirá de personal especializado en PLC o DPLC y personal de la distribuidora eléctrica. El objetivo es armar un grupo de trabajo en el cual el personal de la empresa eléctrica se capacite para tres tareas técnicas básicas: Nivel físico, nivel de servicios y soporte ante problemas. Este personal será supervisado por un líder de proyecto designado anteriormente quien será el encargado de administrar el proyecto como un todo.

Requerimientos a nivel físico

Este personal será el encargado de la instalación de los equipamientos y su conexión inicial. Entre sus responsabilidades se encuentran:

- Lograr inyectar la señal de los HEs y HGs
- Instalación de los equipos
- Analizar las alternativas de posicionamiento de HGs
- Control y monitoreo de los niveles de potencia de la señal
- Monitoreo de los enlaces con proveedores externos

Requerimientos a nivel de servicios

El personal de esta área será el encargado de brindar la solución perceptible para el usuario final. Entre sus responsabilidades se encuentran:

- Integración de los servicios de alto nivel (voz IP, navegación por *Internet*, transmisiones de video, etc.).
- Integración de los equipos de red IP.
- Integración de los equipos para brindar los servicios específicos.
- Monitoreo de la calidad de los servicios brindados.

Soporte ante problemas o gestión de red

El personal en esta área será el encargado de la recepción y registro de los problemas que se presenten en la prueba de campo y derivará al resto del personal la ejecución de las tareas preventivas y correctivas. Este personal tendrá a su cargo:

- Recolección de inconvenientes por distintas vías (teléfono, correo electrónico, fax, etc.)
- Registro de problemas
- Derivar al área adecuada para dar la solución final
- Verificar que el cliente haya recibido la solución adecuada

Capacitación

Para la capacitación del personal de la empresa eléctrica se deberá considerar una capacitación inicial en forma de un curso introductorio y una capacitación para la administración de los distintos servicios de alto nivel. Estos últimos pueden ser dictados por terceros especializados.

- Un curso introductorio
- Curso/s de administración de servicios.

Cantidad de integrantes del equipo

La cantidad puede variar dependiendo de la dimensión de la prueba de campo, el requerimiento de tiempos a cumplir, el área de la prueba, etc.

Para pruebas de hasta cien usuarios se puede crear por ejemplo un equipo de tres personas, cada una responsable de un área (soporte, nivel físico y nivel de servicios) con dedicación exclusiva, un líder de proyecto con dedicación parcial y un equipo de dos personas para tareas de conectividad de bajo nivel y movimiento de equipos con dedicación parcial, según los requerimientos del resto de los responsables.

Para pruebas de campo de mayor dimensión, más de mil usuarios, se deberá incrementar el personal considerando:

- De soporte dependiendo de la cantidad de reclamos recibidos y la banda horaria afectada a la recepción /atención de los mismos. Equipo mínimo tres o cuatro personas.
- De nivel físico dependiendo de la celeridad de instalación de equipamiento deseada. Equipo mínimo dos personas.
- En el equipo del nivel de servicios pueden contratarse soporte externo. Equipo mínimo de dos personas.

Requerimientos económicos

El análisis de los costos depende de los servicios que se desean brindar, la cantidad de usuarios y la disponibilidad de equipamiento, esto implica que el costo variará en todos los casos. Este tema se amplía más en la sección 4.3.

Requerimientos de tiempo

El tiempo de instalación e implementación de una prueba de campo estará regido por los servicios que se deseen implementar, guardando una base mínima:

- Instalación de la central de administración e integración de *software* base: treinta días hábiles.
- Instalación de servicios de terceros (telefonía, *Internet*, etc.): treinta días a cuarenta y cinco días hábiles. Este tiempo corresponde en su mayoría a los tiempos requeridos por los proveedores externos, no son manejables por la distribuidora eléctrica.
- Instalación de los HEs o HGs: 32 horas / hombre (dos días de dos personas por equipo)
- Instalación de los CPEs: 4 horas / hombre en los primeros 10 CPEs, el resto 2 horas / hombre por equipo.

4.1.3 Guía para adquisición de información de la red de baja tensión del usuario final

Un punto clave, para desarrollar con éxito una prueba piloto y en general cualquier proyecto, es conocer con antelación las condiciones particulares del medio, tal y como lo describe la sección de “estudio preliminar”.

Considerando que la información de la red de media tensión puede ser suministrada por la misma distribuidora, no hay problema alguno, pero en el caso de los hogares y edificios que es finalmente a donde hay que llevar el servicio, no es viable ir de casa en casa o de edificio en edificio determinando las condiciones eléctricas, particulares de cada usuario. Por tal razón se presentan una guía o checklist que puede recabar esta información, (solicitando al usuario que la proporcione o que la indique) de una manera fácil y sencilla, tanto para la red de baja tensión interna de un edificio, como para la red de baja tensión interna de un hogar.

Contenido del *checklist* “Edificios / Casas”

Instalación Eléctrica

Descripción General

- Descripción general de la distribución de energía dentro del edificio, indicando como se realiza la “distribución horizontal”, es decir, dentro de cada piso y la “distribución vertical” entre los diferentes pisos.
- Cantidad de unidades (departamentos u oficinas) dentro del edificio. distribución de las unidades por piso.
- Mapa eléctrico del lugar, con la topología en planos.
- Voltaje de operación en baja tensión (110 VAC: 220 VAC; etc.)
- Alimentación de energía del edificio. (Subestación de Media a Baja tensión propia, más de una, etc.)
- Tipo de conector utilizado (comúnmente) por los clientes: Americano, Europeo, Australiano

Cableado

- Tipo de cableado. Utilización de tierra y/o neutro, etc. Diámetro de los cables utilizados en la distribución de energía.
- Tipo de conexión con cada cliente: 3 fases + neutro; 1 fase + neutro; uso de neutro, uso de tierra; tierra = neutro; etc.

Tableros de distribución

- Cantidad de tableros o cuadros de distribución, distancias entre cuadros, como están constituidas las conexiones entre los diferentes tableros (barras, cableado único, múltiples cables por fase, etc.)
- Diferentes tipos de tableros, principales, secundarios, terciarios, etc.
- Espacios disponibles en los tableros para la ubicación de elementos (*coupling units*, repetidores)
- Ubicación y tipo de medidores de energía
- Distancia promedio desde el cuadro de distribución a los Usuarios.
- Tipo de interruptores de protección (disyuntores u otros) utilizados en los tableros, en particular: Amperaje, cantidad de fases, marca, modelo.
- Elementos en tableros dentro de cada cliente. Tipo de interruptores de protección (disyuntores u otros) utilizados: Amperaje, cantidad de fases, marca, modelo.

Desarrollo de la prueba de campo

- ¿Qué servicios se desean recibir de la prueba de campo?
- ¿Distancia al centro de control y tipo de conectividad?.
- ¿Las PC de usuario final las proveerá la eléctrica o pertenecerían a los clientes? (Si la PC pertenece al usuario se recomienda una PC con las siguientes características mínimas para no opacar la velocidad de la red: Procesador Pentium II MMX o similar con memoria RAM 64 Mbps, puerto *ethernet* 10BaseT).
- ¿Quién será el interlocutor del edificio sobre cuestiones técnicas y quién el responsable interno del proyecto?

Otros (Cualquier otro dato que se considere relevante)

4.1.4 Preguntas sobre la implantación de un sistema DPLC

Como complemento final de la guía, se plantean algunas preguntas que en cualquier momento pueden ser realizadas por un usuario, común y corriente, esto aparte de brindar modos de respuesta, resume de alguna forma, lo que a lo largo de este trabajo se ha venido describiendo.

**¿Qué condiciones físicas requiere el cable de potencia de 110/220 voltios?
¿Son cables especiales? ¿Pueden ser preensamblados?**

Los cables necesarios son cables estándar, los mismos utilizados para el suministro eléctrico.

Pueden ser preensamblados, de hecho, existe una ventaja ya que por cables preensamblados la señal se transmite mejor pues hay mayor acoplamiento de la señal.

Otra característica es que el sistema funciona mejor con instalaciones subterráneas, ya que las instalaciones aéreas son más propensas a la captación de ruido.

¿Qué distancia máxima puede haber entre el HE y el HG y entre éste y los CPE?

La distancia asegurada para 45 Mbps, entre el HE y HG es de 1500 metros, dependiendo del ruido de la instalación puede llegar a 2,500/3,000 metros. Esta transmisión se realiza en el rango de frecuencias de 1 a 13 Mhz. La distancia entre HG y CPEs es menor debido a la utilización del rango alto de 13 a 30 Mhz.

¿Qué restricciones existen con respecto a los capacitores de compensación de carga que existen en la línea de baja tensión?

Estos capacitores son inocuos, no afectan la señal pues están conectados en paralelo a la línea y no producen corte de la misma.

Los elementos que pueden generar un corte en la señal son disyuntores de más de 150 A (con bobinas). Para solucionar este tema se puede hacer un puente con capacitores que transmitan la señal de 10nF / 630V.

¿Es necesario alguna adaptación eléctrica para los medidores de energía?

No, los medidores instalados no deben ser modificados o adaptados.

¿En un edificio se conecta un solo módem CPE o se conecta uno por cada usuario?

Se debe conectar un módem CPE por usuario.

¿Cómo se conecta normalmente los HE con los servers de *Internet* o centros de transmisión de video? Por ejemplo, si se desea conexión tipo IP ¿con que medio físico se llega normalmente a los HE?

El medio más simple es llegar con fibra óptica mediante una red propia o alquilada.

Para inyectar la información de la red de fibra óptica a la red *Digital Power Line Carrier* se debe usar un acoplador que convierte la señal entre los dos sistemas.

¿Ventajas del sistema DPLC sobre ADSL?

En ADSL sólo el 10 % de las líneas pueden tener servicio. ADSL posee problemas de escala, cuando existen en un mismo edificio múltiples usuarios. Puede darse el caso de no poder agregar más usuarios. ADSL está limitado a las bocas de salida telefónica. Si en un hogar se poseen múltiples líneas telefónicas, tendrán que contratar más de un servicio o distribuir con otro tipo de red in-home. La distribución in-home suele realizarse con un *hub* o *switch ethernet* y cableado extra.

¿Ventajas del sistema DPLC sobre redes de microondas?

La instalación de la antena suele ser complicada. En la mayoría de los casos requiere alcance visual de la antena central (o repetidora) El cable de la antena no es sencillo de maniobrar para ingresarlo a hogares suele tener entre 12 mm. y 20 mm. de diámetro. Si la cantidad de conexiones es importante (edificio) suele ser complicado la instalación de múltiples antenas. En estos casos los proveedores de servicio dan acceso a múltiples usuarios con una antena, disminuyendo la calidad del servicio. Existen problemas de interferencias de radio frecuencia, la adquisición de licencias para operación depende del ente gubernamental, lo que ocasiona gastos y atrasos. La distribución *in-home* suele realizarse con un *hub* o *switch ethernet* y cableado extra.

4.1 Modalidades de negocio

Con el fin de comercializar los servicios que una red DPLC soporta, las empresas eléctricas pueden plantear un modelo de negocio en el que pueda participar una empresa de telecomunicaciones con presencia en el mercado, logrando de esta manera una sinergia beneficiosa para ambas empresas.

Aún y cuando no hay nada escrito en torno al nivel de participación que podría tener la empresa eléctrica en este tipo de uniones, pueden definirse por lo menos tres modalidades:

- La empresa eléctrica domina el 100% del servicio de telecomunicaciones, con lo cual se convierte en un operador de telecomunicaciones más.

- La empresa eléctrica tiene un porcentaje de participación que podría ir desde un 30% hasta un 70% u 80%.

- La empresa eléctrica cede derechos a la empresa de telecomunicaciones, con lo cual no tiene participación y únicamente cobra un porcentaje por arrendamiento de infraestructura o derecho de paso.

Cada uno de estos tres modelos tiene sus ventajas y desventajas, que pueden o no, inclinar la balanza hacia uno u otro lado, al momento de tomar una decisión estratégica.

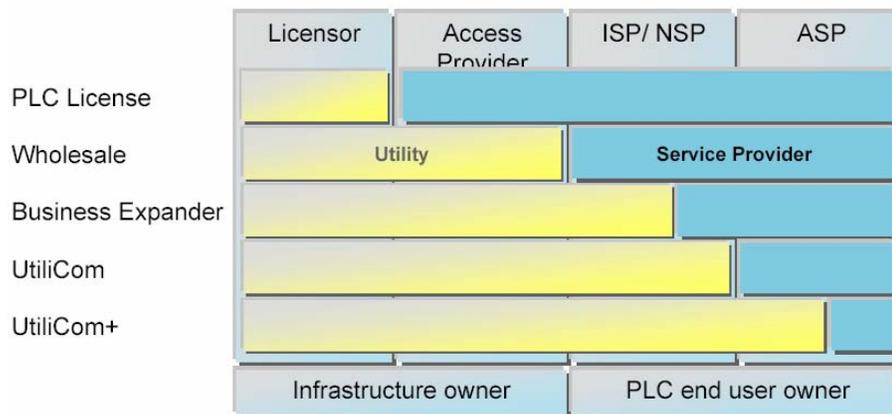
La figura 52 detalla lo anterior, en la primera fila, la empresa eléctrica, únicamente vela por su infraestructura pero no expande sus líneas de negocio.

En la segunda hay un punto de equilibrio, ambas empresas tienen el 50% de participación.

En la tercera la empresa eléctrica, expande sus líneas de negocio y entra en el terreno del operador.

En la cuarta y quinta, la empresa eléctrica domina la participación, llegando al punto de convertirse en un operador más de telecomunicaciones.

Figura 52. Modelos de negocio *power line communications*



Fuente: Ascom, **Business Opportunities**, Pág. 20

Puede pensarse en algún momento que el punto óptimo, de participación de la distribuidora, puede ser el tener 50% de participación, con muy buenas perspectivas de éxito.

En este modelo se compartirían; los servicios operacionales, la infraestructura, y sobre todo se tendría un gran impacto en el mercado.

Lo que permite plantear un modelo de negocio, que contemple:

- *Service Legal Agreement* (SLA por sus siglas en ingles) entre el proveedor de acceso y la empresa eléctrica.
- Derechos de entrada por suscriptor.
- División de utilidades generadas por la sociedad.
- Entrada al mercado de los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

En general las ventajas tanto tecnológicas como económicas, hacen ver al DPLC o *Power Line Communications* con un enorme potencial para aplicaciones futuras.

4.3 Análisis económico

El análisis económico es hecho en base en la modalidad de negocio basado en la cesión de derechos de parte de la empresa eléctrica para cualquier operador de telecomunicaciones en Guatemala, en base a lo anterior se considera que el equipamiento PLC necesario podría ser parte de la eléctrica y por ende los costos de instalación y mantenimiento corre por cuenta de esta, siguiendo en esta línea la eléctrica podría hacer la inversión y estimar el costo del equipamiento, la cantidad de usuarios que podrían cubrirse por transformador de baja tensión, así como los costos de operación por usuario. De tal forma que sea cualquier empresa de telecomunicaciones la que explote todos estos enlaces de ultima milla por red eléctrica, a la vez que sea esta la que se encargue de llevar a todas las subestaciones eléctricas la troncal de comunicaciones, así como del mercadeo de los productos, publicidad y tarifas de cada uno de ellos, para el usuario final. En ese sentido, la eléctrica trataría exclusivamente con la empresa arrendante, cobrando una tarifa única por punto de explotación o transformador de baja tensión.

A continuación se presentan las tablas X y XI con el costo de los distintos elementos PLC, como base para la estimación a tarifas a cobrar, tiempo de retorno de la inversión entre otros.

Tabla X. Costo del equipamiento para media tensión

EQUIPAMIENTO MEDIA TENSIÓN	COSTO (Q)
Adaptadores de impedancia (MV)	Q 36,512.00
<i>Head End</i> (HE)	Q 6,588.00
INVERSION INICIAL MEDIA TENSIÓN	Q 43,100.00

Tabla XI. Costo del equipamiento para baja tensión

EQUIPAMIENTO BAJA TENSIÓN	COSTO (Q)
<i>Home Gateway (HG)</i>	Q 6,588.00
<i>Customer Premises Equipment (CPE)</i>	Q 2400.00
INVERSION INICIAL BAJA TENSIÓN	Q 6,988.00

Vale mencionar que el costo que se indica para el CPE, es por una sola unidad. Además es conveniente indicar que en la topología de red eléctrica de Guatemala existen tres tipos de transformadores de baja tensión mayormente usados los de 10 KVA y los de 25 KVA, no así el de 35 KVA, cada uno soporta generalmente 10 y 25 usuarios respectivamente.

Se hace mención de lo anterior debido a que, las tablas X y XI indican el costo en equipamiento PLC para un solo usuario es de Q 50,088.00, pero no hay que perder de vista que el equipamiento de media tensión es instalado en una subestación y que es empleado para iluminar varios bancos de transformación de media a baja tensión.

De igual manera el equipamiento HG es instalado en cada banco de transformación de media a baja tensión y es empleado para iluminar los distintos CPE.

En un banco de transformación de los grandes (25 KVA) puede haber hasta 25 clientes eléctricos dependiendo de un mismo transformador, pero de esos 25 se estima que un 10% van a querer comprar los servicios PLC. (Estimación de marketing). Por lo tanto si se ofrecen servicios PLC en un banco de transformación de baja tensión y se consigue entre un 10 o un 15% de los clientes, se puede considerar una buena penetración en un mercado competitivo. En uno menos competitivo, un 20% es razonable.

Siguiendo en esa línea, puede verse que si desde una subestación se ilumina con un solo equipo PLC, a 10 transformadores de 25 KVA, y se tiene una penetración del 10% por transformador, estaríamos llegando a 30 clientes inicialmente, de 250 clientes potenciales.

Los costos para este ejemplo son los siguientes ver Tabla X y XII.

Tabla XII. Costo del equipamiento para baja tensión en 10 transformadores de media a baja tensión

EQUIPAMIENTO BAJA TENSIÓN	COSTO (Q)
10 <i>Home Gateway</i> (HG)	Q 65,880.00
30 <i>Customer Premises Equipment</i> (CPE)	Q 72,600.00
INVERSION INICIAL BAJA TENSIÓN	Q 138,480.00

Por lo tanto para una penetración mayor, los costos por usuario disminuyen drásticamente; en este caso a Q 6,052.66 por usuario DPLC. Continuando con este ejemplo, para que la cesión de derechos sea rentable tanto para la empresa distribuidora eléctrica como para la empresa de telecomunicaciones, ¿que tarifa es conveniente establecer? y ¿en cuanto tiempo se recuperaría la inversión hecha por la distribuidora?

La tabla XIII refleja el ejercicio económico empleado para encontrar el punto de equilibrio o punto en el que flujo de dinero empieza a ser positivo, mediante la utilización de la herramienta económica VPN o Valor Actual Neto.

Para la realización de este ejercicio se parte de las siguientes prerrogativas.

Primero: La inversión de la eléctrica en equipos PLC es del 100%.

Segundo: Se considera que la empresa eléctrica tiene ya una estructura definida, en la que existe un departamento de telecomunicaciones y sistemas, así como oficinas existentes, por lo que se considera que del total del sueldo de los empleados en este departamento un 20% del mismo corresponde a actividades relacionadas a este nuevo servicio, así como un 50% del gasto por concepto de renta de oficina, y servicios básicos de la misma corresponden a este nuevo proyecto.

Se considera un incremento del 5% por el índice inflacionario en el sueldo de los empleados durante los primeros seis años.

Tercero: Se considera que el equipamiento CPE difícilmente puede ser vendido al usuario, y con el fin de recuperar la inversión en un menor tiempo se puede entrar en una modalidad de renta que amortice el costo del CPE en 24 meses.

Tabla XXIII. Flujo de efectivo

EVALUACION ECONOMICA DE LA INVERSION PARA UN SISTEMA DIGITAL POWER LINE CARRIER												
USUARIOS/ANO	30	30	30	50	50	50	50	30	30	30	50	
INVERSION INICIAL	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Equipos	0181,580.00	072,800.00	072,800.00	0120,000.00	0120,000.00	0120,000.00	0120,000.00	0181,580.00	072,800.00	072,800.00	0120,000.00	
Instalación de equipos	018,158.00	07,280.00	07,280.00	012,000.00	012,000.00	012,000.00	012,000.00	018,158.00	07,280.00	07,280.00	012,000.00	
Estudio de factibilidad	08,000.00							08,000.00				
Certificación de enlaces	08,000.00							08,000.00				
Mobiliario, equipo oficina	032,000.00											
Equipo de Computo	030,000.00											
Vehículo	0125,000.00											
Capacitación	015,000.00											
	0417,738.00	079,860.00	079,860.00	0132,000.00	0132,000.00	0132,000.00	0215,738.00	079,860.00	079,860.00	0132,000.00	0132,000.00	
GASTOS ANUALES	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 9	
Mantenimiento	00.00	018,158.00	07,280.00	07,280.00	012,100.00	012,100.00	012,100.00	012,100.00	012,100.00	012,100.00	012,100.00	
Jeefe de proyecto	047,712.00	050,097.60	052,602.48	055,232.60	057,994.23	060,893.95	063,938.64	067,135.58	070,482.35	074,018.97	077,717.82	
Responsables de area (3)	095,424.00	0100,195.20	0105,204.96	0110,465.21	0115,988.47	0121,787.89	0127,877.29	0134,271.15	0140,984.71	0148,033.94	0155,435.64	
Técnico	019,880.00	020,874.00	021,917.70	023,013.59	024,164.26	025,372.48	026,641.10	027,973.16	029,371.61	030,840.40	032,382.43	
Secretaria	011,928.00	012,524.40	013,150.62	013,808.15	014,498.56	015,223.49	015,984.66	016,783.89	017,623.09	018,504.24	019,429.46	
Alquiler de oficina	08,000.00	08,160.00	08,568.00	08,996.40	09,446.22	09,918.53	010,414.46	010,935.18	011,481.94	012,056.04	012,658.84	
Telefono	01,500.00	01,515.00	01,590.75	01,670.29	01,753.80	01,841.49	01,933.57	02,030.24	02,131.76	02,238.34	02,350.26	
Agua	01,250.00	01,262.50	01,275.13	01,287.88	01,300.76	01,313.76	01,326.90	01,340.17	01,353.57	01,367.11	01,380.78	
Electricidad	04,000.00	04,040.00	04,080.40	04,121.20	04,162.42	04,204.04	04,246.08	04,288.54	04,331.43	04,374.74	04,418.49	
Suministros y papelería	08,000.00	08,800.00	09,680.00	010,648.00	011,712.80	012,884.08	014,172.49	015,589.74	017,148.71	018,863.58	020,749.94	
Enlace de datos	0900.00	0945.00	0992.25	01,041.88	01,093.96	01,148.65	01,206.09	01,266.39	01,329.71	01,396.20	01,466.01	
Combustible y servicios	040,000.00	042,000.00	044,100.00	046,305.00	048,620.25	051,051.28	053,603.83	056,284.02	059,098.22	062,053.13	065,155.79	
	0238,594.00	0268,571.70	0270,422.29	0283,850.18	0302,835.72	0317,239.62	0333,445.10	0349,998.06	0367,447.30	0386,844.70	0405,245.44	
USUARIOS	30	60	90	140	190	240	270	300	330	380	420	
INGRESOS ANUALES	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 9	
Tarifa anual por usuarios	085,559.66	0171,119.31	0256,678.97	0399,278.40	0541,977.83	0684,477.26	0770,036.92	0855,596.57	0941,156.23	01,038,755.66	01,137,835.20	
Renta anual modems	036,000.00	072,000.00	0108,000.00	0168,000.00	0228,000.00	0288,000.00	0324,000.00	0360,000.00	0396,000.00	0456,000.00	0504,000.00	
	0121,559.66	0243,119.31	0364,678.97	0567,278.40	0769,877.83	0972,477.26	01,094,036.92	01,215,596.57	01,337,156.23	01,529,755.66	01,701,835.20	
Flujo de caja neto	-0594,772.34	-0105,312.39	014,396.69	0151,428.22	0335,042.11	0522,737.64	0544,853.82	0785,738.52	0889,848.93	01,021,910.96	01,164,589.77	
PARAMETROS	Tasa de corte		12.00%		VPPI (3 años)		-0454,947.04		VPPI (5 años)		00.00	
	Tarifa mensual por usuario		\$29.71		VPPI (10 años)		01,546,518.96		Renta mensual de CPE		\$12.50	

De la tabla anterior puede verse que para que el Valor Presente Neto o VPN sea igual a cero en cinco años y se empiece a obtener ganancias, es necesario aplicar una tarifa al operador de telecomunicaciones por usuario DPLC igual a \$29.71 mas una renta por módem CPE igual a \$12.50 valor que permite amortizar el precio de \$300.00 por CPE en veinticuatro meses, lo que da un total de \$42.21 a cancelar de parte del operador de telecomunicaciones a la empresa de distribución por usuario conectado.

Lo anterior se vuelve mas atractivo si se considera que en la Ciudad de Guatemala un operador de telecomunicaciones que de señal de televisión vía circuito cerrado de televisión, así como acceso a *Internet* por la misma conexión cobra alrededor de \$ 78.00 lo que le da un margen de ganancia del 45%.

Si a lo anterior se le agrega que por la misma conexión DPLC se puede proporcionar otros servicios, como telefonía, transmisión de datos entre redes privadas, voz sobre IP, telefonía IP, videoconferencias, entre otros lo que le da al operador de telecomunicaciones un abanico de servicios que pueden ser comercializados de distinta manera y a distintas tarifas, que incrementen la indicada arriba el proyecto se vuelve mas rentable.

Finalmente vale mencionar que la modalidad de negocio en la que la empresa de distribución se convierte en un operador de telecomunicaciones, llamada también "*Utilicom*" resulta interesante para evaluar económicamente, no se realiza por la siguiente razón:

Aunque una empresa de distribución de energía, cuenta ya con oficinas comerciales para la atención al público, recaudación de ingresos, así como sistemas de facturación y control comercial, con un departamento de telecomunicaciones y sistemas, en general con una logística ya implementada que es comparable con la de una empresa de telecomunicaciones, el incursionar en este ramo, provocaría que se perdiera el rumbo del negocio, provocando que la empresa eléctrica divida sus esfuerzos en dos negocios completamente distintos lo cual la debilitaría.

Por este motivo la tendencia actual dicta que las empresas se dediquen a gestionar el negocio que mejor manejan, dando paso a alianzas estratégicas que le permitan la diversificación de los servicios y explotación de recursos excedentes sin perder de vista la misión y visión con la que fueron creadas.

CONCLUSIONES

1. En Guatemala debido a la cobertura actual que se tiene con la red eléctrica de distribución, se tiene un mercado potencial de aproximadamente dos millones de usuarios que podrían conectarse a una red DPLC lo que supera la cantidad de usuarios actuales de servicios de telefonía y datos.
2. Los sistemas DPLC pueden conectar cualquier red LAN a cualquier red de transporte de datos independientemente de los protocolos y tecnologías empleadas, integrando cualquiera de los servicios de transmisión de voz y datos actuales, tales como, telefonía, voz sobre IP, televisión interactiva, transmisión de datos, acceso a *Internet*, etc.
3. Los sistemas DPLC constituyen el punto de intersección entre las empresas de distribución eléctrica y las empresas de telecomunicaciones, por un lado permiten a la empresa de distribución eléctrica incursionar en el ramo de las telecomunicaciones, y por el otro permiten a las empresas de telecomunicaciones ampliar su cobertura llegando a lugares donde por sus propios medios habrían demorado mucho tiempo en llegar o no llegarían.

4. En Guatemala debido al tipo de red de distribución eléctrica actual, la cual emplea bancos de transformadores de media a baja tensión con capacidades promedio de 25 KVA a un máximo de 35 KVA, y con una baja densidad de usuarios por transformador, hace que su uso para la explotación de servicios vía DPLC presente demasiados obstáculos que provocan el encarecimiento del sistema.

5. Los sistemas DPLC empleados a nivel de usuario pueden ser utilizados para la construcción de una red LAN en el hogar sin necesidad de cableado nuevo, lo que da lugar a otra técnica llamada: Domótica o automatización del hogar; interconectando electrodomésticos u otros aparatos que posean una dirección IP, a través de la red de baja tensión e interconexión a redes públicas de telecomunicación.

RECOMENDACIONES

1. Para que una red DPLC funcione de la manera más óptima, debe hacerse en la medida de lo posible, una revisión detallada de la instalación eléctrica de los edificios y de los hogares, especialmente en aquellas instalaciones que tienen más de quince años de existencia.
2. Al momento de instalar un equipamiento *Head End*, es conveniente instalarlo a una distancia mínima de cien metros desde la barra de media tensión, con el fin de atenuar los ruidos impulsivos generados por el transformador de alta a media tensión, así como el generado por los distintos elementos de la subestación, esto provoca además que la distancia del enlace se acorte, logrando así un mayor ancho de banda.
3. No deben hacerse enlaces de última milla eléctrica mayores de 1,500 mts, para garantizar un buen ancho de banda, de lo contrario, habrá que emplear la configuración multi salto lo que encarecería la aplicación.
4. En la medida de lo posible es conveniente emplear únicamente líneas trifásicas como enlaces DPLC y no líneas monofásicas, debido a que un acoplamiento de señal fase – fase es mejor por razones de compatibilidad electromagnética, que uno fase- neutro.

5. Debe tenerse cierta medida en el uso de las frecuencias en el rango de 1 a 30 Mhz, al momento de implantar un sistema DPLC, debido, a que, en la actualidad no existe ninguna regulación estatal en relación al uso de tales frecuencias en estos sistemas, pero en un futuro al llegar esta tecnología a su fase de madurez podrían entrar en vigencia regulaciones para las que no se este preparado.

6. En caso de emplear enlaces DPLC para instituciones o personas que requieran un alto grado de integridad y seguridad en la transmisión de la información, hay que emplear las técnicas mencionadas de blindaje de líneas, apantallamiento de conductores y protecciones por *software*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Padilla White, Carlos Francisco. Telemida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia. Tesis Ing. Elec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977. 53 pp.
2. Stevenson, Andrew. **Análisis de sistemas de potencia**. 2ª. ed. s.l. Editorial McGraw – Hill, 1992
3. Hayt, William H. **Teoría electromagnética**. 5ª. ed. México: Editorial McGraw – Hill, 1994. 525 pp.
4. Kraus, John D. **Electrómagnetismo**. 3ª. ed. México: Editorial McGraw – Hill, 1986. 852 pp.
5. Ellis, Norman. **Interferencias eléctricas handbook**. España: Editorial Paraninfo, 1998. 302 pp.
6. Rodríguez Quezada, Freddy Estuardo. Impacto del protocolo de comunicaciones TCP/IP en la gerencia de la red pública de datos y en el desarrollo de redes privadas de comunicación. Tesis Ing. Electro. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995.
7. Zamora Abadía, Carlos Roberto. Enrutadores y puentes: Herramientas para la integración y conectividad de redes. Tesis Ing. Elec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998
8. Dostert, Klaus. **Powerline communications**, Estados Unidos: Editorial Prentice Hall, 2001. 338 pp.
9. Tanenbaum, Andrew S. **Redes de computadoras**. 3ª. ed. México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1996. 813 pp.
10. Block, Roger R. **Fundamentos de protección contra descargas eléctricas y pulsaciones electromagnéticas**. 2ª ed. Estados Unidos: s.e. 1993. 101 pp.

11. Taub, Herbert y Donald L. Schilling. ***Principles of communications systems***. 2ª ed. Singapur: Editorial McGraw Hill International Editions, 1986. 759 pp.
12. Freeman, Roger L. ***Telecommunications transmission handbook***. 4ª ed. Estados Unidos: Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1998. 1204 pp.
13. Gonzáles Quinteiro, José María *et. al.* ***Sistemas de control para viviendas y edificios: Domótica***. España: Editorial Paraninfo, 1999. 109 pp.
14. Millman, Jacob. ***Electrónica integrada***. España: Editorial Hispano Europea, 1992. 917 pp.
15. ***DS2 technology description***. España: s.e. 2001. 49 pp.
16. ***ASCOM powerline business oportunities***. Estados Unidos: s.e. 2002.

ANEXO

Antecedentes del modelo de referencia OSI

En 1978, la ISO dio a conocer una serie de especificaciones que describen una arquitectura de red para conectar diferentes dispositivos. El documento original es aplicado a sistemas que son abiertos uno a otro, ya que todos estos podrán usar los mismos protocolos y normas para intercambiar información.

En 1984, la ISO realizó una revisión de este modelo y lo llamó OSI. La revisión de 1984 ha llegado a ser una norma internacional y sirve como guía para los trabajos de red.

La mayoría de personas conoce y utiliza este modelo como una guía para describir los ambientes de red. Los vendedores diseñan productos de red, basándose en las especificaciones del modelo OSI. El modelo OSI provee una descripción de cómo el *software* y el hardware trabajan en red en un sistema de niveles para hacer posibles las comunicaciones. También ayuda en la localización de problemas, por medio de un punto de referencia que describe cómo se supone que los componentes funcionan.

Niveles de arquitectura del modelo OSI

El modelo OSI es una arquitectura que divide la comunicación de red en siete niveles. Cada nivel cubre diferentes actividades de red, equipo o protocolos.

La figura 53, representa los niveles de arquitectura del modelo OSI. Esta división especifica funciones y servicios en diferentes niveles. Cada nivel OSI ha definido las funciones de red, y las funciones de cada nivel se comunican y trabajan con las funciones de los niveles inmediatamente arriba y debajo de cada uno de ellos.

Por ejemplo, el nivel de sesión debe comunicarse y trabajar con los niveles de transporte y presentación.

Figura 53. Los siete niveles del modelo OSI



Los niveles más bajos 1 y 2, definen los medios físicos de red y relacionan las tareas, tales como colocar la información en la red. Los niveles más altos definen cómo las aplicaciones accedan los servicios de comunicación. Cuanto más alto se encuentra cada nivel, más complejas serán sus tareas.

Cada nivel provee algún servicio o acción que prepara la información para ser distribuida sobre la red a otra computadora. Los niveles están separados uno del otro por límites llamadas interfaces. Todas las solicitudes se pasan desde un nivel a través de la interfase, al próximo nivel. Cada nivel se construye sobre las normas y actividades del nivel inferior.

La relación entre los niveles del modelo OSI

El propósito de cada nivel es proveer servicios al próximo nivel y proteger el nivel superior de los detalles de cómo los servicios se implementan realmente. Los niveles se establecen de tal forma que cada nivel actúa como si estuviera comunicado con algún nivel asociado en otra computadora.

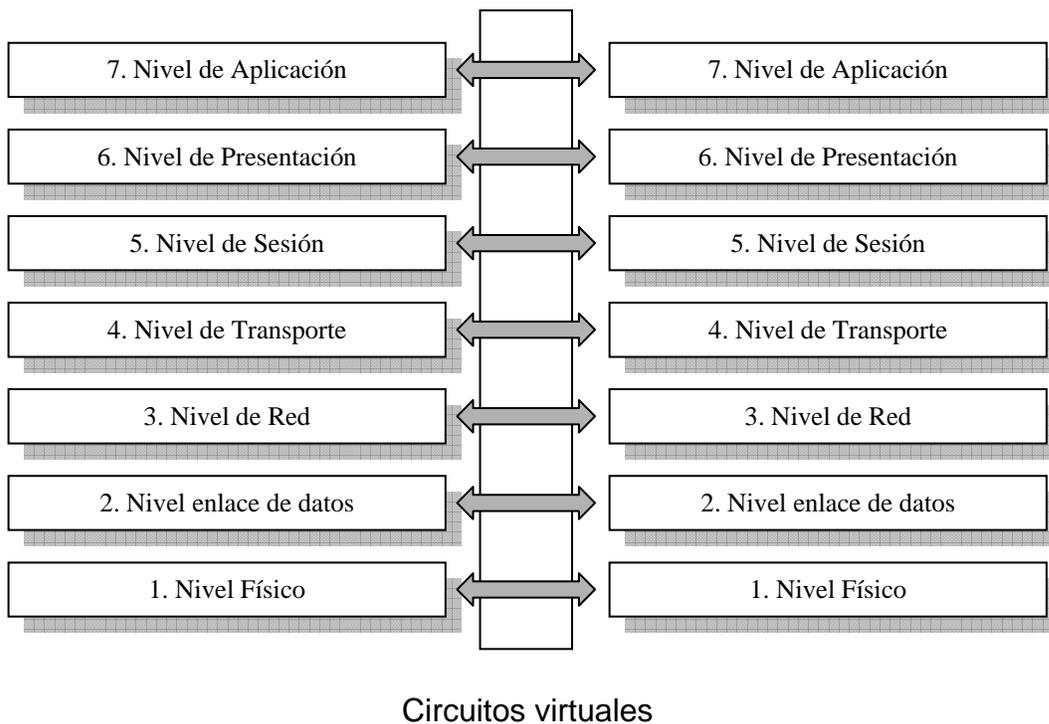
Esta es una comunicación lógica o virtual entre los niveles como se muestra en la figura 54. La comunicación real tiene lugar entre niveles adyacentes sobre una computadora. Cada nivel contiene *software* que complementa ciertas funciones de red según un conjunto de protocolos.

Antes de que la información sea trasladada desde un nivel a otro, esta es dividida en paquetes (*packets*). Un paquete es una unidad de información transmitida desde un dispositivo hacia otro en el nivel de red. La red pasa un paquete desde un nivel de *software* a otro en el orden de los niveles. En cada nivel el *software* agrega información adicional del formato o direccionamiento del paquete para que pueda ser transmitido exitosamente por medio de la red.

Al final de la recepción, el paquete pasa a través de los niveles en el orden contrario. El *software* lee la información del paquete en cada nivel, la separa y la pasa al nivel inmediato superior.

Cuando el paquete finalmente llega hasta el nivel de aplicación, la información de dirección ha sido retirada y el paquete está en su estado original y la información es leída por el receptor.

Figura 54. Relación entre los niveles del modelo OSI



Con excepción del nivel más bajo en el modelo, ningún nivel puede pasar información directamente hacia otro nivel adyacente en otra computadora. La información en la computadora remitente debe pasar por todos los niveles inferiores. Luego, la información es trasladada a través de los cables de red hasta la computadora receptora subiendo los niveles de red hasta llegar al mismo nivel en que fue enviada la información.

Por ejemplo, si el nivel de red envió información desde la computadora A, ésta se traslada hacia el nivel de enlace y el nivel físico por el lado del remitente, luego pasa por el cable subiendo por los niveles físicos y de enlace en el lado receptor hasta su destino en el nivel de red en la computadora B.

En un ambiente de cliente/servidor, un ejemplo del tipo de información que se traslada del nivel de red de la computadora A al nivel de red en la computadora B, sería una dirección de red o tal vez información de corrección de red agregada a un paquete.

La interacción entre los niveles adyacentes ocurre a través de una interfase. La interfase define desde qué servicios brinda el nivel más bajo de red hasta el más alto y cómo estos servicios serán accedados. En adición cada nivel en la computadora actúa como si se estuviera comunicando directamente con el mismo nivel en otra computadora.

A continuación se describe el propósito de cada uno de los siete niveles del modelo OSI e identifican los servicios que brindan a los niveles adyacentes.

Nivel de aplicación

Nivel 7, este nivel es el más elevado del modelo OSI. Sirve como una ventana de procesos de aplicación para acceder servicios de red. Este nivel representa los servicios que dan soporte directo a las aplicaciones del usuario, tales como *software* para transferencias de archivos, para acceso a bases de datos y para correo electrónico (*E-mail- Electronic mail*). Los niveles más bajos soportan estas tareas elaboradas por el nivel de aplicación. El nivel de aplicación en general maneja el acceso a la red, el control de flujo y la recuperación de errores.

Nivel de presentación

Nivel 6, el nivel de presentación determina el formato utilizado para intercambiar información entre computadoras en la red. Puede ser llamado el traductor en la red. En la computadora remitente, este nivel traduce la información de un formato enviado hacia abajo desde el nivel de aplicación hacia un formato intermediario comúnmente conocido. En la computadora receptora, este nivel transporta el formato intermediario en un formato útil para el nivel de aplicación de la computadora. El nivel de presentación es responsable de las conversiones de protocolo, la traducción de datos, encriptar los datos, cambiar o convertir el conjunto o conjunto de caracteres, y expandir los comandos gráficos. El nivel de presentación también maneja la compresión de datos para reducir el número de *bits* que se desean transmitir.

Una utilidad conocida como *redirector* opera en este nivel. El propósito del *redirector* es redireccionar las operaciones de entrada y salida (I/O-*input/output*) a los recursos en un servidor.

Nivel de sesión

Nivel 5, el nivel de sesión, le permite a dos aplicaciones en diferentes computadoras establecer, utilizar, y finalizar una conexión llamada sesión. Este nivel se encarga del reconocimiento de nombres y las funciones, tales como seguridad, necesarias para permitir a las dos aplicaciones que se comuniquen a través de la red.

El nivel de sesión provee la sincronización entre las tareas del usuario poniendo un punto de control en el paquete de datos. De esta forma si la red fallara, sólo los datos que estén después del último punto de control deben ser retransmitidos. Este nivel también implementa el control de diálogo entre los procesos de comunicación, regulando qué lado transmite, cuándo, por cuánto tiempo y así sucesivamente.

Nivel de transporte

Nivel 4, este nivel provee un nivel de conexión adicional abajo del nivel de sesión. El nivel de transporte asegura que los paquetes sean entregados sin errores, en secuencia, y sin pérdidas ni duplicaciones. Este nivel empaqueta de nuevo los mensajes, dividiendo los mensajes largos en varios paquetes y reúne pequeños paquetes en uno solo. Esto permite que los paquetes sean transmitidos eficientemente a través de la red. Al final de la recepción, el nivel de transporte desempaca los mensajes, reensambla los mensajes originales y por lo general envía una confirmación de envío. El nivel de transporte provee control de flujo, corrección de errores y puede resolver problemas relacionados con la transmisión y recepción de paquetes.

Nivel de red

El nivel 3, el Nivel de red es responsable de direccionar los mensajes y traducir nombres y direcciones lógicas en direcciones físicas. Este nivel también determina la ruta que va de la fuente a la computadora destino. Determina qué camino debe de tomar la información basándose en las condiciones de la red, las prioridades de servicio y otros factores. También maneja problemas de tránsito en la red, tales como la conmutación de paquetes (*packet switching*), ruteo (*routing*) y controla la congestión de los datos.

Si el adaptador de red en el ruteador (*router*) no puede transmitir grandes secciones de datos que la fuente envió, el nivel de red en el *router* compensa esto dividiendo esta información en pequeñas unidades. Una vez que la información llega a su destino, el nivel de red destino re-ensambla los datos.

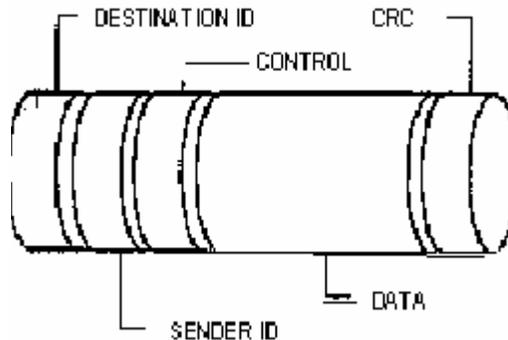
Nivel enlace de datos

El nivel 2, el nivel de enlace de datos envía tramas de información de datos (*data frames*) desde el nivel de red hasta el nivel físico. En el receptor final, se empaquetan los *bits* puros del nivel físico en *frames*. Un *frame* de datos es una estructura lógica en la cual los datos pueden ser colocados.

La figura 3, muestra un ejemplo de un simple *frame* de datos. En este ejemplo, el identificador remitente (*Sender ID*) representa la dirección de la computadora que está enviando la información, el identificador destino (*Destination ID*) representa la dirección de la computadora a quien la información fue enviada. La información de control es usada por el tipo de *frame*, el tipo de ruteo y la información de segmentación.

Los datos (*Data*) es la información por sí misma. El control cíclico de redundancia (*CRC- Cyclical Redundacy Check*) representa la corrección de errores y la verificación de información para asegurarse que el *frame* de datos sea recibido adecuadamente.

Figura 55. Un *frame* de datos simple



El nivel de enlace es responsable de brindar una transferencia sin errores de los *frames* de una computadora a otra, a través del nivel físico. Esto le permite al nivel de red asumir transmisiones sin errores a través de la conexión en red.

Generalmente, cuando el nivel de enlace envía un *frame*, espera una respuesta de confirmación por parte del receptor. El nivel de enlace receptor detecta cualquier problema con el *frame* que haya ocurrido durante la transmisión. Los *frames* que no fueron contestados o los *frames* que fueron dañados durante la transmisión, son enviados nuevamente.

Nivel físico

Es el nivel más bajo del modelo OSI. Este nivel transmite la información no estructurada en *bits* a través de un medio físico (tal como un cable de red). El nivel físico relaciona las interfaces eléctricas, ópticas, mecánicas y las interfaces funcionales al cable. El nivel físico también lleva las señales que transmiten la información generada por los niveles superiores.

Este nivel define como se conecta el cable con la tarjeta del adaptador de red. Por ejemplo, define cuantos *pines* el conector posee así como la función de cada uno. También define qué técnica de transmisión será utilizada para enviar los datos a través del cable de la red.

El nivel físico es responsable de transmitir *bits* (ceros y unos) de una computadora a otra. Los *bits* por sí mismos no tienen significado definido en este nivel. Este nivel define la codificación de datos y la sincronización de los *bits*, asegurándose que cuando un *host* envía un 1 *bit*, este sea recibido como un 1 *bit* y no como 0 *bit*. Este nivel también define cuánto tiempo dura cada *bit* y como cada *bit* es trasladado apropiadamente en un impulso eléctrico u óptico para el cable de la red.

Fuente: Tanenbaum, Andrew S. **Redes de computadoras**. 3^a. ed. México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1996. 813 pp.

ANEXO

CRIPTOGRAFÍA

La criptografía es un método para hacer que un mensaje sea ininteligible para extraños a través de diversas transformaciones del texto original. En general, un método criptográfico es una función matemática reversible cuyo resultado depende del mensaje (texto) y de un parámetro o “llave”. Si no se dispone de la llave, el tiempo necesario para interpretar el mensaje es tan grande que para cuando un externo lo logre, la información ya habrá perdido su valor.

El método de encriptado más conocido y aceptado es el **DES** (*Data Encryption Estándar*), desarrollado hace más de dos décadas. La manera en la que se usó el DES fue un triple encriptado, es decir, el mensaje se encriptaba usando tres llaves. Cada una de las llaves usadas en el DES eran de 56 *bits* de longitud, lo que generaba una longitud total de 168 *bits*, un nivel más que suficiente para garantizar la seguridad requerida.

Para interpretar los mensajes encriptados con este método se requería probar todas las llaves posibles. Si la longitud de las llaves era lo suficientemente grande, el tiempo necesario para probarlas todas sería aún mayor, por lo tanto, para cuando se lograrán descifrar ya habría pasado un lapso considerable.

El objeto era que, a través de una serie de “paredes”, “candados” y “pasaportes” informáticos se impidiese la alteración de la información electoral

en tránsito a través de la red de comunicaciones, así como el acceso de manera no autorizada a los equipos de cómputo que intervenían en el proceso.

Generación de llaves para procesos criptográficos

Para aplicar el encriptamiento y la generación de firmas electrónicas se debía producir un número de llaves suficientes; el cual funciona con llaves de ocho *bytes*.

Las características estadísticas de las llaves son las siguientes:

- a) Su aleatoriedad debe ser uniforme, es decir, que todos los rangos de llaves tengan la misma probabilidad de ocurrir.
- b) Que no exista correlación serial entre las llaves, en el sentido de que dada una cadena de llaves sucesivas, la siguiente llave en la serie tiene la misma probabilidad de ocurrir, independientemente de cual sea la cadena que la preceda y aunque se tuviera un historial de llaves antecesoras, una predicción es esencialmente equivalente a adivinar la siguiente llave, es decir, que el conocimiento de la antecesora no mejora la predicción.
- c) Deben ser llaves únicas, no debe repetirse ni una sola, por lo que se manejan probabilidades muy reducidas para garantizarlo.
- d) Las claves generadas deben ser de forma tal que no puedan ser descifradas por persona alguna, independientemente de su experiencia y conocimiento en el área informática, ni por equipo alguno, ejecutando algún programa sofisticado tendente a la ruptura de estas claves, por lo menos no en el momento en que la información tenga valor, ya que se sabe que las claves pueden romperse pero se requiere de cierto tiempo para hacerlo.

Al respecto se suelen emplear programas de computadoras orientados a la generación de códigos *pseudoaleatorios* para desarrollar estas claves, pero el resultado no es del todo perfecto porque eso implica cierto nivel de predictibilidad y la llave resultante puede ser violada si se dispone de ciertos parámetros.

En el proceso de generación de llaves se emplean caracteres aleatorios en un ambiente controlado mediante el ruido intrínseco producido por dispositivos electrónicos.

El “generador de llaves”, generalmente es un dispositivo consistente en un circuito que contiene un diodo *Zener*, una etapa de amplificación y un decodificador que digitaliza el ruido del diodo obteniéndose los *bits*, los cuales se envían a una computadora a través de uno de sus puertos de comunicaciones llamado puerto paralelo, la computadora los recibe y los combina formando con ellos un archivo. Los *bits* generados se combinan mediante una operación a nivel de *bits* o *booleana* (XOR), con una secuencia *pseudoaleatoria*. El fin es lograr una secuencia de *bits* con la misma probabilidad de que cada *bit* consecutivo sea un cero o un uno (50%).

Este dispositivo se basa en el fenómeno físico relativo al ruido eléctrico natural existente en todos los dispositivos electrónicos, las secuencias resultantes son de naturaleza más puramente aleatorias y, por consiguiente, más difíciles de predecir en comparación con aquellas desarrolladas mediante programas especiales para computadora.

Fuente: <http://www.unican.es/intranet/encrptacion.htm>

