



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica

CONSIDERACIONES GENERALES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA (PLC)

Ingrid Jessenia Batres España

Asesorada por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz

Guatemala, mayo de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES GENERALES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS A
TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA (PLC)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

INGRID JESSENIA BATRES ESPAÑA

ASESORADA POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MAYO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

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:

CONSIDERACIONES GENERALES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA (PLC),

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 21 de noviembre del 2005.

Ingrid Jessenia Batres España

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala 24 de abril de 2006

Señor
Ing. Julio Solares
Coordinador de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Señor coordinador:

Por medio de la presente informo a usted, como asesor de trabajo de graduación de la estudiante universitaria **INGRID JESSENIA BATRES ESPAÑA**, que procedí a revisar el informe final cuyo título es: **"CONSIDERACIONES GENERALES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA (PLC)"**, el cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular me es grato suscribirme de usted.

Muy atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Enrique Ruiz Carballo
Colegiado número 2225

Adjunto informe final.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala, 3 de mayo 2006.

FACULTAD DE INGENIERIA

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

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**Consideraciones Generales para transmisión de datos a través de la
Red Eléctrica (PLC)**, desarrollado por la estudiante; Ingrid Jessenia
Batres España, por considerar que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Área de Electrónica

JCSP/sro

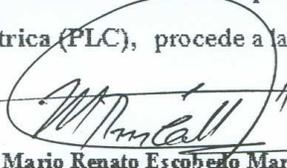


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de la estudiante; Ingrid Jessenia Batres España titulado: **Consideraciones Generales para transmisión de datos a través de la Red Eléctrica (PLC)**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 8 DE MAYO 2006.

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

Universidad de San Carlos
de Guatemala

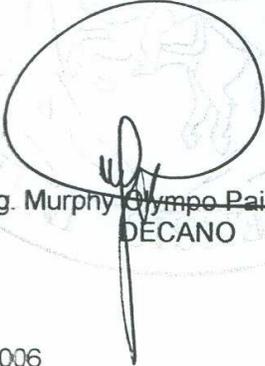


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 149-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CONSIDERACIONES GENERALES PARA TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA (PLC)**, presentado por la estudiante universitaria **Ingrid Jessenia Batres España**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, mayo 15 de 2,006

/gdech

Tudo por ti, Carosolngia Alus
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

ACTO QUE DEDICO A

Dios y la Virgen María	Por darme la sabiduría para realizar este trabajo.
Mi mamá	Sylvia España de Batres, por su esfuerzo, dedicación, apoyo y amor.
Mi papá	Julio Conrado Batres Hernández.
Mis hermanas	Sylvia Mercedes Batres España, Claudia Lucía Batres España, por su apoyo y cariño.
Mis abuelitos	Rubén España Rodas, Zoila Hermila Pinzón de España y Benjamín Batres Álvarez, por su cariño y admiración que les tengo.
Mis tíos	Rubén España Pinzón, Sandra España Pinzón y Rolando España Pinzón, por su apoyo y cariño.
Mi novio	César Augusto Montejo Cardona, por brindarme siempre su apoyo y amor.
Mis primos	Por su cariño
Mis amigos	Por todos los momentos que compartimos

AGRADECIMIENTOS A

La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Ingeniería

El Ing. Enrique Ruiz Carballo

El Ing. Byron Arrivillaga

El Ing. Jorge Guillén

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
RESUMEN.....	VII
OBJETIVOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	XI

1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA PLC

1.1. Definición	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Características	2
1.2. Funcionamiento.....	3
1.2.1. Red eléctrica	3
1.2.2. Tecnología PLC.....	4
1.2.3. Componentes básicos.....	9
1.2.3.1. <i>Head End (HE)</i>	9
1.2.3.2. <i>Home Gateway (HG)</i>	12
1.2.3.3. <i>Customer Premises Equipment (CPE)</i>	13
1.2.4. Características del canal	15
1.2.5. Técnicas de modulación.....	17
1.2.4.1 Modulación OFDM	17
1.2.4.1.1 El transmisor OFDM	19
1.2.4.1.1 El receptor OFDM.....	19
1.3. Tipos de sistemas PLC	21
1.3.1. Red PLC de acceso	21
1.3.2. Red PLC doméstica	22
1.3.3. Red PLC de media tensión.....	23

1.4. Proceso de instalación	24
1.5. Servicios	25
2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA PLC	
2.1. Ventajas	27
2.2. Desventajas	29
3. OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA	
3.1. Tipos de tecnologías	31
3.1.1 Bucle digital de abonado (xDSL)	32
3.1.1.1 Tipos de xDSL.....	33
3.1.1.2 Comparación entre tecnologías xDSL.....	39
3.1.1.3 Arquitectura, estructura y elementos de red.....	40
3.1.1.4 Ventajas y desventajas	44
3.1.2 Redes híbridas de fibra y cable (HFC)	48
3.1.2.1 Arquitectura, estructura y elementos de red.....	50
3.1.2.2 Ventajas y desventajas	53
3.1.3 Ethernet en la primera milla (EFM)	56
3.1.3.1 Arquitectura, estructura y elementos de red.....	57
3.1.3.2 Ventajas y desventajas	60
3.1.4 Bucle inalámbrico (LMDS).....	62
3.1.4.1 Arquitectura, estructura y elementos de red.....	64
3.1.4.2 Ventajas y desventajas	71
3.1.5 Redes de acceso por satélite	74
3.1.5.1 Arquitectura, estructura y elementos de red.....	76
3.1.5.2 Ventajas y desventajas	82
3.1.6 Redes locales inalámbricas (WLAN)	85
3.1.6.1 Arquitectura, estructura y elementos de red.....	86
3.1.6.2 Ventajas y desventajas	89

3.2. Comparación entre tecnologías de acceso de banda ancha.....	92
4. ANÁLISIS ECONÓMICO	
4.1. Costo.....	95
4.2. Beneficio	96
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Arquitectura de la red PLC.....	5
2.	Cabecera PLC	6
3.	Repetidor PLC	7
4.	MODEM PLC	7
5.	Rango de frecuencias de funcionamiento de la tecnología PLC.....	8
6.	<i>Head End</i> (HE).....	10
7.	Conexión <i>Head End</i> a la red eléctrica.....	11
8.	<i>Home Gateway</i> (HG)	12
9.	<i>Customer Premises Equipment</i> (CPE).....	13
10.	Conexión CPE a la red eléctrica	14
11.	Tipos de ruidos en el canal de comunicación	16
12.	Modulación OFDM.....	18
13.	Esquema básico de transmisión/recepción de OFDM	20
14.	Red PLC de acceso	22
15.	Red PLC doméstica	23
16.	Red PLC de media tensión	24
17.	Arquitectura completa operador ADSL	41
18.	Arquitectura ADSL.	43
19.	Estructura básica de una red CATV.....	48
20.	Esquema de una red HFC	52
21.	Modelo de referencia de Ethernet en la primera milla.....	57
22.	Diagrama de bloques de un nodo de acceso EFM	57
23.	Nodo construido apilando conmutadores.....	58
24.	Nodo con dos niveles de conmutación	59
25.	Estructura de una red punto a multipunto.	65

26.	Esquema de red LMDS.....	66
27.	Esquema de los CPE y los IDU dentro de un edificio	68
28.	Estación base LMDS	69
29.	Arquitectura de la cabecera y <i>backbone</i> típico de LMDS	70
30.	Red satelital unidireccional	76
31.	Red satelital híbrida	77
32.	Red satelital bidireccional	78
33.	Red WLAN ad-hoc.....	87
34.	Esquema de arquitectura de una red WLAN con infraestructura.....	87

TABLAS

I.	Comparación de tecnologías xDSL.....	39
II.	Comparación entre tecnologías de acceso de banda ancha.....	93
III.	Costo del equipo PLC	95

RESUMEN

Poder transmitir datos a través de la red eléctrica aprovechando toda la infraestructura desplegada, es una idea que data desde los primeros días de las redes eléctricas, ésto dio como resultado una tecnología llamada PLC.

PLC son las siglas de *Power Line Communications*. Esta tecnología posibilita la transmisión de voz y datos a través de una infraestructura ya desplegada, los cables eléctricos, permitiendo convertir los enchufes convencionales en conexiones a los servicios de telecomunicaciones más avanzados, como telefonía, Internet de alta velocidad, domótica entre otros.

Esta tecnología se basa en la utilización de los cables eléctricos de baja tensión como un medio de transporte desde un centro transformador hasta el cliente. El equipo necesario para la implementación de esta tecnología es un módem PLC (*Customer Premises Equipment*) por cada conexión particular, domicilio o empresa, al que se conectarán los distintos dispositivos: ordenadores, teléfonos, alarmas. Asimismo se requiere de un módem de cabecera (*Head End*) que tiene como función principal interconectar la red troncal de transmisión de datos con la red eléctrica. Y en algunos casos cuando la señal es transmitida a grandes distancias o donde existe excesiva atenuación se debe utilizar un repetidor PLC (*Home Gateway*) para amplificar la señal transmitida. Incluso este repetidor se puede utilizar también como un *router* para implementar una LAN doméstica.

OBJETIVOS

GENERAL

Definir los lineamientos técnicos y teóricos para la transmisión de datos a través de la red eléctrica (PLC)

ESPECÍFICOS

1. Investigar funcionamiento, requerimientos técnicos, ventajas y desventajas de la tecnología PLC (*Power Line Communications*)
2. Identificar los tipos de redes de telecomunicaciones que son utilizadas actualmente para la transmisión de datos.
3. Conocer los servicios agregados que brinda la tecnología PLC (*Power Line Communications*).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es prioritario ofrecer nuevas tecnologías y avances en las telecomunicaciones, ya que los consumidores demandan calidad de servicio, precios accesibles y una buena cobertura del servicio.

La tecnología PLC (*Power Line Communications*) se está implementando en algunos países como alternativa de transmisión de datos en banda ancha, como un medio realista y práctico para la comunicación. Ya que esta tecnología permite transmitir señales de voz, datos, Internet, telefonía y video, usando como medio de transmisión el cableado de electricidad convencional.

El propósito de este trabajo de graduación es conocer cuáles son los principios de funcionamiento, requerimientos técnicos, ventajas y desventajas de la tecnología PLC (*Power Line Communications*) y realizar una comparación con otras tecnologías de acceso de banda ancha.

1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA PLC

1.1 Definición

PLC (*Power Line Communications*), también denominada BPL (*Broadband over Power Lines*) es una tecnología basada en la transmisión de datos utilizando como infraestructura la red eléctrica.

Esta tecnología permite el uso de de redes eléctricas para transmitir y recibir datos, permitiendo el uso de Internet, televisión, telefonía, videoconferencia, voz sobre IP, datos a alta velocidad, etc.

Esta tecnología hace posible que conectando un módem PLC a la red eléctrica de una casa, se pueda transmitir y recibir datos.

1.1.1 Historia

La idea de utilizar el cable eléctrico para la transmisión de información no es nueva, el uso del PLC (*Power Line Communications*) en sus orígenes se limitaba al control de las líneas eléctricas y a la transmisión a baja velocidad de las lecturas de contadores. Más adelante, las propias empresas eléctricas empezaron a utilizar sus propias redes eléctricas para la transmisión de datos de modo interno.

En 1997, las compañías United Utilities, de Canadá, y Northern Telecom, de Inglaterra, presentaron al mercado una tecnología que podía conseguir que Internet fuera accesible desde la red eléctrica: el PLC (*Power Line Communications*). Desde entonces, las compañías eléctricas empezaron a

pensar que podían sacar un mayor rendimiento a sus redes y han sido numerosas las iniciativas en el sector para llevar a cabo un despliegue masivo de este servicio de comunicaciones.

Luego fueron los alemanes los que se unieron a la carrera por desarrollar la tecnología Power Line Communications. A finales de 1999 y principios del 2000 España ingresó también en esta disputa a través de Endesa.

En la actualidad, en algunos países como Austria o Suiza se ofrecen servicios básicos a un número relativamente bajo de usuarios.

1.1.2 Características

La característica principal del sistema PLC es el hecho de poder transmitir datos a través de la red eléctrica, Si embargo podemos destacar otras características importantes:

- Tecnología de banda ancha.
- El ancho de banda es de 45 Mbps aunque actualmente ya se alcanzan velocidades de 135 Mbps y en breve se llegará a 200 Mbps, permitiendo la distribución de datos, voz y vídeo de manera rápida y confiable.
- No es necesario realizar ningún tipo de obra adicional para poder usar esta tecnología de banda ancha, ya que utiliza la propia red eléctrica para la transmisión de datos y voz.
- Esta a diferencia de otras tecnologías puede llegar a cualquier parte ya que la instalación ya existe.
- Se dispone de una única toma a la cual se conecta un módem con tecnología PLC.
- La conexión es permanente durante las 24 horas del día.

- La instalación que ha de realizar el usuario es sencilla y rápida.
- A través de la línea se puede disfrutar de múltiples servicios como puede ser videoconferencias, voz sobre IP (VoIP), redes LAN, juegos en línea, comercio electrónico, etc.

1.2 Funcionamiento

1.2.1 Red eléctrica

Antes de introducir conceptos relativos al PLC conviene describir brevemente lo que se conoce por redes eléctricas, las cuales se dividen en redes de alta, media y baja tensión.

La red de alta tensión es una red de transporte que hace llegar la energía desde los centros de producción hasta los de consumo (núcleos de población e industrias). La mayoría de los tendidos de alta tensión son aéreos, y los valores de tensión eléctrica que se manejan en estos tramos son del orden de los cientos de kilovoltios, al permitir estas elevadas tensiones un transporte de la energía más eficiente.

En los puntos de consumo, como las ciudades, suele haber grandes centros de transformación que convierten esta energía eléctrica a unos valores de tensión inferiores, de forma que se origina una segunda red, generalmente enterrada, con valores entre 15 y 20 kilovoltios. Ésta es la red eléctrica de media tensión.

Por último, se produce una nueva transformación para poder suministrar electricidad a los domicilios. En las ciudades existen instalaciones incorporadas

a los edificios o bajo tierra que se conocen como centros de transformación, y en ellos tiene lugar la transformación a los 220 voltios que se manejan habitualmente en los hogares. Esto es lo que se conoce como baja tensión.

1.2.2 Tecnología PLC

La tecnología PLC es simplemente un conjunto de elementos y sistemas de transmisión que, basándose en una infraestructura de transporte y distribución eléctrica clásica, permite ofrecer a los clientes servicios clásicos de un operador de telecomunicaciones.

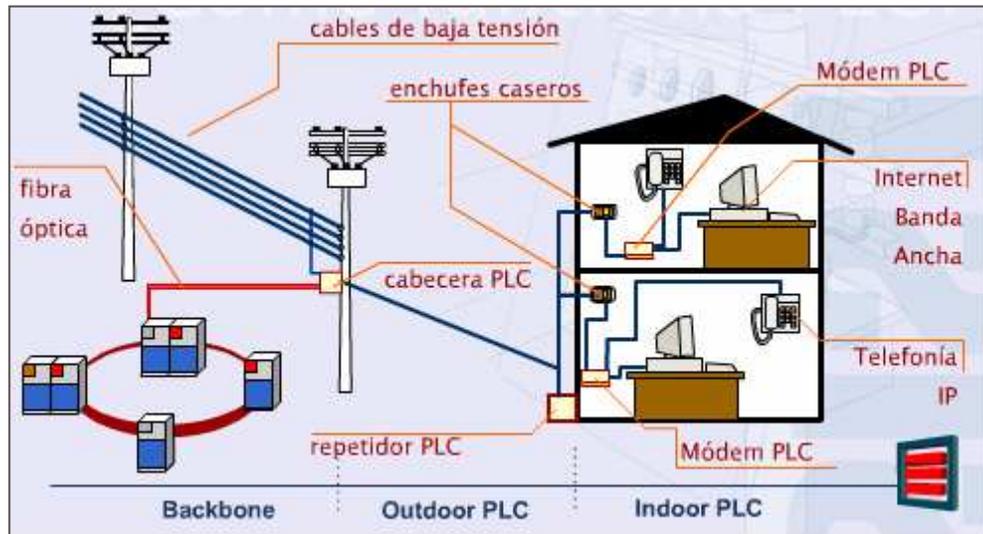
La comunicación PLC por los cables electrónicos requiere de un módem cabecera en el centro de transformación eléctrica que ilumina el edificio para enviar la señal.

En el domicilio del usuario se instala un módem PLC donde se podrán conectar los equipos de transmisión de voz y datos como ordenadores, teléfonos, impresoras y potencialmente otros dispositivos preparados para ello.

La tecnología *Power Line Communications* basa su estructura de funcionamiento, en la utilización de los cables eléctricos de baja tensión como medio de transporte desde un centro transformador, hasta el cliente, permitiendo entregar servicios de transferencia de datos como, por ejemplo, acceso a Internet de banda ancha.

Básicamente, esto transforma al cableado de baja tensión, en una red de telecomunicaciones donde los enchufes de cada hogar u oficina, se vuelven puntos de conexión.

Figura 1. Arquitectura de la red PLC

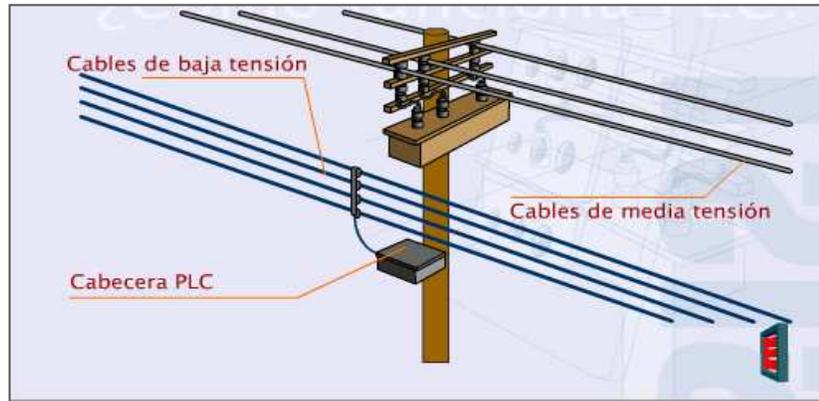


La arquitectura de esta red consta de dos sistemas formados por tres elementos como se muestra en la figura 1.

El primer sistema denominado “de *Outdoor* o de Acceso”, cubre el tramo de lo que en telecomunicaciones se conoce “ultima milla”, y que para el caso de la red PLC comprende la red eléctrica que va desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el medidor de la energía eléctrica.

Este primer sistema es administrado por un equipo cabecera *Head End (HE)*, primer elemento de la red PLC, que conecta a esta red con la red de transporte de telecomunicaciones o *backbone*. De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

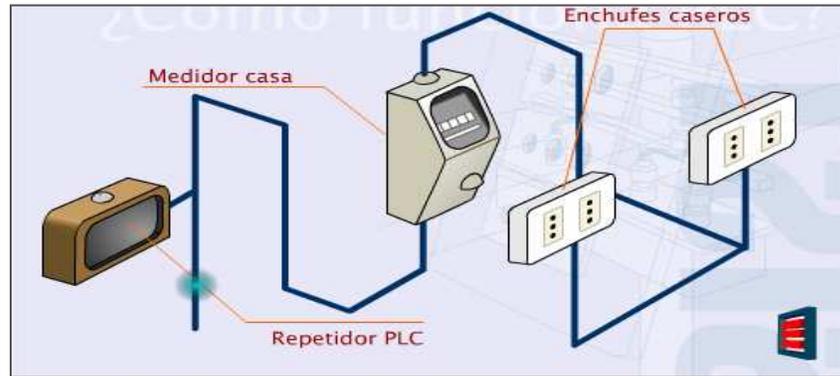
Figura 2. Cabecera PLC



El segundo sistema se denomina “de *Indoor*”, y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes o enchufes ubicados al interior de los hogares. Para ello, este sistema utiliza como medio de transmisión el cableado eléctrico interno.

Para comunicar estos dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor *Home Gateway (HG)*, segundo elemento de la red PLC. Este equipo, que normalmente se instala en el entorno del medidor de energía eléctrica, está compuesto de un módem terminal y equipo cabecera. El primer componente de este repetidor recoge la señal proveniente del equipo cabecera del sistema *outdoor* y el segundo componente se comunica con la parte terminal del repetidor e inyecta la señal en el tramo *indoor*.

Figura 3. Repetidor PLC



El tercer y último elemento de la red PLC lo constituye el módem terminal o módem cliente *Customer Premises Equipment* (CPE), que recoge la señal directamente de la red eléctrica a través del enchufe.

De esta manera tanto la energía eléctrica como las señales de datos que permiten la transmisión de información, comparten el mismo medio de transmisión, es decir el conductor eléctrico.

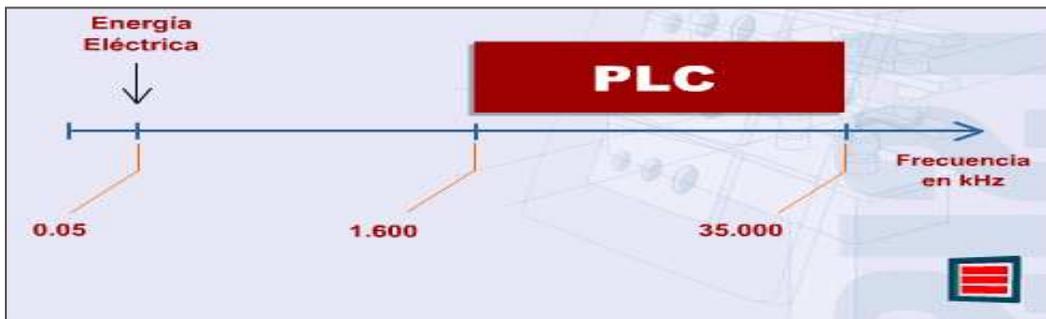
Figura 4. MODEM PLC



A este módem se pueden conectar un computador, un teléfono IP u otro equipo de comunicaciones que posea una interfaz Ethernet o USB.

Descrito el sistema y los componentes de la red PLC, es necesario recurrir al espectro de frecuencia para explicar el hecho de que la energía eléctrica y la transmisión de datos puedan compartir un mismo medio sin producirse interferencias.

Figura 5. Rango de frecuencias de funcionamiento de la tecnología PLC



Como se observa en la figura 5, la energía eléctrica funciona a una frecuencia de 50Hz, aunque eventuales impurezas en su forma de onda puedan producir armónicas que incorporan ruidos hasta los 1000 Hz.

Por su parte en la tecnología PLC el equipo cabecera (equipo emisor) emite señales de baja potencia (50mW) en un rango de frecuencias que van desde 1.6 Mhz hasta los 35 Mhz, es decir en una frecuencia varios miles de veces superior a los 50 Hz en donde opera la energía eléctrica. Al otro extremo del medio de transmisión (el cable eléctrico) existe un receptor (equipo terminal) que es capaz de identificar y separar la información que ha sido transmitida en el rango de frecuencia indicado.

El hecho de que ambos servicios, los de energía eléctrica y los de transmisión de datos, operen en frecuencias muy distintas y distantes, permite que estos puedan compartir el medio de transmisión sin que uno interfiera sobre el otro. De esta manera, la tecnología PLC permite aprovechar una propiedad propia del conductor eléctrico que hasta la fecha se encontraba sin aprovechar: la banda de frecuencia no utilizada por la energía eléctrica.

1.2.3 Componentes básicos tecnología PLC

El sistema de comunicaciones sobre red eléctrica (PLC) consiste en una red full dúplex punto a multipunto, que se soporta básicamente sobre tres elementos activos, sin mencionar el equipamiento de acople y bloqueo de señal que son elementos pasivos. Estos son:

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

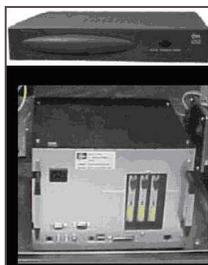
1.2.3.1 *Head End* (HE)

El equipamiento *Head End* o HE, puede considerarse para efectos prácticos como un equipo de modulación y demodulación de señal (módem). Y generalmente es propiedad de la compañía eléctrica.

El HE tiene como función principal interconectar la red troncal de transmisión de datos o *backbone* con la red eléctrica, actuando en cierta manera como un *router*. Para lograr dicha función 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, y mediante un proceso inverso inyecta la información proveniente del usuario de la red eléctrica a la red troncal.

Figura 6. Head End (HE)



Para inyectar la señal de datos a la red eléctrica, el He emplea la técnica de modulación digital OFMD (*Orthogonal Frequency Division Multiplexion*) o multiplexión por división de frecuencia ortogonal, (esta técnica se comentara con detalle más adelante), modulando cada una de las portadoras con modulación QAM, con una densidad espectral de 8 bits/Hz, esta densidad depende de las condiciones del canal tal como de 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 11.73 Mhz, con un ancho de banda de 9.27 Mhz a través del cual puede transmitir 45 Mbps, de forma asimétrica, es decir, 18 Mbps de subida y 27 Mbps de bajada.

La información la transmite a través de tramas o paquetes con una longitud mayor o igual a 8Kb. 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.

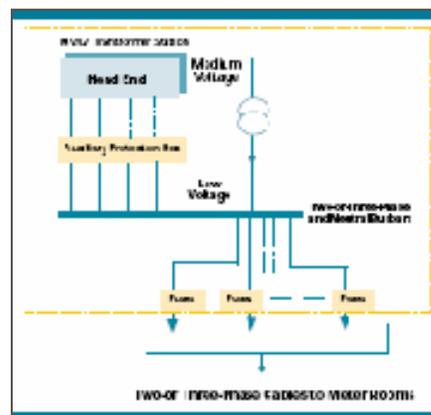
La tasa de transferencia va desde los 2Mbps hasta los 45 Mbps, dependiendo de la frecuencia de operación, así como de la relación señal-ruido, con un ancho de banda máximo de 10 Mhz.

El tiempo de retardo en la transmisión de paquetes o latencia, normalmente es menor a los 3 ms, 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 10/100 BaseT.

El HE se sitúa por lo general junto al transformador de media a baja tensión y se comunica con diversos *Home Gateways* y/o CPEs. Este se conecta a la estación transformadora a través de las “bus bars”, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Conexión *Head End* a la red eléctrica



El HE se considera el dispositivo maestro de la red PLC y proporciona elevado ancho de banda a un máximo de 254 nodos.

1.2.3.2 *Home Gateway (HG)*

Un *Home Gateway* es una combinación de un CPE y un HE, básicamente posee las mismas características de un HE y 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 PLC del usuario final 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 (2.46 Mhz a 11.73 Mhz) son diferentes al rango de frecuencias de frecuencias empleados en el tramo HG-CPE (13.88 Mhz a 22.8 Mhz).

Figura 8. Home Gateway (HG)



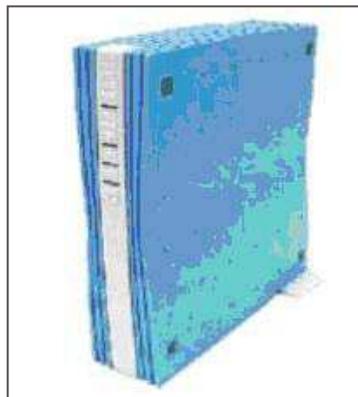
La función principal de un HG es regenerar la señal PLC. Sin embargo se puede utilizar como repetidor para amplificar la señal transmitida a grandes distancias o donde exista excesiva atenuación afectando a la señal, e incluso como un *router* para implementar una LAN doméstica (*in-home*).

Si se requiere un *Home Gateway* (HG), por lo general se sitúa junto al punto de entrada de electricidad del edificio o vivienda, como en el cuarto de contadores o la caja de protecciones. Esto facilita que se convierta en un excelente sistema de distribución de acceso. Puesto que un HG puede controlar hasta 256 módems de cliente (CPE).

1.2.3.3 *Customer Premises Equipment (CPE)*

El CPE suele ser propiedad del usuario y no es más que un módem PLC. Este módem puede estar integrado en una caja decodificadora externa o bien como una tarjeta instalada en el PC del usuario, que se conecta directamente al enchufe eléctrico.

Figura 9. *Customer Premises Equipment (CPE)*

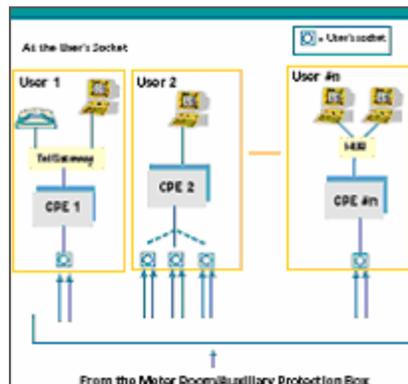


Una de las ventajas de estos equipos es que operan en modo full-duplex, y en modo punto-multipunto, además de integrar un puerto para transmisión de voz sobre IP, generalmente incluyen dos interfaces Ethernet IEEE 802.3 (10/100 Mbps), y un puerto USB.

Estos equipos están diseñados para operar con 110 V o 240 V entre 50 Hz 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.

Los datos son transmitidos desde el CPE al HE. El CPE es el esclavo en la red, y su acceso ha debido ser autorizado previamente por el HE. El HE también asignará *slots* específicos, de frecuencia y tiempo, en el canal de comunicación, a diversos CPEs, para permitirles transmitir simultáneamente.

Figura 10. Conexión CPE a la red eléctrica



1.2.4 Características del Canal

La tecnología PLC se ha desarrollado teniendo muy en cuenta las propiedades del canal de comunicaciones, o sea, la red eléctrica de baja tensión.

La red eléctrica no es un sistema lineal e invariante en el tiempo, lo que añade más dificultad a su uso y complica su caracterización respecto a atenuación, ruido y distorsión. La gran variedad de dispositivos que pueden estar conectados hace que el ruido introducido por estos sea muy variado. Además, la red eléctrica del hogar no está diseñada para transmitir señales a alta frecuencia, por lo que al hacerlo se convierte en una fuente de ruido que hay que limitar.

Otro problema tecnológico a resolver es que al ser la red eléctrica un medio de transmisión compartido por varios abonados debe usarse algún sistema de encriptación para proteger la información.

Las características del canal son dependientes de la frecuencia, del tiempo y de la localización del transmisor y del receptor.

La red eléctrica tiene las siguientes características en cuanto a su respuesta en frecuencia:

- Presenta desadaptaciones de impedancia, las cuales producen reflexiones.
- Su atenuación se incrementa con la distancia y con la frecuencia.
- Su impedancia varía con el tiempo en un rango muy grande, según estén o no conectados ciertos aparatos eléctricos.

Aunque las medidas han mostrado que las características del canal no varían rápidamente con el tiempo, si lo hacen frecuentemente, por lo que deben adaptarse sus parámetros de transmisión continuamente.

Se ha estudiado el tipo de ruido que puede encontrarse en el canal de comunicaciones y el resultado es el siguiente:

Figura 11. Tipos de ruidos en el canal de comunicación



- Ruido de fondo estacionario durante segundos u horas. Formado principalmente por ruido coloreado, ruido de banda estrecha y ruido periódico.
- Ruido impulsivo con duraciones que van de microsegundos a milisegundos. Formado principalmente por ruido impulsivo periódico y ruido impulsivo asíncrono producido por apagados y encendidos.

1.2.5 Técnicas de modulación

La señal PLC va modulada entre 1,6 y 40Mhz dependiendo del sistema, actualmente no hay un estándar si no un grupo de sistemas diferentes e incompatibles entre si, básicamente estos tipos de modulación:

- DSSSM (*Direct Sequence Spread Spectrum Modulation*). Puede operar con baja densidad de potencia espectral (PSD).
- GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). Es una forma especial de modulación en banda estrecha. Usado con la versión de transportador sencilla de PLC proporcionando anchos de banda bajos, menores a 1MB.
- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*). Que usa un gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos. Usado con la multi versión de transportador de PLC proporcionando un ancho de banda de 45MB.
- MC-CDMA (*Multiple Carrier-Code Division Multiple Access*). Es una combinación de CDMA y OFDM, la cual permite incrementar el número de subportadoras y es posible llegar a alcanzar más de 100 Mbps.

1.2.5.1 Modulación OFDM

De las técnicas antes mencionadas, OFDM (*Orthogonal Frequency División Multiplexing*) es el esquema de modulación mas utilizado. Esta técnica de modulación digital es similar a FDM (Frequency Division Multiplexing) y su operación básica consiste en distribuir los datos entre un gran número de portadoras situadas a determinadas frecuencias.

OFDM es una modulación que define una secuencia de símbolos en el dominio de la frecuencia para transmitir en el dominio de tiempo, y mapear las muestras recibidas de nuevo al dominio de la frecuencia.

OFDM es una técnica de modulación de alta eficiencia espectral que maneja muy bien el ruido, los cambios de impedancia y las reflexiones producidas por los múltiples caminos que recorre la señal. Otra ventaja es su habilidad para usar o dejar de usar cualquier subcanal, con el fin de mantener una óptima tasa de error. Esto permite además evitar interferencias con otros sistemas y poder cumplir los niveles de emisión regulados por las normas (véase figura 12).

Figura 12. Modulación OFDM



Mediante OFDM puede alcanzarse velocidades de hasta 45 Mbps. El sistema usa modulación adaptativa, o sea, es capaz de medir los niveles de atenuación y ruido con una alta resolución espectral y en base a esta información usar unas u otras subportadoras para enviar la información. En cada subportadora se usa modulación QAM.

1.2.5.1.1 El transmisor OFDM

La fuente de datos entra al transmisor es codificada, convertida de serial a paralelo y dividida en N grupos de v bits. Cada uno de estos grupos representa un símbolo, que es asignado a cada uno de los sub-canales.

Luego esta cadena codificada de bits (A_N, A_{N-1}) , son puestos bajo un IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform* o transformada rápida inversa de Fourier) para obtener una señal en el dominio de la tiempo $s(t)$. Se realiza esta conversión ya que es una manera simple de asegurarse que las señales producidas sean ortogonales. Luego esta señal es convertida nuevamente de paralelo a serie.

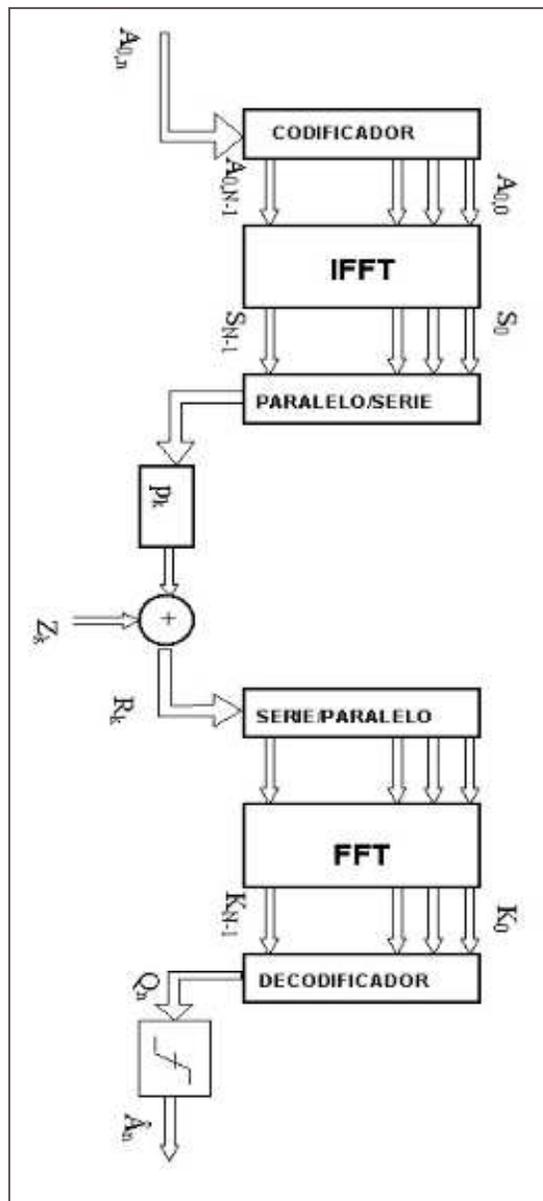
Después el convertidor Digital a Análogo y filtro pasabajo, filtra la señal para ser amplificada por un amplificador de potencia para finalmente ser acoplada a la línea.

1.2.5.1.2 El receptor OFDM

La señal recibida $r(t)$ es una versión distorsionada de $s(t)$. Esta señal es tomada a la entrada del receptor y convertida de serie a paralelo y de analógica a digital con una tasa de muestreo de $1/T_s$. Luego esta señal se le aplica la transformada rápida de Fourier (FFT) para transformar la señal en el dominio

del tiempo al dominio de la frecuencia. El resultado es un vector K_N , que representa los coeficientes de Fourier de la señal recibida. Por último se decodifica esta señal y se pasa por un filtro para obtener así la fuente de datos originalmente transmitida.

Figura 13. Esquema básico de transmisión/recepción de OFDM



1.3 Tipos de sistemas PLC

Existen varios tipos de sistemas PLC dependiendo del lugar de la red eléctrica donde se despliegan:

- Red PLC de acceso: Se despliega la comunicación entre el transformador de baja tensión y la red doméstica. Son una alternativa a los sistemas xDSL.
- Red PLC doméstica: Se despliegan la comunicación utilizando la red eléctrica interior de la casa. Este tipo de red complementa a los servicios de acceso y puede competir con las redes LAN.
- Red PLC de media tensión: Es un sistema para el transporte de datos y una alternativa a los sistemas de fibra óptica.

1.3.1 Red PLC de acceso

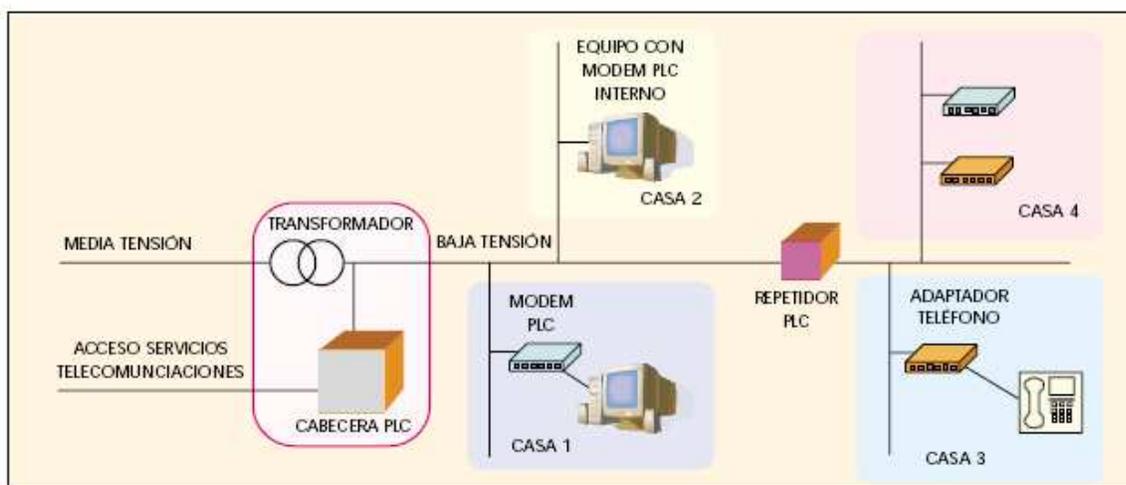
La red PLC de acceso es un sistema *full duplex* punto a multipunto con los siguientes elementos (figura 14):

- Equipo de de cabecera (HE): Tiene la función de *router* y está situado junto al transformador de baja tensión. Básicamente es un módem digital de alta velocidad y actúa como maestro en el sistema PLC. Tiene la función de asignar el uso del canal de comunicaciones entre los diversos usuarios conectados a él (hasta 256). Es propiedad de la compañía eléctrica.
- Módem PLC (CPE): Es el equipo situado en casa del abonado eléctrico. Funciona siempre como esclavo del equipo de cabecera. Los hay de tipo externo, los cuales convierten cualquier enchufe de la casa en un punto de acceso a Internet. En ese caso disponen de un puerto Ethernet o USB para conectar el ordenador. También los hay de tipo interno, los cuales

están integrados en el ordenador. El módem PLC dispone de una entrada (RJ11) que permiten conectar un teléfono analógico.

- Repetidor PLC (HG): Se emplea en los casos en los que la distancia del abonado del equipo de cabecera es demasiado grande y la señal recibida es pequeña. La máxima distancia hasta el abonado, sin repetidor, es de unos 350 metros.

Figura 14. Red PLC de acceso

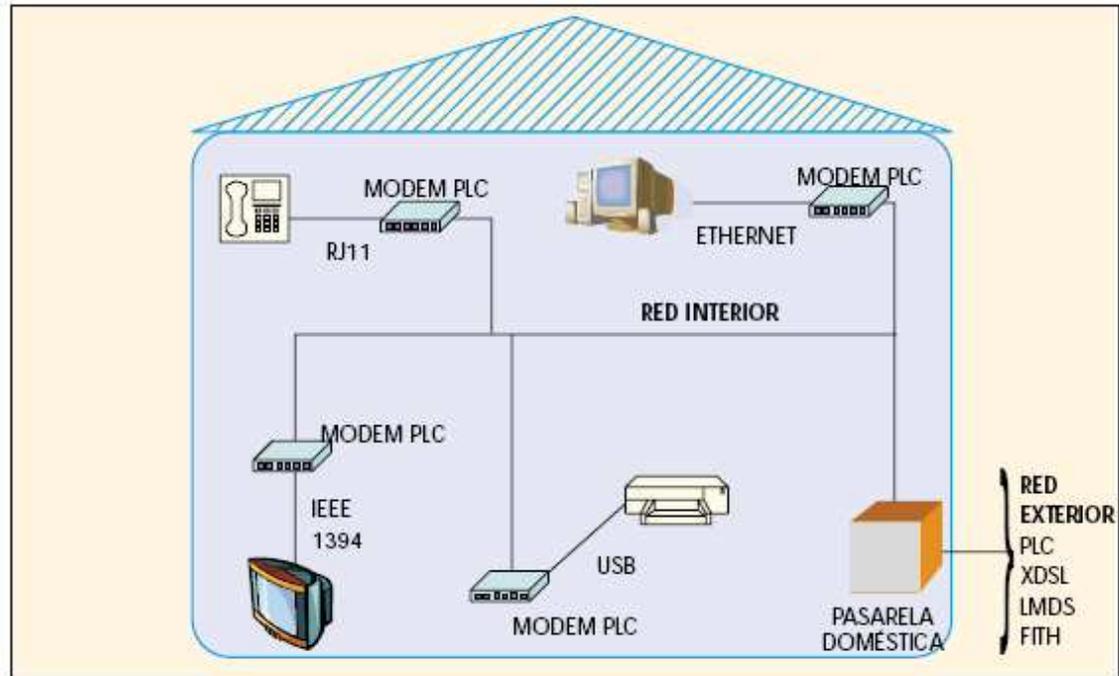


1.3.2 Red PLC doméstica

La red PLC doméstica consta de los siguientes elementos (figura 15):

- Pasarela doméstica: Realiza la función de interfase entre la red exterior (PLC, xDSL, LMDS, fibra, etc.) y la red interior.
- Módem PLC: Realiza la función de interfase entre los equipos domésticos (PC, impresora, teléfono, TV, etc.) y la red eléctrica interior.

Figura 15. Red PLC doméstica

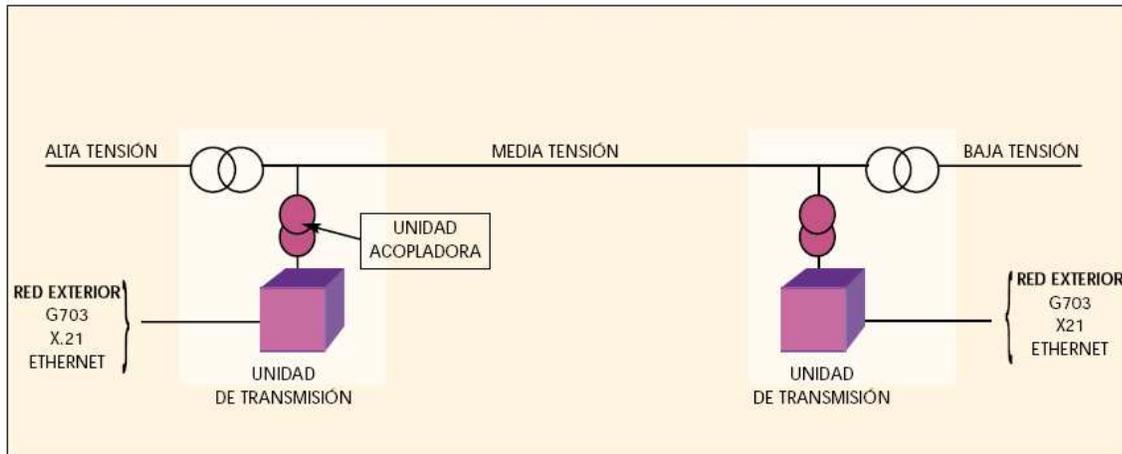


1.3.3 Red PLC de media tensión

En este caso la tecnología PLC se aplica a las líneas de media tensión como transporte de datos desde los transformadores de alta/media tensión hasta los transformadores de media/baja tensión. Esta red consta de los siguientes elementos (figura 16):

- Unidad de transmisión: Hace de interfaz entre los servicios de telecomunicaciones externos y la unidad acopladora.
- Unidad acopladora: Conecta la unidad de transmisión al cable de potencia.

Figura 16. Red PLC de media tensión



1.4 Proceso de instalación

Para la implementación de esta tecnología se deben seguir las siguientes fases:

- Reconocimiento de la red eléctrica. En esta etapa se identifican las características de la red y se realiza un mapa para determinar los sitios posibles de instalación de esta tecnología.
- Instalación del módem de cabecera. El HE o módem de cabecera ha de instalarse estratégicamente situado de forma que la señal inyectada en un sólo punto consiga una amplia cobertura.
- Comprobaciones de cobertura. Verificar el grado de cobertura de la señal PLC en la red eléctrica, permite comprobar la calidad de la transmisión en los diferentes puntos y la evaluación de la necesidad de eventuales

equipos repetidores en la red PLC (HG) como la posible ubicación de los mismos.

- Realización de un mapa de la red PLC. Una vez realizadas las pruebas pertinentes se procede a configurar un mapa de la red PLC, con todos los datos sobre la ubicación del HE, los repetidores HG y los equipos de usuario CPE.
- Instalación de Equipos. Finalmente se procede a la instalación de los equipos CPE en sus correspondientes ubicaciones.

1.5 Servicios

Con la tecnología PLC se puede disfrutar de innovadores servicios de comunicaciones. La implementación de la tecnología PLC, por su gran ancho de banda y bajo costo, hace posible el desarrollo de servicios a distancia para el hogar y la oficina.

En el hogar:

- **Internet avanzado.** Se puede tener acceso a Internet de alta velocidad.
- **Mensajería unificada.** Buzón único para todos los mensajes de telefonía fija, móvil (SMS), Fax y correo electrónico.
- **Televisión, música y radio.** Se puede descargar video y sonido desde la Internet. Se tendrá acceso a películas, televisión, programas de radio.
- **TV digital interactiva.** Con la conexión a la televisión digital se puede realizar comercio electrónico, reservas, entradas, juegos, entretenimiento multimedia e Internet.

- **Juegos en la red.** Se puede participar en campeonatos de juegos en línea con otros contrincantes en la Red.
- **Domótica.** Se puede controlar los electrodomésticos a distancia, por ejemplo desde el trabajo o mientras se está de vacaciones: poner la lavadora, encender el aire acondicionado, conectar el horno, grabar una película, alimentar a los peces, etc.
- **Seguridad a distancia.** Alarmas de robo e incendio que protegen la casa conectándola directamente con la central de policía y/o de los bomberos.
- **Telediagnóstico.** Los servicios técnicos de los fabricantes de los electrodomésticos pueden conocer las averías y presupuestar las reparaciones sin tener que desplazarse, ahorrando costos y molestias innecesarias.
- **Teleasistencia.** Posibilita la vigilancia de niños o enfermos a distancia.
- **Telefonía.** Se puede disponer de un servicio de telefonía sin necesidad de conectar un terminal a la línea telefónica convencional.

En la oficina:

- **Trabajo en grupo.** Compartir, ver y modificar documentos de forma simultánea por el mismo equipo de trabajo.
- **Redes privadas virtuales (VPN).** Comunicar las oficinas para transmisión privada de voz y datos.
- **PYMES.** No se necesita costosas instalaciones de teléfono y líneas de datos para disponer de una red local.
- **Videoconferencia.** Se puede ver y hablar con clientes a bajo costo, estén donde estén.
- **Teletrabajo.** Trabajar desde la casa a través de una conexión rápida, económica, segura y permanente

2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA PLC

2.1 Ventajas de PLC

Los beneficios que tiene esta tecnología son múltiples. Las empresas proveedoras de electricidad podrían ingresar fuertemente al ámbito de las telecomunicaciones y, lo que es mejor, sin incrementar sus costos pues la conexión es posible hacerla desde cualquier enchufe disponible.

Una ventaja importante de este descubrimiento se podría traducir en un salto cuantitativo para el desarrollo de las comunicaciones en países del tercer mundo, si tomamos en cuenta que la inversión es reducida debido a que las redes de transmisión ya existen en todos los países de nuestro continente

En cualquier caso, las posibilidades de interconectar a las personas y a los países mediante el tendido eléctrico harían accesibles muchos servicios como Internet, y lo transformaría en un medio masivo, ampliando el número de potenciales.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que en todos los hogares y oficinas hay enchufes, con lo que no es necesario realizar incómodas obras ni molestas cableadas para obtener el servicio ya que PLC utiliza los cables que ya están instalados, lo que hace posible conectarse a Internet o hablar por teléfono desde cualquier enchufe. En lo que respecta a la conexión a Internet se obtienen velocidades vertiginosas. Carece de las limitaciones del ADSL o del cable y, al ser la red eléctrica la más extendida del planeta, puede llegar a

pueblos o localidades que otras tecnologías no pueden abastecer, ya que es económicamente rentable.

Resumiendo, las ventajas que ofrece PLC son las siguientes:

- **Despliegue sencillo y rápido.** El despliegue de la tecnología PLC es muy rápido y sencillo, porque utiliza infraestructura ya instalada (los cables eléctricos).
- **Servicio PLC desde diferentes habitaciones.** La tecnología PLC permite conectarse a Internet y/o hablar por teléfono desde los enchufes eléctricos, ofreciendo la posibilidad de navegar y/o hablar de diferentes habitaciones de la casa u oficina.
- **Hablar y navegar al mismo tiempo.** La tecnología PLC permite la transmisión simultánea de voz y datos (se puede navegar por Internet y hablar por teléfono al mismo tiempo).
- **Alta velocidad.** Conexión a Internet a alta velocidad.
- **Instalación simple y rápida.** Instalación simple y rápida en casa del cliente (solo es necesario conectar un módem PLC), y no requiere obras ni cableado. Con un solo repetidor se provee de conexión hasta 256 hogares.
- **Multitud de nuevos servicios.** Puede suministrar múltiples servicios con la misma plataforma tecnológica IP (un solo módem permite el acceso a Internet a alta velocidad y telefonía, así como diversos servicios a distancia como demótica, TV interactiva, Teleseguridad, etc.).

- **Conexión permanente.** Proporciona una conexión a Internet permanente (las 24 horas del día) y sin interrupciones.
- **Red local.** Los enchufes eléctricos son suficientes para disponer de una red local en la vivienda u oficina.

Con todo esto, las mayores ventajas de *Power Line* apuntan a su disponibilidad mundial, efectividad del costo y facilidad de instalación. A la vez, la conveniencia de conectar cualquier dispositivo a través de un enchufe de corriente permite navegar, bajar videos, transmitir datos y hablar por teléfono

2.2 Desventajas de PLC

La tecnología PLC aún ha de enfrentarse a una serie de problemas que es necesario resolver. La primera desventaja que debe superar es el propio estado de las líneas eléctricas. Si las redes están deterioradas, los cables se encuentran en mal estado o tienen empalmes mal hechos no es posible utilizar esta tecnología. La distancia también puede ser una limitación, la medida óptima de transmisión es de 100 metros por lo que, a mayores distancias, se hace necesario instalar repetidores (HG).

Además, el cable eléctrico es una línea metálica recubierta de un aislante. Esto genera a su alrededor unas ondas electromagnéticas que pueden interferir en las frecuencias de otras ondas de radio. Así, existe un problema de radiación, bien por ruido hacia otras señales en la misma banda de frecuencias como de radiación de datos, por lo que será necesario aplicar algoritmos de descifrado. No obstante, la radiación que produce es mínima, la potencia de emisión es de 1mW, muy por debajo de los 2W de telefonía móvil.

Los fabricantes de electrodomésticos tienen un especial cuidado en todo lo referente a su correcto funcionamiento, pero muy pocos se preocupan en que no generen interferencias en otros equipos. Así, taladros, motores, etc., provocan ruido en las líneas que impide mantener la calidad de la comunicación. Para evitarlo, es necesario localizar los equipos que los causan y aislarlos mediante un filtro.

Todo lo anterior se ha traducido en problemas regulatorios en distintos países, lo que lleva a pensar en una solución que permita la implementación sin problemas de esta tecnología.

Otro problema es la estandarización de la tecnología PLC, ya que en el mundo existen alrededor de 40 empresas desarrollando dicha tecnología. Para solventar este problema, la organización internacional PLCForum intenta conseguir un sistema estándar para lo cual está negociando una especificación para la coexistencia de distintos sistemas PLC. Otro protocolo para líneas PLC fue creado por empresa israelí Nisko que desarrollo el NISCOM.

3 OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA

3.1 Tipos de tecnología

En este capítulo se presentan las características de otras tecnologías de acceso de banda ancha, incluyendo tanto las que actualmente se emplean para ofrecer servicios comerciales, como aquellas otras que, aún con un nivel de madurez insuficiente, pueden constituir la base para las futuras redes de acceso.

Agrupadas en función del soporte físico que emplean se clasifican en:

- Tecnologías sobre cable:
 - Bucle digital de abonado (xDSL)
 - Redes híbridas de fibra y cable (HFC)
 - Ethernet en la primera milla (EFM)

- Tecnologías inalámbricas:
 - Bucle inalámbrico (LMDS)
 - Redes de acceso por satélite
 - Redes locales inalámbricas (WLAN)

3.1.1 Bucle digital de abonado (xDSL)

xDSL (*Digital Subscriber Line*) es un término utilizado para referirse de forma global a todas las tecnologías que proveen una conexión digital sobre línea de abonado de la red telefónica local.

Este conjunto de tecnologías gracias al uso de un tipo de códigos de línea adecuados permiten la transferencia de regímenes binarios de alta velocidad sobre el par trenzado telefónico.

La tecnología xDSL suministra un ancho de banda suficiente para numerosas aplicaciones, como un rápido acceso a Internet utilizando las líneas telefónicas; acceso remoto a las diferentes redes de área local (LAN), videoconferencia, y sistemas de redes privadas virtuales (VPN).

xDSL esta formado por un conjunto de tecnologías que proveen un gran ancho de banda sobre circuitos locales de cable de cobre, sin amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, entre la conexión del cliente y el primer nodo de la red (central). Son unas tecnologías de acceso punto a punto a través de la red telefónica, que permiten un flujo de información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado. De esta manera las tecnologías xDSL convierten las líneas analógicas convencionales, en líneas digitales de alta velocidad, con las que es posible ofrecer servicios de banda ancha, similares a los de las redes de cable o las inalámbricas, aprovechando los pares de cobre existentes, siempre que estos reúnan un mínimo de requisitos en cuanto a la calidad del circuito y distancia.

3.1.1.1 Tipos Xdsl

La familia de Tecnologías xDSL es muy amplia, existiendo múltiples variantes que permiten diferentes velocidades, distancias. El factor común de todas las tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line*) además de que funcionan sobre par trenzado, es el uso de modulaciones eficientes para alcanzar elevadas velocidades de transmisión, aunque cada una de ellas con sus propias características de distancia operativa y configuración. Las diferentes tecnologías se destacan por la relación entre la distancia alcanzada entre módems, velocidad y simetrías entre el tráfico descendente y el ascendente. Como consecuencia de estas características, cada tipo de módem xDSL se adapta preferentemente a un tipo de aplicaciones.

ADSL son las siglas de *Asymmetric Digital Subscriber Line* (Línea de Abonado Digital Asimétrica). Esta línea se denomina asimétrica debido a que la velocidad de bajada y de subida de datos no coincide. Normalmente, la velocidad de bajada es mayor que la de subida.

La tecnología ADSL, es la más popular y comercial de las variantes xDSL existentes en la actualidad. Es un sistema asimétrico, bidireccional, compatible con el servicio telefónico y de transmisión digital, basado en una capa de enlace ATM. Cuando fue creada los operadores establecidos de telefonía apuntaban a ADSL como la herramienta de introducción de servicios de vídeo a través del par trenzado. Todo esto llevó a que sobre los códigos de línea ADSL, la tendencia predominante fuera utilizar un transporte ATM como forma de establecer prioridades para los tráficos de tiempo real: vídeo, audio y voz; frente a los tráficos de datos, y además determinó los objetivos iniciales de capacidad (8 Mbps hacia el abonado y 640 Kbps en sentido inverso), que hacen posible la transmisión de más de un canal de TV comprimido hacia el abonado.

Una de las ventajas más notables de la tecnología ADSL es su grado de normalización y su interoperabilidad.

Una característica importante de esta técnica es que comparte del espectro con la telefonía o la transmisión RDSI sobre el mismo par, permitiendo el empleo simultáneo del par de cobre para la conversación telefónica y la transmisión de datos colocando un *splitter* (filtro separador de bandas) o microfiltro en la residencia del cliente. Esta capacidad es uno de los factores, además de la velocidad por supuesto, que hace esta técnica tan atractiva, ya que permite tener un acceso permanente a Internet, esto último favorecido además por el esquema de tarifa plana, sin necesidad de contratar una línea adicional, o tener que cambiar los aparatos telefónicos.

ADSL es un sistema asimétrico, de mayor velocidad en la dirección red usuario, que en la dirección usuario red. Para conseguir las velocidades especificadas, y tener la capacidad simétrica, es necesario el empleo de modulaciones o códigos de línea de alta capacidad eficiencia. ADSL emplea dos tipos de estándares de codificación los de portadora simple CAP y los de portadora múltiple DMT. Estos últimos son superiores a los CAP, al alcanzar mayores tasas de velocidad con mayor eficiencia espectral, que se traduce en más alcance para la misma velocidad, o más velocidad para el mismo alcance. Pero añaden el coste de una mayor complejidad tecnológica y de equipos. Todo esto ha hecho que los sistemas CAP se impongan en el mercado, aunque en la actualidad los sistemas DMT se están desplegando en mayores volúmenes en el caso de ADSL.

Pese a las bondades de ADSL, como estándar principal de xDSL, también es un sistema altamente limitado, por el medio en el que se implementa. Posee una gran limitación en el alcance y tipos de bucle. El objetivo de los sistemas ADSL es llegar a la mayor parte de los abonados dentro del área de servicio.

Los efectos de desarrollar las tecnologías sobre un medio pensado inicialmente para voz, desencadena gran número de problemas. Problemas a nivel físico, con empalmes de pares con distinto calibre, derivaciones sin terminar, o cables dañados producen reflexiones y reducción de la SNR de las señales. Existen además gran número de fenómenos de ruido asociados como el ruido de fondo, ruido impulsivo, interferencias EM de otras fuentes, diafonía entre pares y entre las señales bidireccionales, etc. Además la presencia de bobinas de carga en el bucle elimina la posibilidad de cualquier paliación xDSL. Todo ello obliga a los estándares ADSL a tener que buscar todo tipo de herramientas con el fin de evitar esta problemática de transmisión.

HDSL es el acrónimo de *High bit rate Digital Subscriber Line* o Línea de abonado digital de alta velocidad binaria. Ésta es una más de las tecnologías de la familia DSL, las cuales han permitido la utilización del clásico bucle de abonado telefónico, constituido por el par simétrico de cobre, para operar con tráfico de datos en forma digital.

Los módems HDSL permiten el establecimiento por un par telefónico de un circuito digital unidireccional de 1,544 Mbps (T1) ó 2,048 Mbps (E1), por lo que para la comunicación bidireccional son necesarios dos pares, uno para cada sentido.

La distancia máxima entre terminales en que se puede utilizar está entre 3 y 4 km, dependiendo del calibre y estado de los pares de cobre. Soporta flujos de hasta 2.048 Mbps. Su inconveniente es que requiere el empleo de varios pares de cobre: dos para transportar una trama T1 y tres para una E1. Por tanto, no puede emplearse en el bucle de abonado (que sólo tiene un par), y se usa principalmente entre centrales de conmutación o estaciones base de telefonía móvil.

SDSL son las siglas de *Symmetric Digital Subscriber Line* o Línea Simétrica del Suscriptor Digital. Es una versión de HDSL que utiliza tan sólo un par de cobre. Además, permite la utilización simultánea del servicio POTS (*Plain Old Telephone System*, es decir, la telefonía básica tradicional). Por tanto, es perfectamente utilizable en el bucle de abonado.

Su funcionamiento es simétrico, es decir, el ancho de banda asignado es el mismo en el sentido abonado-red (enlace ascendente o *upstream*) que en el sentido red-abonado (enlace descendente o *downstream*) y tiene valores de 400Kbps, 800Kbps, 1.200Kbps y 2.048Kbps.

SHDSL son las siglas de *Symetric High speed Digital Subscriber Line*. Este sistema es considerado como una mejora de HDSL, y orientado a reemplazarlo.

SHDSL destaca por el empleo de un único par, y de mayor alcance que los sistemas HDSL análogos. Es compatible con los sistemas xDSL en especial ADSL, pudiendo coexistir ambos en la misma línea de pares trenzados. SHDSL es un sistema simétrico *full-duplex*, con velocidades de datos iguales en ambos sentidos de la comunicación. Los regímenes de datos que se adaptan a las características del canal y que van desde 192kbps a 2.3Mbps o desde 384kbps a 4.6 Mbps sobre dos pares.

La codificación de línea es TC-PAM (*Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation*) utilizando 16 niveles en línea, representado también como 4B1H. Además la señal se conforma en frecuencia para mejorar la compatibilidad espectral respecto a otros sistemas que compartan la línea, como ADSL.

Mientras las aplicaciones de HDSL transportan servicios basados en Multiplexación por División en el Tiempo (TDM), SHDSL está siendo utilizado

para transportar tráfico tanto TDM como ATM. Es tecnología de muy reciente introducción, y su normativa fue aprobada en 2001, y empezó a desplegarse en el 2002.

VDSL son las siglas de *Very high bit-rate Digital Subscriber Line* (DSL de muy alta tasa de transferencia). Mientras la tecnología ADSL cubre todo el bucle del cliente, la tecnología VDSL pretende cubrir, únicamente, los últimos metros de dicho bucle (como máximo 1.5 km). Esto permite, que la tasa binaria se incremente notablemente (hasta 12 Mbps en el enlace ascendente y 52 Mbps en el descendente) sobre una simple línea de par trenzado.

VDSL es capaz de soportar aplicaciones que requieren un alto ancho de banda como HDTV (televisión de alta definición).

ISDN siglas de Red Digital de Servicios Integrados (RDSI o ISDN en inglés). Es una red que procede por evolución de la Red Digital Integrada (RDI) y que facilita conexiones digitales extremo a extremo para proporcionar una amplia gama de servicios, tanto de voz como de otros tipos, y a la que los usuarios acceden a través de un conjunto de interfaces normalizados.

Es una red que procede de la evolución de la red telefónica existente, que al ofrecer conexiones digitales de extremo a extremo permite la integración de multitud de servicios en un único acceso, independientemente de la naturaleza de la información a transmitir y del equipo terminal que la genere.

El acceso básico consiste en dos canales B *full-duplex* de 64 kbps y un canal D *full-duplex* de 16 kbps. Luego, la división en tramas, la sincronización, y otros bits adicionales dan una velocidad total a un punto de acceso básico de 192 kbps.

ISDN es una tecnología simétrica que funciona sobre un par de hilos y posee un alcance de 5,5 kilómetros.

G.Lite también conocido como DSL Lite, *splitterless* ADSL, y ADSL Universal. Esta tecnología permite comunicaciones digitales a altas velocidades constantes sobre líneas telefónicas estándar de cobre. A pesar de que ésta se basa en la misma tecnología básica que el ADSL clásico, no requiere un *splitter* instalado en la línea del usuario. El usuario simplemente tiene que conectar el módem G.Lite.

A diferencia del ADSL común, el G.lite funciona con DLC (*Digital Loop Carrier* - la infraestructura del *loop* local que conecta los usuarios ubicados a más de 5.5 km de la oficina central), que abre la tecnología a una audiencia más amplia.

La desventaja de G.lite es que mientras que ADSL estándar provee velocidades de bajada de hasta 8 Mbps y de subida de 1.5 Mbps, el G.lite está limitado a 1.5 Mbps de bajada y 512 Kbps de subida.

RADSL siglas de *Rate Adaptive Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital de Tasa Adaptable, es una tecnología de ADSL que al utilizar la modulación DMT (característica también de ADSL) puede adaptarse a cambios en las condiciones de la línea y ajustar las velocidades por separado para maximizar el rendimiento de cada línea individual.

3.1.1.2 Comparación entre las tecnologías xDSL

En la tabla I se muestra una comparativa de las prestaciones, modulaciones, los anchos de banda, modulación y aplicaciones de las diferentes tecnologías xDSL:

Tabla I. Comparación de tecnologías xDSL

Tecnología	Descripción	Ancho de Banda (Mbps); Modulación	Distancia; Modo	Aplicaciones
ISDN/ RDSI	Línea de Abonado Digital ISDN (RDSI)	128/128 Kbps; 2B1Q(Código 2Binario/1Cuaternario)	5.5 Km; Simétrico	Similar a RDSI básico, pero solo para datos (Voz en la misma línea)
SHDSL	SHDSL	0.192-2.3; 2B1Q	2 Km. Máx. velocidad; Simétrico	LAN, WAN y acceso a servidores.
VDSL	Línea de Abonado Digital de muy alta velocidad	26-52; No disponible	300 m. a máx. velocidad ; Simétrico o Asimétrico	Como ADSL, además de HDTV
ADSL G.Lite	Servicio DSL sin microfiltro	De 1.544-6, depende servicio contratado; DMT(<i>Discrete MultiTone</i>)	5.5 Km; Asimétrico	Acceso Internet; Sacrifica velocidad por no instalar microfiltros.
HDSL	Línea de Abonado Digital de alta velocidad	1.544-duplex (T1); 2.048-duplex (E1); 1-3 pares; 2B1Q/CAP (<i>Carrier-less Amplitude and Phase</i>)	5-4.5 Km; Simétrico	Acceso al servicio T1/E1. Agregación tráfico Frame Relay, extensión de LAN's
SDSL	Línea de Abonado Digital Simétrica	1.544 (T1) full duplex; 2.048 (E1) full duplex; utiliza un par; TC-PAM (4B1H) <i>Trellis Coded-Pulse Amplitude Modulation.</i>	2-5 Km; Simétrico	Similares a HDSL, servicios interactivos y acceso a servidores
ADSL	Línea de Abonado Digital Asimétrica	1.544-6.1 bajada; 16-640 Kbps subida; DMT	1.544 a 5 Km 2.048 a 4.5 Km; 6.312 a 3.5 Km; 8.448 a 2 Km; Asimétrico	Acceso Internet, video bajo demanda, acceso a LAN, multimedia interactivo y servicios telefónicos clásicos.
RASDL	Línea de Abonado Digital de Tasa Adaptable	De 1.5-6/8 bajada; 64-640 Kbps subida; DMT	Se ajusta de forma dinámica a las condiciones de la línea y a la longitud de la misma	Espectralmente Compatible con la voz y otras tecnologías DSL sin el bucle local. Video bajo demanda, acceso a Internet y video simplex.

3.1.1.3 Arquitectura, estructura y elementos de red

Son muchas las tecnologías de acceso xDSL disponibles en la actualidad. Pero por encima de todas ellas destaca la tecnología ADSL, por ser esta la de mayor éxito en el mercado actual, se detalla a continuación sus características principales. Y a partir de estas se desarrollaran algunos detalles referentes al resto de tecnologías xDSL, mostradas anteriormente.

Arquitectura de la red

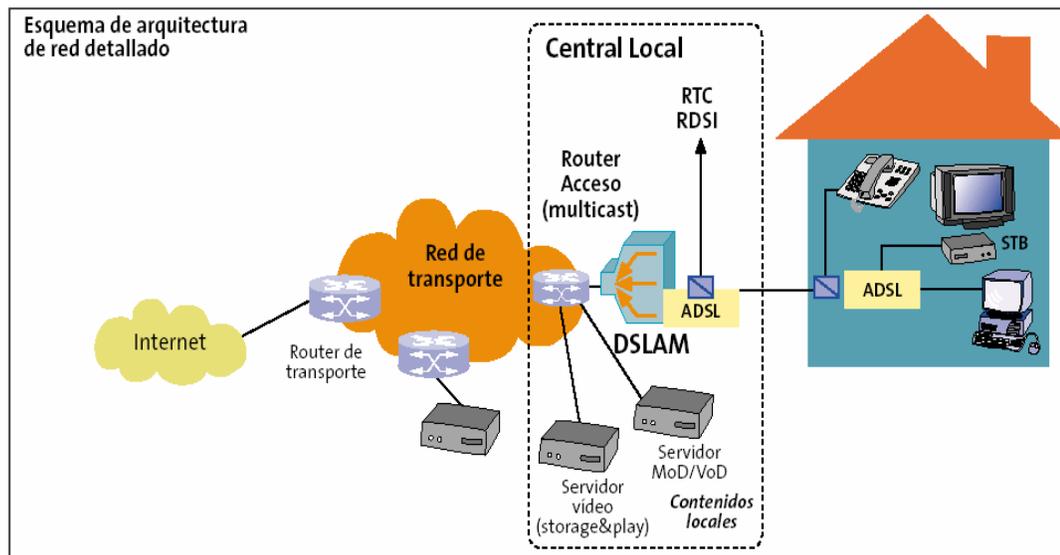
El común denominador de todas las tecnologías xDSL, entre ellas el ADSL, es que funcionan sobre el bucle de abonado local. Como consecuencia de ello las redes de acceso xDSL se han visto impulsadas por las operadoras clásicas de telefonía, como tecnología que permitiera el acceso al servicio de banda ancha sobre los pares de cobre, que daban servicio a la telefonía. Esta tecnología se basa fundamentalmente en la utilización por parte de las compañías proveedoras del par trenzado que llega hasta cada teléfono. Gracias a esto la tecnología no requiere de la implantación de ninguna red, o coste alguno, exceptuando los equipos que se encargan de transmitir y adaptar la información que va a ser envía desde el origen.

El par trenzado usado consiste dos pares de cobre aislados, trenzados entre sí para protegerlos de radiaciones y envueltos en una protección de plástico. Además este medio de transmisión tiene la ventaja de ser un medio muy flexible y de coste relativamente bajo para la transmisión de voz y datos. Sin embargo, presenta el inconveniente de que ofrece un ancho de banda bastante limitado. De esta forma, las diferentes tecnologías xDSL se caracterizan por la relación entre las distancias alcanzadas entre módems, velocidad, y simetrías entre el

tráfico ascendente y descendente. De esta forma cada módem xDSL se adapta a un tipo diferente de aplicación.

La arquitectura fundamental de las tecnologías xDSL, y en particular de ADSL, se basa en la existencia de una pareja de módems situados a ambos extremos del par de cobre. Las diversas modulaciones empleadas no pueden transportarse a gran distancia ni sobre cualquier categoría de cable ni tampoco la señal proveniente del enlace ascendente puede atravesar los equipos de conmutación de circuitos de la RTB, por lo tanto estos enlaces de datos solo pueden establecerse entre el usuario y la central.

Figura 17. Arquitectura completa operador ADSL.



Las arquitecturas de las redes xDSL, y ADSL, son configuraciones de enlace punto a punto, desde el cliente del servicio y la central de conmutación más cercana. Esto hace que los enlaces desde y hasta los usuarios sean dedicados y no compartidos por más de un usuario. Esta es sin duda una de las características más destacadas, ya que el resto de las tecnologías (HFC, LMDS, WLAN, Satélite) son medios netamente compartidos por los usuarios del

servicio. A partir de la central, generalmente la arquitectura de los sistemas ADSL se basa en redes de transmisión y multiplexación ATM, y en redes de datos basadas en IP. De esta manera, la transmisión es transparente para los usuarios, ya que desde la central es función del operador como se da salida a los datos.

Las centrales que soportan esas tecnologías deben disponer de los equipos de agregación de la parte reservada a la red (bucles de abonado), para combinar el tráfico de datos de cada uno de los usuarios, y que este se pueda redirigir hacia la red troncal. Los equipos destinados a este fin se denominan DSLAM (*DSL Access Multiplexer*) y terminan el enlace físico que soporta las modulaciones de ADSL. Así los flujos bidireccionales de datos correspondientes a cada par de cobre, se inyectan hacia el troncal, en norma general, sobre una jerarquía de conmutación de paquetes ATM.

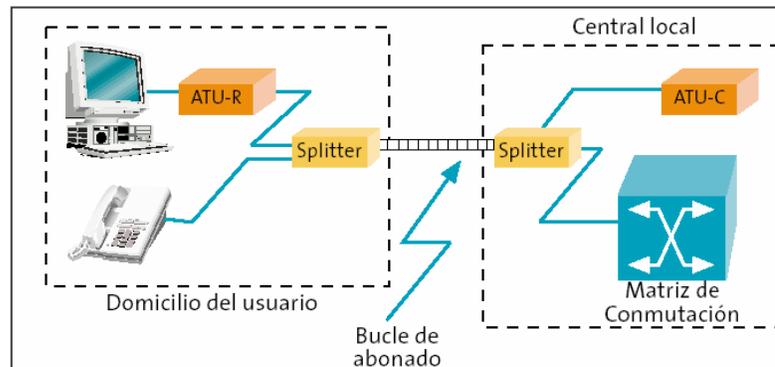
Estructura de red y elementos de la red

Los elementos de la red ADSL de acceso, que intervienen en la comunicación son los siguientes:

- **Módem ADSL o ATU-C (ADSL Terminal Unit Central).** Módem ADSL, que reside en el nodo de acceso y cuya función principal es la de modular la información digital para así, adaptarla bucle de abonado.
- **Microfiltros o Splitters.** Ambos se encargan de separar la voz de los datos transmitidos, de manera que la voz vaya desde el teléfono de abonado hasta la PSTN (Red Telefónica Conmutada Pública) y los datos desde el equipo terminal hasta la red de acceso al servicio.
- **Bucle.** Por el que se envían las señales de voz y datos. La modulación evita que interfieran las bandas de ambos.

- **ATU-R (ADSL Terminal Unit Remote)**. Módem ADSL que reside en las dependencias del abonado. Convierte la información digital de la red de usuario en celdas ATM y la modula para que pueda enviarse por el bucle de abonado. En algunos casos, también puede hacer funciones de encaminamiento de red de usuario. Los DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) se ubican en la central remota y son un banco de módems encargados de recibir la información proveniente de las ATU-C, decodificarla y multiplexarla digitalmente, para poder a continuación transportarla al destino deseado, . multiplexor digital DSL, conocido como DSLAM.

Figura 18. Arquitectura ADSL.



3.1.1.4 Ventajas y desventajas

Ventajas

Las principales ventajas tecnológicas principales asociadas a las tecnologías xDSL son las siguientes:

- La infraestructura ya está disponible, pues se utiliza los pares de cobre, que dan servicio a la telefonía. Además no se requiere trabajos de ingeniería civil para colocar nuevos cables, o necesidad de permisos de obra. Esto redundará en una reducción de costes y de los tiempos de respuesta para ofrecer el servicio.
- Proporciona accesos de alta velocidad. Esto posibilita que se ofrezcan servicios como videoconferencia o difusión de vídeo, así como aplicaciones de multimedia a interconexiones LAN, WLAN, o acceso a Internet. Pese a ello algunas de estas aplicaciones tienen restricciones en cuanto a la velocidad operativa de la línea.
- Conexión ininterrumpida. Los usuarios pueden descargar gran cantidad de información al tener un ancho de banda dedicado en el enlace.
- Red de Acceso doméstica y personal. Dada la enorme capilaridad de esta red de acceso, que presenta topología de red en estrella, dotan al enlace de mayor seguridad y privacidad. Por lo que esta tecnología es muy adecuada para ofrecer servicios de datos al mercado doméstico.
- Flexibilidad. Antes del desarrollo de la tecnología xDSL, aquellos quienes querían utilizar Internet sin ocupar su línea debían adherir otra más; lo

que en realidad tenía un costo bastante elevado. Utilizando la tecnología xDSL, los usuarios pueden utilizar la misma línea para recibir y hacer llamadas telefónicas mientras estén conectado a Internet y transfiriendo o recibiendo datos. Una de las mayores ventajas de ADSL sobre los módem analógicos, RDSI y HDSL reside en su capacidad para proporcionar soporte de servicio telefónico sin impacto alguno en la capacidad de procesamiento de datos. La razón es que ADSL utiliza tecnología de división de frecuencia, permitiendo separar los canales telefónicos de los otros dos canales. RDSI y HDSL sin embargo aunque pueden efectuar conexiones telefónicas, lo hacen consumiendo 64 Kbps de ancho de banda.

- Totalmente digital. xDSL convierte las líneas telefónicas analógicas en digitales adhiriendo un dispositivo denominado *splitter*, y un módem del tipo xDSL. De ese modo la línea permite la convivencia de ambos servicios.
- Conectividad a bajo coste. Al no ocupar la línea, la conexión es permanente y es posible asignar direcciones IP fijas, lo cual permite que la tarifa no sea por tiempo sino una cuota fija.
- Seguridad. Como consecuencia de que a cada cliente le llega un par trenzado, entre la central y el abonado se crea un acceso dedicado, no compartido, donde la seguridad es mayor que en un medio compartido donde las transmisiones requieren de algún algoritmo que garantice la confidencialidad de los datos.

Desventajas

Los principales inconvenientes tecnológicos asociados a las tecnologías de acceso vía xDSL son los siguientes:

- Incompatibilidades. El sistema no es compatible con líneas con servicios especiales, como son RDSI, hilo musical, servicio TRAC, líneas backup, circuitos alquilados, grupos centrex, centralitas, etc. Ello dificulta la instalación de la tecnología al tener que llevar a cabo reformas del equipamiento anterior.
- Diferencias en cuanto a ancho de banda, atenuación, distancia o calibre del par trenzado utilizado, para cada tecnología xDSL, que evitan el despliegue de ADSL y sus tecnologías análogas hasta los clientes cuando la red no es la adecuada.
- Estado del bucle de abonado. Presenta algunos problemas, como rampas multipladas, calibres heterogéneos, empalmes, destrenzado en los últimos metros, existencias de bobinas de carga, etc. que impiden el despliegue de estas tecnologías por problemas de pérdidas o imposibilidad de uso del ancho de banda del par.
- El Ruido. Las interferencias degradan altamente la calidad de las señales que se intercambian entre la central y el módem, produciendo una reducción de la tasa binaria al aumentar el BER (*Bit Error Rate*). En condiciones de ruido y exceso de interferencias en la línea telefónica, quizás no es posible desplegar ADSL. En ocasiones los cables de pares son más sensibles al ruido e interferencia, incluso que los cables coaxiales.

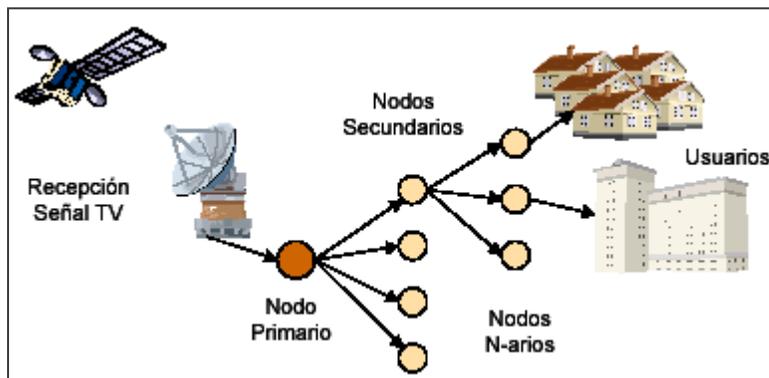
- Diafonía en cables multipares. Los pares trenzados que viajan agrupados en un mismo cable, pueden interferir electromagnéticamente unos con otros, de manera que se distorsionen las señales que se transportan.
- Problema de la longitud del bucle. En las tecnologías xDSL, el régimen binario máximo obtenible disminuye cuando la longitud del bucle de abonado aumenta. Así, tecnologías como VDSL, que permiten regímenes binarios muy elevados, precisan que el bucle de abonado tenga 300 m como máximo. Podemos decir que para utilizar xDSL, se debe estar a menos de 5500 metros aproximadamente de la central telefónica, ya que a una distancia mayor no se puede disfrutar de la gran velocidad que provee el servicio. Después de los 2400 metros la velocidad comienza a disminuir, aunque pese a ello en este tipo de tecnologías la conexión es más veloz que mediante un módem y una línea telefónica.
- Dimensionamiento. Debemos considerar que los operadores que ofrecen servicio, incorpora una función de multiplexación ATM, así las características del acceso a Internet de alta velocidad ofrecidas, permite obtener ganancia estadística mediante sobre suscripción, es decir, la suma de los tráficos medios ofrecidos a los abonados es superior al tráfico que se suele ofrecer hacia la red. Así los usuarios de ADSL deben competir por el ancho de banda, y de esta manera los operadores pueden contratar más líneas ADSL. Existe pues la posibilidad, de que el servicio contratado no sea ofrecido por el operador, al saturarse la red

3.1.2 Redes híbridas de fibra y cable (HFC)

Las redes HFC, son redes de acceso cableadas terrestres, basados en sistemas híbridos que combinan fibra óptica y cable coaxial. El primero es usado para el transporte de los contenidos y el coaxial para el cableado de acometida hasta los usuarios.

El origen de las actuales redes HFC se remonta a los años 60 en los EEUU, cuando se desarrollaron las redes CATV (*Community Antenna TeleVision* o también denominadas Cable TeleVision). Estas redes, se empleaban para la transmisión de señales de TV analógica, usando como soporte de transmisión el cable coaxial, permitiendo poder tener varios canales de televisión de manera simultanea y a mejor calidad que la transmisión terrestre de TV, debido al ancho de banda del coaxial.

Figura 19. Estructura básica de una red CATV.



Las redes CATV poseen una topología de árbol, en donde a partir de un nodo de cabecera, se recopilan todos los canales a transmitir a través de la red. El origen de estos puede ser vía satélite, TAT (Televisión Analógica Terrestre) o TDT (Televisión Digital Terrestre), transmisiones terrenales de microondas, o

redes de distribución de fibra óptica. Desde la cabecera surge el troncal de la red encargado del transporte de los contenidos hacia la red de distribución de cada zona. La red de distribución se encarga del transporte de los contenidos desde la cabecera hasta los puntos de distribución o acometida donde se conectan los abonados de la red.

Las redes CATV fueron pensadas para el transporte y distribución de señales analógicas de TV, pero en la actualidad estas redes han evolucionado hacia sistemas integrados que permiten soportar señales de voz, datos e imagen, bajo grandes requerimientos de ancho de banda y calidad. Esto se ha conseguido gracias a la introducción de la fibra óptica en el troncal de la red de cable, permitiendo gracias a su alta capacidad de transmisión, la posibilidad de servicios interactivos, servicios que precisan de una red donde la comunicación sea bidireccional y no solo en el sentido del usuario final. Así las redes han dejado de ser redes difusión y pasando a ser sistemas globales. Esta evolución de la tecnología ha permitido que el ámbito de las redes CATV se extienda a áreas metropolitanas MAN, cada vez más extensas e interconectadas.

Inicialmente las redes CATV basaban la arquitectura de su red en dos elementos, el cable coaxial y los amplificadores de banda ancha. Estas redes al estar configuradas sobre coaxial no tienen problemas de interferencia cocanal entre las señales de TV, pero como contrapartida poseen la limitación de la alta atenuación del coaxial a alta frecuencia. Esto hecho, limita las distancias máximas de la red, ya que el ruido introducido eliminaría la señal si no existe un proceso de amplificación previo que garantice un nivel de SNR adecuado. La recepción puede ser directa, si el Televisor puede discriminar entre los canales del cable, o requerir de un receptor externo STB (*Set-Top-Box*) que retransmite el canal elegido hacia el aparato de televisión.

3.1.2.1 Arquitectura, estructura y elementos de red

Arquitectura

Tras las redes CATV, gracias a la introducción de la fibra en el troncal de red, se ha conseguido configurar redes con mayor capacidad, y mayor longitud. En la parte final de la red se mantiene la red de coaxial por ser mucho más económica que una red completa de fibra. Además permite obtener una red global con grandes capacidades de escalado en función de las necesidades que sean demandadas. Estas nuevas redes se denominan redes HFC. Dichas redes, presentan un esquema mejorado como consecuencia de la fibra óptica. Mediante la introducción de esta, se produce disminución del número de amplificadores en cascada necesarios en la red, reduciéndose el ruido y distorsión en las señales transportadas. La fibra aumenta el ancho de banda de la red, lo cual la dota de una mayor flexibilidad y capacidad de servicio.

Estructura de la red

Las redes de acceso basadas en HFC, poseen una configuración multipunto. Este tipo de redes poseen una configuración altamente jerárquica, basada en anillos de fibra óptica y redes activas de coaxial.

Elementos de la red

La topología de las redes HFC esta basada en los siguientes elementos:

- **Cabecera (*Head-End*)**, en donde se recopila todos los canales de televisión a difundir por la red. Además en este nodo de cabecera se establece todas las interconexiones, con otras redes de transporte fijas o móviles, así como los servidores de acceso a los diferentes servicios, y el servicio telefónico. La cabecera suele formar parte de una red de

transporte interurbano (SDH, generalmente), que consiste en una red óptica que interconecta las cabeceras de servicios de varias poblaciones, como soporte de transporte de los servicios prestados. Dentro de la cabecera se distinguen dos partes diferenciadas:

- Cabecera de servicios, que es el origen de las señales que se transmiten a través de la red. Contiene los equipamientos y sistemas que permiten a los operadores prestar de manera integrada todos los servicios.

- Cabecera óptica o de transmisión, que es el equipamiento óptico capaz de dar soporte a los servicios a transmitir en la red.

- **Red troncal** Se encarga de llevar la señal desde los puntos de distribución hasta los puntos de distribución. Dicha red la podemos diferenciar en dos partes en función de su cobertura y nivel de despliegue final, diferenciando:

- Red Troncal Primaria, es la red óptica que une la cabecera y los nodos Primarios. Suele seguir topologías en anillo o en estrella, mediante enlaces redundados. Estos dan cobertura a unos 15000 hogares.

- Red Troncal Secundaria, es una red óptica que une los nodos primarios y los nodos finales o nodos electro-ópticos. Estos poseen un nivel de cobertura de unos 500 hogares.

- **Red de distribución** Se encarga de llevar las señales desde los puntos de distribución hasta los abonados. Dentro de esta podemos diferenciar tres partes:

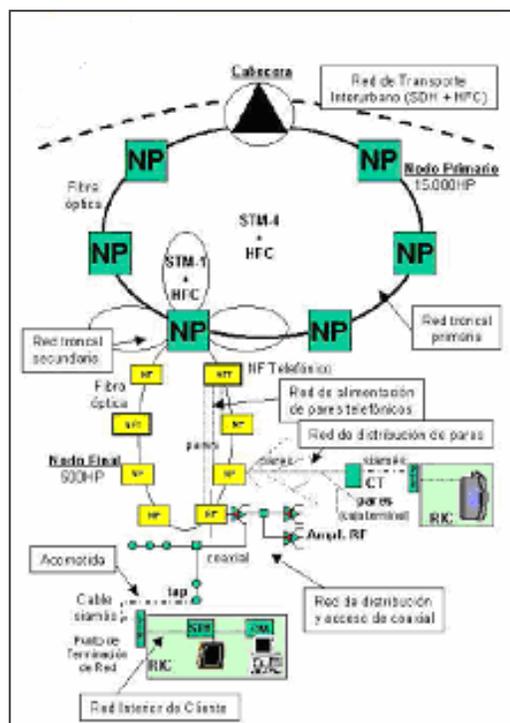
- Red de distribución de coaxial, es una red de cable encargada de la conexión del nodo final con el TAP o Punto de Conexión de Red.

- Acometida, es la parte de la red HFC que salva el tramo entre el PCR (TAP y/o caja terminal de pares, en función del servicio telefónico dado), es decir el tramo de red en el edificio. Esta formado por equipamiento pasivo, como derivadores y repartidores de señal.

- Red interior de cliente, formado por el cable coaxial donde se distribuyen los servicios. También puede llegar un par trenzado si el servicio telefónico es *overlay*.

- **Módems de cable o cable módem (CM)** La función del módem de cable es convertir la red de cable CATV, en una vía transparente para el transporte de datos a alta velocidad e Internet, ofreciendo hacia el usuario y hacia otras redes desde la cabecera, interfaces estándar.

Figura 20. Esquema de una red HFC



3.1.2.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

Las principales ventajas tecnológicas asociadas a la tecnología HFC son las siguientes:

- Alta capacidad de crecimiento y escalado, mediante el desdoblamiento de las redes de coaxial y fibra óptica, que permiten dimensionar la red en función del número de clientes que hayan contratado el servicio.
- Capacidad de integración de otras tecnologías de acceso, como el xDSL de la cual se puede valer para llevar más lejos el alcance de los servicios prestados, sin más que usar el par trenzado de cada usuario si este dispone de él. También es posible usar tecnología de WLAN en la difusión final de servicios provistos por las redes HFC.
- Asignación dinámica de recursos, en función de la demanda y número de clientes que paulatinamente solicitan el servicio, mediante la reducción de los usuarios por canal y la dotación de un mayor número de portadoras digitales para prestar los servicios.
- Posee una capacidad nominal de hasta 40 Mbps y una capacidad efectiva de hasta 30 Mbps en el canal descendente y de 10 Mbps en de retorno, que la convierten en la red de acceso de mayor capacidad de las que están operativas en la actualidad.
- Las redes HFC, para su implantación requiere de la construcción integra o parcial de una red de fibra y coaxial. Esto dota a los operadores de una potente infraestructura de red, que puede ser explotada de múltiples

opciones, así como es capaz de dotar de servicio de alta capacidad en áreas desde decenas a cientos de km. De esta manera siempre se tiene la posibilidad no solo de explotar los servicios a los clientes, sino también puede explotarse la red y toda su capacidad de transporte.

- Al ser un sistema cableado, que requiere de una infraestructura e red independiente por operador, el espectro del medio de transmisión y por lo tanto, el ancho de banda disponible es exclusivo para cada uno de ellos. Esto permite una gran flexibilidad, y no impone restricciones como ocurre en el medio inalámbrico tales para satélite, LMDS, WLAN, GSM, etc.

Desventajas

- La capacidad del canal ascendente y descendente es compartida por todos los usuarios de la red de distribución, lo cual ante elevadas tasas de carga, o un dimensionamiento excesivamente ajustado, puede provocar una elevada ralentización del servicio prestado al reducirse la tasa mínima asignada a cada usuario para transmitir y recibir.
- La velocidad de transmisión de la red se ve altamente afectada por las condiciones de propagación de las señales eléctricas, es decir por el ruido, retardos de propagación y ecos, etc.
- Equipos activos de la red de coaxial como amplificadores, introducen ruido y generan una alta degradación en la red, exigiendo de unos elevados niveles de calidad para mantener un servicio. Además estos amplificadores deben ser bidireccionales para que los contenidos transmitidos por los usuarios lleguen hasta la cabecera.

- La red HFC presenta el 90% de los problemas de ruido e interferencias en el segmento de la red de coaxial, siendo especialmente dañino el *ingress* (ruido impulsivo y otros ruidos de RF) y el efecto embudo del canal de retorno *funneling*. Sin duda esta red, pese a tener un menor coste supone un punto de degradación importante para el resto de la red. Además a mayor número de usuarios compartiendo el medio mayor es el ruido que se introduce en la red y por lo tanto la degradación producida.
- Las redes de cable son un medio compartido, lo cual supone un problema para la seguridad dentro de la red. Esto hace que sean necesarios sistemas que prevengan de violaciones de seguridad por parte de otros usuarios o intrusos que accedan a la red de manera ilegal, pudiendo tener acceso a contenidos prohibidos para ellos. Pese a la existencia de potentes herramientas de seguridad en las redes HFC, es necesario que los clientes del servicio extremen las precauciones debido a las características de la red.
- Canal de retorno hostil y del tipo multipunto a punto. El canal de retorno de las redes HFC, tiene un ancho de banda de entre 5-65 MHz. Esto es reducible a una banda entre 20-65 MHz debido, a que el ruido presente en la banda de 5-20 MHz, hace prácticamente inservible este rango de frecuencias. Además como el medio es compartido, compitiendo por los recursos y usando la parte más baja del espectro (la más ruidosa), estamos ante un canal hostil de difícil gestión y control. Además la reducción del espectro de retorno, así como obliga a modulaciones robustas frente a eficientes reduciendo la velocidad efectiva final. La red, en el canal de retorno es del tipo multipunto-punto, al viajar hacia la cabecera todas las transmisiones de los usuarios, pudiéndose producir

problemas si el dimensionado de la red, se ve saturado por las demandas o el tráfico que los usuarios generen.

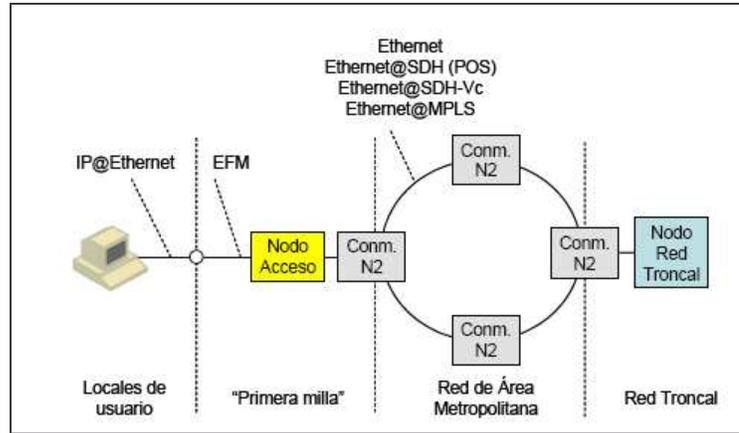
3.1.3 Ethernet en la primera milla (EFM)

El estándar Ethernet en la primera milla (EFM), desarrollado por el *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, define los protocolos que enlazan la red troncal con el usuario. Esta tecnología pretende mejorar el alcance que hasta ahora se obtenía con el soporte normal de Ethernet. Sus posibles aplicaciones pueden ser la distribución de televisión, la telefonía de voz sobre IP, el acceso a Internet, los servicios interactivos, etc.

La tecnología EFM cuenta con tres tipos de acceso:

- Ethernet en redes punto a punto con conexiones de cable de cobre telefónico. Basándose en las tecnologías VDSL y SDSL, alcanza tasas de transmisión de 10 Mbit/s en distancias de hasta 750 metros.
- Ethernet en redes punto a punto sobre fibra óptica. Se trata de una tecnología más simple y económica que la actual. Su objetivo es garantizar los 10 Gbit/s de velocidad en distancias de hasta diez kilómetros.
- Ethernet en redes punto a multipunto sobre fibra óptica. Al igual que las redes punto a punto, garantizará los 10 Gbit/s de velocidad; sin embargo, estas tasas de transmisión se compartirán entre los usuarios conectados a la misma fibra.

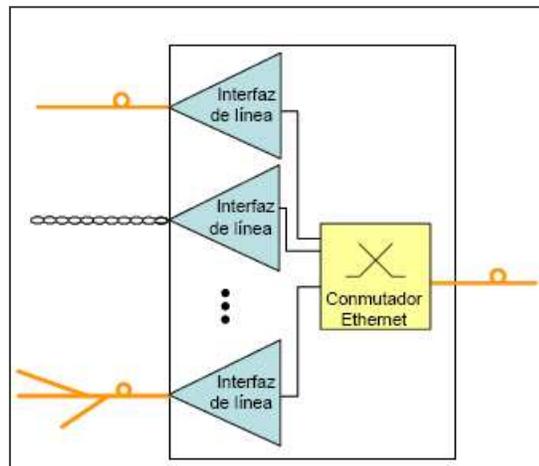
Figura 21. Modelo de referencia de Ethernet en la primera milla



3.1.3.1 Arquitectura, estructura y elementos de red

Los elementos principales de un acceso EFM son los nodos de acceso, que básicamente son conmutadores Ethernet y la terminación correspondiente en los locales de usuario. La Figura 22 representa un diagrama de bloques muy simplificado de un nodo de acceso.

Figura 22. Diagrama de bloques de un nodo de acceso EFM

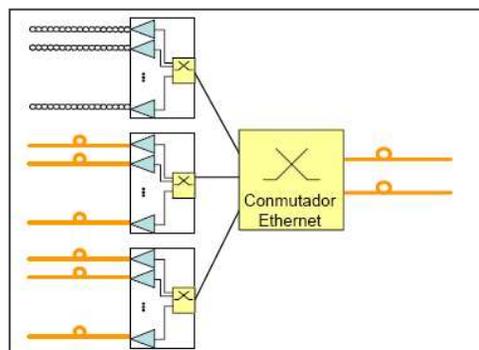


Las diferencias con un conmutador Ethernet convencional de uso corporativo son:

- Las interfaces de línea, que proporcionan la capa física que nos permite tener los alcances requeridos en el entorno público.
- El conmutador debe ser capaz de trabajar con etiquetas de LAN virtuales para asegurar la privacidad de la línea de forma que sólo el tráfico destinado al usuario, o dentro de su grupo de usuarios, sale por esta interfaz del usuario.
- El conmutador proporciona además funciones de valor añadido como *IGMP snooping* para controlar localmente la función de envío multidestino.
- El conmutador Ethernet suele proporcionar además una interfaz de gestión SNMP.

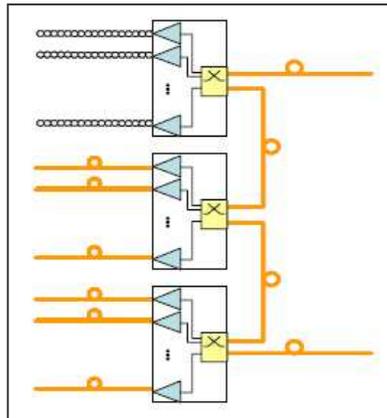
En la práctica, las interfaces de línea se suelen agrupar en tarjetas por tecnología. Esto puede hacer necesario la localización física de un conmutador Ethernet en cada una de estas tarjetas. Para configurar un nodo de acceso se pueden usar arquitecturas como la representada en la Figura 23, que se derivan de las que en la actualidad se utilizan en los conmutadores corporativos, donde los conmutadores se apilan. Muchos circuitos integrados de conmutador Ethernet soportan esta prestación de apilamiento.

Figura 23. Nodo construido apilando conmutadores



Otra alternativa, también utilizada en los entornos corporativos, es hacer conmutación a dos niveles como se ilustra en la Figura 24, donde el conmutador central es de mayor capacidad que los conmutadores por tarjeta. Esta configuración permite soportar un mayor tráfico.

Figura 24. Nodo con dos niveles de conmutación



En cuanto a las interfaces hacia la red, se contemplan dos opciones:

- El nodo de acceso proporciona interfaces Ethernet 1/10 Gbit/s. La seguridad del servicio se proporciona, si es necesaria, por redundancia de los enlaces. La garantía de calidad de servicio se hace sobredimensionando (poniendo menos usuarios por interfaz Gigabit Ethernet).
- El nodo forma parte de la Red de Área Metropolitana. En este caso, el nodo de acceso realizaría las funciones de red metropolitana, es decir, nodo RPR, ADM SDH con posible concatenación virtual, conmutador frontera (*edge*) de MPLS, etc., dependiendo de la tecnología que se haya escogido para garantizar la calidad y la protección frente a fallos.

En cuanto a las terminaciones de red en los locales del usuario, muy probablemente se encontrarán versiones integradas en dispositivos como routers, IAD, etc. Es decir, la interfaz de usuario será mayoritariamente Ethernet 10/100 ó 1 Gigabit Ethernet, pudiendo tener también entradas de teléfono estándar (RJ11) que se conecten a una pasarela de voz sobre IP integrada en el IAD.

3.1.3.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

- La ubicuidad de la Ethernet, que se ha convertido en la tecnología predominante en las redes de empresa y una de las interfaces más comunes en los PCs. Esta predominancia es debida en gran parte a la disponibilidad de estándares mundialmente aceptados y demostrada interoperabilidad entre los elementos de todos los suministradores.
- La disponibilidad de grandes anchos de banda: la evolución a este respecto, de los 10 Mbit/s iniciales a 100 Mbit/s y posteriormente a 1 Gbit/s e incluso 10 Gbit/s, hace que cada vez se soporten aplicaciones que demandan mayores prestaciones.
- Precios reducidos. Debido a la enorme producción en volumen que se ha obtenido, junto a la competencia real soportada por la interoperabilidad, los precios de los componentes Ethernet son extremadamente competitivos. En los 20 años de evolución de la tecnología se ha cumplido la siguiente regla práctica: las prestaciones de una generación a la anterior se incrementan en un orden de magnitud, mientras los precios se multiplican sólo por tres. Si comparamos con los precios de

otros elementos de transporte conmutación equivalentes en cuanto a capacidad (SDH, ATM), el coste de los elementos Ethernet resulta ser entre la décima y la quinta parte.

- Facilidad de operación y provisión del servicio, debido en parte a la autoconfiguración y asignación flexible de ancho de banda. En sistemas alternativos como SDH la asignación de ancho de banda se hace en pasos de granularidad muy gruesa, con lo que la eficiencia del transporte disminuye.

Desventajas

- Garantía de calidad de servicio extremo a extremo. La Ethernet no fue diseñada en principio para esto. La solución más extendida es la fuerza bruta, es decir, sobredimensionar el sistema para que no se congestione.
- Mecanismos de protección contra fallos, aplicables sobre todo al segmento metropolitano. El estándar de protección en el segmento público está establecido por los 50 ms de restauración de un anillo SDH. El mecanismo natural de Ethernet, el restablecimiento de un *spanning tree* tarda del orden de decenas de segundos; incluso una versión mejorada (*fast spanning tree*) tarda del orden de los segundos.
- Pocas prestaciones de supervisión de la calidad de servicio, operación y mantenimiento.
- Problemas de escalabilidad de algunos recursos. Una manera de separar a los usuarios en entornos de área local es el establecimiento de redes locales virtuales (VLAN). Este mecanismo se basa en añadir un

identificador de red virtual a las tramas Ethernet; al estar este identificador limitado a 12 bits, el máximo número de redes virtuales es de 4096. Esto en un entorno público, y particularmente si se utiliza este mecanismo para separar usuarios individuales, supone un severo límite al tamaño de un área metropolitana.

3.1.4 Bucle inalámbrico (LMDS)

El bucle local inalámbrico o conocido también como WLL (*Wireless Local Loop*), es el resultado de la aplicación de las tecnologías *wireless* a las redes fijas de telecomunicaciones. Si bien permiten en mayor o menor grado la movilidad del usuario, las redes de acceso WLL y LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) no son consideradas como redes de comunicaciones móviles, sino como redes de acceso inalámbricas fijas, donde el equipo del usuario final no requiere de movilidad alguna.

La denominación LMDS es debida a las características del sistema. Estas son:

- **L (*Local*)**: Las características de propagación de la señal en ese rango de frecuencias limitan el área de cobertura de una célula, es decir algunos km.
- **M (*Multipoint*)**: Las señales son transmitidas de punto a multipunto, mientras que el canal de retorno del abonado a la estación base es punto a punto.
- **D (*Distribution*)**: La distribución de señales engloba voz, datos, Internet y vídeo.
- **S (*Service*)**: Los servicios ofrecidos por LMDS dependen totalmente de la elección de negocio del operador.

LMDS aparece como una prometedora tecnología en el marco de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha. Su destacado papel se debe a varias causas, pero fundamentalmente a tres razones: facilidad de despliegue, acceso de alta velocidad y red acceso a coste asumible. Los sistemas LMDS permiten un rápido despliegue en comparación con las tecnologías homólogas basadas en cable e incluso con relación a sus homólogas inalámbricas, a lo que se suma su carácter celular, que le dota de elevada escalabilidad.

LMDS permite el acceso a Internet de alta velocidad, tanto para el sector residencial como para el empresarial, gracias a las técnicas digitales. Esta tecnología presenta un importante potencial como tecnología de acceso para nuevos operadores que no dispongan de grandes recursos financieros.

LMDS es una tecnología que posee un corto recorrido desde su nacimiento en los años 1970 y 1980. Desde su nacimiento ha sufrido muchos cambios tanto a nivel físico como de servicios y capacidad de transmisión. Inicialmente la tecnología nace para dar servicios de difusión, utilizando la banda de 2 GHz. Posteriormente se convirtió el servicio en bidireccional, y se amplió la anchura de banda disponible utilizando la banda de los 3 GHz, dando lugar al servicio conocido bajo las siglas MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*). Con el paso del tiempo, la capacidad del sistema se vio superada no cubriendo las necesidades del servicio en cuanto a anchura de banda, y comenzó a utilizarse la banda de 23-25 GHz, dando lugar al servicio designado por las siglas LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*). En la actualidad, la tecnología continúa evolucionando, y se están diseñando sistemas que funcionan en las bandas de 35 GHz e incluso 42 GHz, ampliando considerablemente la capacidad efectiva disponible para los usuarios. Estos avances se complementan además con técnicas adaptativas en modulación y detección y corrección de errores que incrementan el caudal efectivo disponible

para los usuarios, la transición a los sistemas digitales que ha conseguido la integración total de los servicios en el estándar de acceso fijo inalámbrico LMDS.

3.1.4.1 Arquitectura, estructura y elementos de red

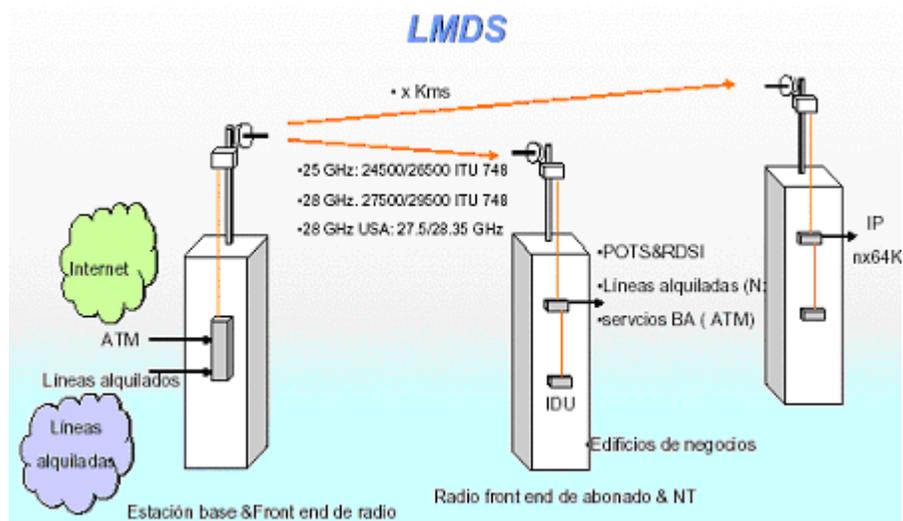
Arquitectura

LMDS es un sistema de comunicación de punto a multipunto que utiliza ondas radioeléctricas a altas frecuencias, en torno a 26, 28 ó 40 GHz, en las que existen bandas de frecuencia de unos 2 GHz con atenuación mínima (conocidas como ventanas espectrales) ante los agentes atmosféricos. Dada la anchura de banda disponible, el LMDS puede ser el soporte de una gran variedad de servicios simultáneos: televisión multicanal, telefonía, datos, servicios interactivos multimedia, acceso a Internet en banda ancha, etc.

En los sistemas LMDS, el territorio a cubrir se divide en células de varios kilómetros de radio (15-7 km en la banda 3.5 GHz, 2-8 km en la banda de 28 GHz, 1-3 km en la banda de 40 GHz). La antena receptora puede ser de dimensiones muy reducidas como antenas planas, con capacidad de emisión en banda ancha o de banda estrecha. En definitiva, se trata del acceso al bucle local vía radio.

Esta nueva tecnología presenta una serie de ventajas hasta ahora inalcanzables a través de las conexiones vía cable: alta capacidad de transmisión, despliegue e instalación muy rápida, crecimiento inmediato y simplicidad en el mantenimiento.

Figura 25. Estructura de una red punto a multipunto.



Las redes de acceso inalámbricas, como la LMDS, se caracterizan por una estructura punto a multipunto con una estación base, ubicada en un lugar apropiado que ofrece cobertura a un conjunto de estaciones de abonado, que entran dentro de su zona de cobertura. Así la estructura de una red de acceso inalámbrica coincide con la de cualquier red de tipo celular; pero con las ventajas propias de que los terminales a los que hay que proporcionar servicio no son móviles, sino fijos. Ello implica que los mismos pueden tener mayor tamaño y consumo mayor, pudiendo funcionar a frecuencias más altas, de mayor anchura de banda y capacidad, aunque necesitan línea de visión directa entre la estación base y las estaciones de abonado.

Una red inalámbrica como LMDS tiene normalmente opciones de acceso cableado, en la práctica por medio de fibra óptica. Por eso en muchas ocasiones se denomina a LMDS como una red de acceso HFR, es decir red Híbrida de Fibra y Radio, ya que las estaciones base se encuentran

interconectadas con fibra óptica. Además el equipamiento puede verse en forma separada la parte del operador y la de los clientes o CPE.

En el diseño de sistemas LMDS son posibles varias arquitecturas de red distintas. La mayoría de los operadores de sistemas utilizan diseños de acceso inalámbrico punto-multipunto, a pesar de que se pueden proveer sistemas punto-a-punto y sistemas de difusión de TV con el sistema LMDS. Es de esperarse que los servicios del sistema LMDS sean una combinación de voz, datos y video. La arquitectura de red LMDS consiste principalmente en tres partes:

- Backbone.
- Estación Base.
- Equipamiento del Cliente, CPE.

Figura 26. Esquema de red LMDS.



Estructura y elementos de red

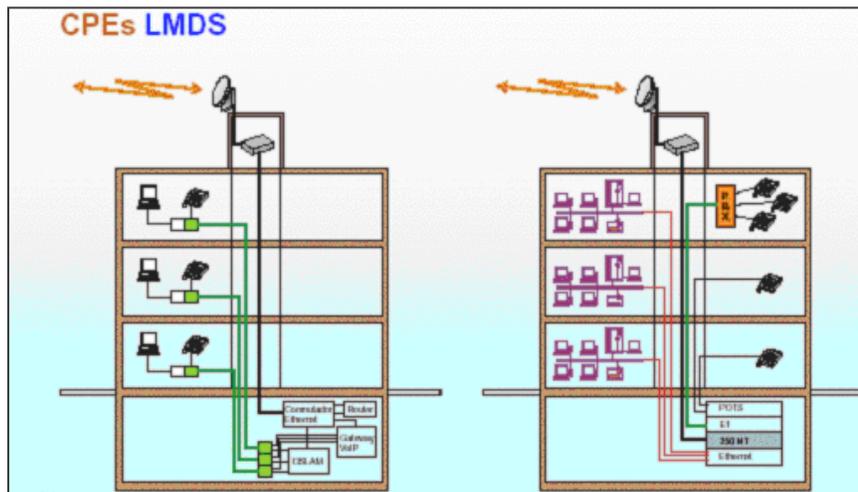
Los principales elementos que conforman la estructura LMDS bajo la división de la arquitectura de red son como se menciona anteriormente:

- **Equipamiento del Cliente CPE.** El CPE puede variar bastante según el proveedor, el fabricante y dependen incluso de las necesidades del cliente, pero la mayoría de ellos incluyen una serie de elementos que soporten las características del estándar LMDS IEEE 802.16. Las funciones del equipamiento del cliente, son dotar al usuario de un canal bidireccional de datos, y de una interfaz que posibilite la integración de todos los servicios, bajo un único enlace fijo vía radio. Las partes más generales del equipamiento son por lo general: antenas, transmisores y receptores de RF, equipos terminales IDU y adaptadores.
 - Antena, tipo disco de reducido diámetro (10 a 15 cm de diámetro y banda de 26 GHz) ó cuadrada y plana (25x25 cm y banda 3,5 GHz).
 - Receptor / Transmisor RF, equipo que transmite y recibe la información. Para aplicaciones simétricas de tráfico, como telefonía, datos e Internet.
 - Receptor RF, equipo que transmite y recibe señales, denominado LNB (*Low Noise Block*). Usado para aplicaciones asimétricas, recepción de TV mediante difusión.
 - Equipamiento adaptador, adapta las señales RF para su recepción, siendo un interfaz a la red de acceso inalámbrica. Es el caso de la TV, es el *Set Top Box*, la tarjeta red 10/100 base T para el PC y el *splitter* o módem radio para telefonía. Sin embargo no tiene que existir un equipo por usuario, los equipos terminales (IDU, *InDoor Unit*) son los elementos a los que se conectan los diferentes abonados de forma común. La estructura de una red de acceso

inalámbrica no exige que exista un equipo terminal por abonado, sino que un mismo equipo terminal puede dar servicio a un número elevado de abonados, actuando como multiplexor de acceso. Estos equipos terminales proporcionan diferentes interfaces a los usuarios finales, como pueden ser:

- Circuitos dedicados E1/T1
- Circuitos dedicados de $n \times 64$ Kbps
- 10/100 baseT Ethernet
- POTS
- Conexiones a centralitas PBX.
- Conexiones *Frame Relay* y ATM

Figura 27. Esquema de los CPE y los IDU dentro de un edificio.



- **Estación base.** Consistente en una torre de varios metros de altura, dónde se instalan dos o más antenas que dan cobertura a los usuarios ubicados en las cercanías (2 a 7 Km.). Se pretende que la estación base proporcione cobertura omnidireccional, situándose sobre estructuras o edificios ya existentes o sobre torres de transmisión de una altura determinada para poder disminuir al máximo las zonas de sombra. Las

estaciones base deben conectar a las redes públicas o privadas de voz y datos, con interfaces como ATM, IP, etc., y ofrecer la interfaz a la red de acceso inalámbrica, es decir son la pasarela entre la red inalámbrica de acceso y la red del operador.

Figura 28. Estación base LMDS.



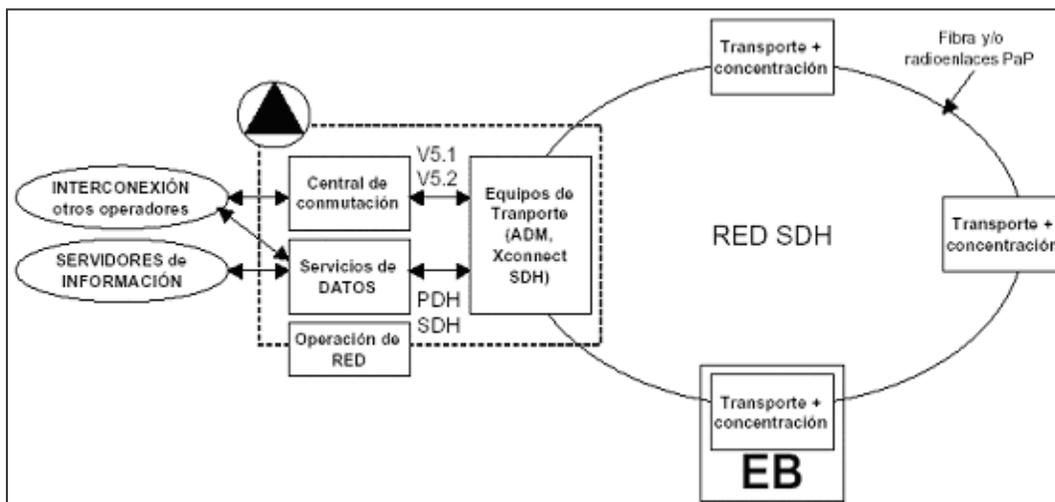
Características	Antena	Caseta
Altura	60 cm.	230 cm.
Ancho	25 cm.	120-180 cm.
Fondo	6 cm.	140 cm.
Peso	3 kg.	300 kg.
Banda de Frecuencia	3,4-3,6 Ghz	-
Potencia de antena	2 vatios	-

La estación base se comunica con los usuarios ubicados en los CPE, bajo el esquema de red punto multipunto. En la estación base se encuentra el equipamiento de transmisión y recepción de microondas (incluyendo las antenas) más las correspondientes funcionalidades de modulación y demodulación (o detección) de la banda base de información respecto de las portadoras de radiofrecuencia. Las transmisiones de una estación base pueden realizarse bajo un patrón omnidireccional o bien en forma sectorizada. El funcionamiento se basa en dividir el diagrama de radiación de la antena en sectores, de forma que se puedan crear diferentes nodos de área de servicio, permitiendo reutilizar las frecuencias produciendo un notable incremento de la capacidad global del sistema.

En la estación base también se realiza la conversión de la red inalámbrica en cableada, prevista con fibra óptica de transporte. Por lo tanto, el equipamiento incluirá la interfaz de red para la terminación de la fibra.

- **Backbone o red de transporte** Tiene la función de conectar la cabecera con otras redes de todo tipo (voz, datos, Internet ó TV). Es bastante común usar una infraestructura basada en ATM, para el soporte lógico de las aplicaciones. En el troncal de red se usan anillos SDH de fibra óptica y/o enlaces punto a punto de microondas. En este *backbone*, la red de transmisión por fibra óptica, usa enlaces STM-16, STM-4 y STM-1 de SDH, o bien DS-3. Fundamentalmente, las plataformas de conmutación son ATM o IP, o ambas. Además existen interconexiones con redes telefónicas tradicionales y a Internet.

Figura 29. Arquitectura de la cabecera y *backbone* típico de LMDS.



3.1.4.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

- Al ser el medio de transmisión radio, el desarrollo de la infraestructura necesaria para el establecimiento del servicio es fácil de desarrollar. Por el contrario, en los sistemas basados en redes de cable, se exige llegar de manera física a cada uno de los clientes que soliciten el servicio.
- El tiempo de ejecución de la infraestructura es mucho menor, lo cuál implica que los costes de establecimiento se reducen enormemente, puesto que con una sola estación transmisora se cubren todos los posibles clientes que entren dentro de la extensa área de cobertura de la misma. El 80% del costo es electrónica en vez de mano de obra y obra civil, produciéndose un desplazamiento de costos variables a costos fijos.
- Arquitectura de red altamente escalable como consecuencia de ser una red celular de acceso. Además la infraestructura escalable en función de la demanda, cobertura y concentración de edificios.
- La calidad de la señal no se ve afectada por las defectuosas redes de acceso locales existentes en muchos países, ya que todo el bucle local se realiza independiente de las mismas, vía radio.
- Como la inversión es más proporcional a la demanda, el costo principal está en el equipo de abonado, esta tecnología es más flexible para hacer frente a las bajas de abonados, no quedando la inversión enterrada, pudiéndose retirar la equipación y reutilizarse en el futuro, a un costo mínimo.

- Se trata de una tecnología de alta velocidad, que posibilita velocidades de hasta 8 Mbps, con posibilidad de asignar el ancho de banda entre clientes a tiempo real, o dedicarlo exclusivamente a unos usuarios establecidos. Además admite servicio de transferencia simétrico y asimétrico, en función de las necesidades y los receptores del servicio final.
- La tecnología LMDS ofrece calidad de servicio, de incluso niveles próximos al 99,99% de fiabilidad.
- Habilidad para manejar múltiples puntos de acceso de alta capacidad, con tiempos de instalación reducidos sin la preocupación de obtener los derechos de instalar cableados externos. Desde un punto de vista funcional, es capaz de prestar los mismos servicios que las tecnologías de cable, pero es mucho más barata, sencilla y rápida de desplegar.
- LMDS es un sistema de transmisión de banda ancha, se posibilita la integración de los servicios sobre el mismo medio de transmisión. Puesto que es un sistema de transmisión de datos, toda la información que se pueda digitalizar será susceptible de ser transmitida por él. Por lo tanto, utilizando la misma tecnología, un mismo usuario puede recibir servicios muy diferentes tales como acceso a Internet, telefonía, información multimedia bajo demanda, datos, etc.
- Al permitir la bidireccionalidad, se pueden ofrecer servicios como la TV multicanal, a telefonía ó el acceso a Internet conjuntamente mediante una plataforma única. Otras tecnologías inalámbricas tales como MMDS o el satélite no lo permiten.

Desventajas

- LMDS es una tecnología todavía reciente y en crecimiento, lo cual la sitúa en desventaja frente a tecnologías más asentadas en el mercado de las telecomunicaciones, y que poseen la confianza de los mercados económicos y de telecomunicaciones.
- Problemáticas legales para el desarrollo completo de la tecnología LMDS.
- Problemas de ubicación de las antenas de las estaciones bases LMDS debido a la radiación.
- LMDS es todavía un método de acceso en un ámbito empresarial, no llegando aun al sector residencial. Esto sin duda limita el éxito de la tecnología, ya que es el mercado residencial el que da éxito a los sectores preponderantes de acceso, caso de HFC y ADSL.
- Las redes de acceso inalámbricas, como todos los sistemas radioeléctricos, están sujetas a límites en cuanto a potencia radiada.
- Las bandas de frecuencias utilizadas por las redes de acceso inalámbricos (por encima de los 20GHz en algunos casos) son especialmente sensibles a las condiciones atmosféricas pudiendo se degradar considerablemente la calidad de los enlaces, llegando incluso a caer el enlace, por el efecto de los hidrometeoros (lluvia, nieve,etc.) y a los gases atmosféricos (sobre todo vapor de agua). Este efecto limita mucho la cobertura, tamaño celdas, la calidad y la fiabilidad del enlace.

- Como consecuencia directa de trabajar con las frecuencias más elevadas del espectro (más de 20 GHz), LMDS requiere la existencia de un *line-of-sight* o camino sin obstáculos entre la estación base y la antena del usuario o abonado para que la señal no sufra reflexiones y pueda llegar a su destino.
- El sistema LMDS es un sistema radio con coberturas de entre 2-7 Km lo cual limita bastante el alcance máximo de los servicios que soporta. Para dotar a zonas muy densamente pobladas, que posean condiciones meteorológicas muy duras, con altas tasas binarias de datos, son necesarias células de poco mas de 2 Km reduciéndose altamente el alcance, aumentando el número de células a cubrir, el número de usuarios por célula y el precio final de la infraestructura para dotarlo de igual capacidad.

3.1.5 Redes de acceso por satélite

Las comunicaciones vía satélite, son tras las comunicaciones clásicas de telefonía y TV, el medio de difusión de la información y los servicios de telecomunicaciones. Los satélites han resultado un elemento fundamental en el desarrollo de las comunicaciones y las tecnologías de la información como soporte universal para el intercambio y la difusión de la misma. El éxito de las comunicaciones vía satélite en muy diferentes ámbitos (militar, empresarial, ocio, hogar, etc.) viene asociado a sus especiales características. Estas han permitido el desarrollo de múltiples aplicaciones, así como la comunicación global, al romper las barreras físicas, geográficas y espaciales impuestas por la superficie terrestre.

Estas características asociadas son, un costo independiente de la distancia de transmisión, capacidad de establecer enlaces multipunto, ancho de banda

considerable, amplia cobertura geográfica, no le afectan las barreras naturales y geográficas, servicio disponible en zonas rurales o poco pobladas, facilidad para establecer nuevos mercados y facilidad de establecer nuevos servicios y aplicaciones. Durante muchas décadas, este tipo de sistemas de comunicaciones fue fundamental para el desarrollo de los servicios básicos, existentes. Gracias a la capacidad de interconexión, y a la cobertura global, tradicionalmente los satélites de comunicaciones se han utilizado para establecer enlaces troncales capaces de transportar aplicaciones diferentes como circuitos telefónicos conmutados, circuitos alquilados o canales de televisión punto a punto y de radiodifusión. Actualmente los servicios y la capacidad asociada a los enlaces vía satélite están cambiando rápidamente. Esto ha sido posible gracias los avances tecnológicos desarrollados en los últimos 20 años, a través de la integración de circuitos de alta frecuencia en los equipos espaciales, y al uso de nuevas bandas de frecuencias en el rango de decenas de GHz (Banda Ku y Ka), reduciendo el tamaño y el coste de los terminales.

El desarrollo tecnológico de los satélites, ha hecho posible el acceso directo de los usuarios al satélite. Desde hace 40 años se emplean satélites para distribuir y difusión de programas de TV a los usuarios residenciales. Este servicio se desarrolló inicialmente como un servicio de *broadcast*, sin posibilidad de canal de retorno o comunicación con la fuente de los contenidos. Así la introducción paulatina de un canal de retorno terrestre por módem telefónico o por RDSI, permitió prestar además servicios interactivos a través de los enlaces vía satélite. En los sistemas de TV digital por satélite, parte de la capacidad puede utilizarse para acceso a Internet sustituyendo flujos de vídeo por flujos de paquetes IP, de forma similar a la combinación de servicios de TV e Internet sobre redes de cable. En la actualidad, los operadores y proveedores de servicios vía satélite, implantan sistemas unidireccionales con canales de

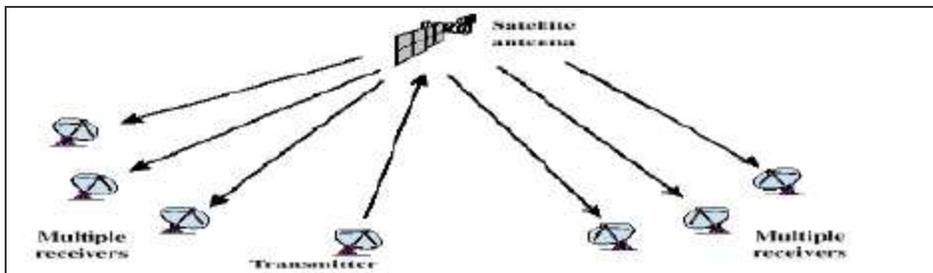
retorno terrestres y bidireccionales, con comunicación íntegramente por el enlace satelital. Este permite una comunicación más eficiente, dinámica, y con mayor capacidad. Pero como contrapunto, está el hecho de que los servicios bidireccionales son mucho más caros y complejos tecnológicamente, al tener disponer el usuario de equipos transmisores capaces de comunicarse con el satélite.

3.1.5.1 Arquitectura, estructura y elementos de red

La arquitectura de las redes de acceso por satélite puede ser definida en función del tipo de canal de retorno desde los usuarios hacia la red. Así de esta forma existen tres tipos de arquitectura de red básica:

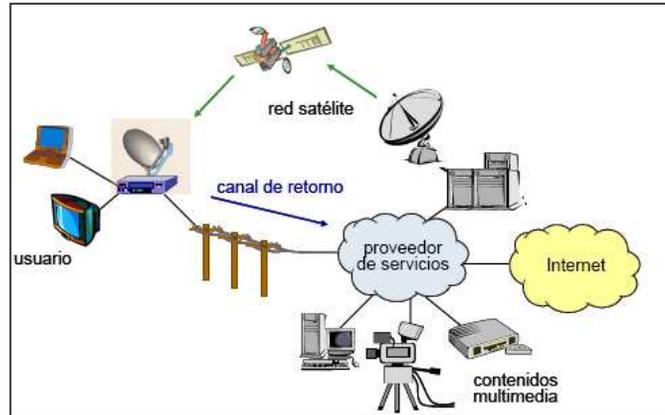
- Redes Unidireccionales. Son redes sin canal de retorno. Sólo permiten servicios unidireccionales, por ejemplo distribución de TV.

Figura 30. Red satelital unidireccional.



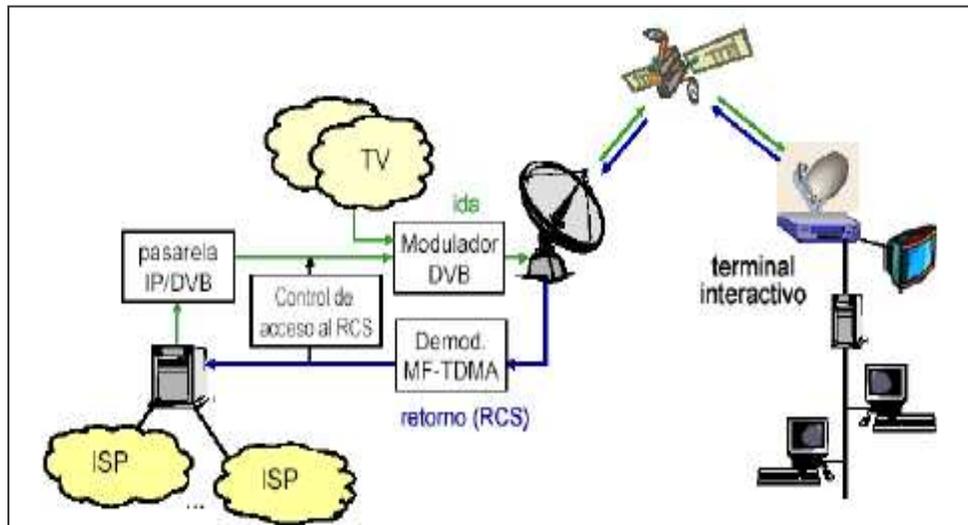
- Redes Híbridas. Son redes con canal de retorno a través de otra red diferente, por ejemplo red telefónica conmutada o RDSI. Permiten prestar servicios interactivos asimétricos, por ejemplo navegación por la Web para usuarios residenciales.

Figura 31. Red satelital híbrida.



- Sistemas bidireccionales. Son redes con comunicación en ambos sentidos a través del satélite. Normalmente la capacidad disponible en el sentido de bajada es mayor que en el de subida. Estos sistemas pueden utilizarse para crear redes privadas virtuales (VPN) para empresas con muchas sucursales, en particular si están situadas en áreas rurales. Los terminales de satélites bidireccionales son más caros y usan antenas mayores que deben ser instaladas por personal especializado, pero tienen la ventaja de que no dependen de otra red para el canal de retorno. Típicamente los sistemas bidireccionales han estado más orientados al mercado de empresarial y de negocios, pero actualmente se han extendido hasta el mercado residencial, al bajar los costes y aumentar el empeño de los operadores por su implantación. Algunas empresas ofrecen ya sistemas bidireccionales para usuarios residenciales que utilizan la misma antena para TV y para acceso a Internet. De esta manera la solución bidireccional vía satélite ha entrado en competencia con redes de acceso terrestres de ADSL, redes de cable y LMDS.

Figura 32. Red satelital bidireccional.



En general, las redes satelitales se caracterizan por:

- Cobertura extensa, con rapidez de instalación de los terminales y coste independiente de la distancia dentro de la zona cubierta. Un mismo satélite puede incluir haces con diferentes coberturas.
- Capacidad del orden de decenas de Mbit/s en el sentido de bajada hacia los terminales (*downstream*) y generalmente menor en el de subida hacia el satélite (*upstream*). La capacidad depende de las características de cada sistema y en particular del tamaño de las antenas.
- Adecuación para servicios de difusión.

Estructura y elementos de la red

Podemos estructurar los sistemas satelitales como una estación repetidora (satélite) situada en el espacio, al que se conectan estaciones terrestres mediante enlaces de microondas. Los sistemas satelitales, pueden poseer diferentes configuraciones, tipos de satélites, alturas, usos, coberturas, orbitas, etc. Sin embargo todos comparten una serie de características comunes. Estas características son la existencia de dos segmentos diferenciados como son el segmento terrestre y el segmento espacial.

- **Segmento espacial.** Es la parte que se refiere a las comunicaciones en el espacio abierto, se encarga principalmente de los equipos y funciones necesarios en el satélite para poder establecer las comunicaciones con las estaciones en tierra. Los elementos de este sector son: el satélite y la estación de telemetría. Así como un módulo de servicio y un módulo de comunicaciones.

- **Módulo de servicio.** Cada una de las partes del módulo de servicio, tiene una función en el satélite de manera que este pueda operar en el espacio y ningún agente externo del espacio pueda dañar o mediar en su correcto funcionamiento. Este módulo Consta de una estructura, el sistema de energía, el control térmico, el control orbital y de estabilización y la telemetría, el seguimiento y el telecomando, o estación de telemetría. Este es un servicio clave para el correcto funcionamiento de los satélites de comunicaciones.

- **Módulo de comunicaciones.** La función principal del sistema de comunicaciones, es la de recibir, amplificar y adecuar la frecuencia de la señal, transmitiendo las señales que llegan o salen del satélite. Distinguimos tres partes: las antenas, los transpondedores y los amplificadores de potencia.

- Antenas. Las antenas son la pasarela de entrada y salida de la información, recibiendo las transmisiones del y hacia el satélite. Se emplean muchos los tipos de antenas, en función de las necesidades de cobertura, señales involucradas, frecuencias y aplicaciones.

- Transpondedores. El transpondedor es el elemento encargado de amplificar cada canal de comunicaciones de manera independiente y aislada, del resto de canales y frecuencias a las que opera el satélite. Podemos clasificar estos en dos tipos: los regenerativo y transparentes. Los primeros procesan la señal en banda base, requiriendo un proceso de demodulación y modulación. Sin embargo ello permite la separación y adición de los contenidos en baja frecuencia, posibilitando pues el desacoplo de las entradas y salidas. Los segundos carecen de ningún procesado de la señal, solo la amplifican la señal y la retransmiten.

- Amplificadores de Potencia. Se encargan de inyectar potencia a las portadoras provenientes del enlace ascendente, de manera que garanticen los parámetros de calidad para la transmisión. Para ahorrar energía, cuestión crítica en los satélites, los amplificadores de potencia, trabajan en zona no lineal. Esto produce problemas de intermodulación los cuales deben ser muy controlados para evitar la interferencia.

- **Segmento terrestre.** La estación terrestre, se encarga de captar la señal (propia o procedente de la red). Esta es procesada en banda base y modulada, con objeto de ser transmitida a la red satelital o a la red terrestre. De igual forma las señales espaciales son recibidas, y precisadas mediante el equipo receptor y de amplificación con fin de acondicionar esta para su posterior reenvío. La señal puede combinarse con otras, para formar enlaces multiplexados de mayor capacidad, o ser separada en canales menores (FDM o TDM). Para ello las estaciones poseen equipamiento TDM y FDM que permite operar con los transpondedores del satélite de manera coordinada facilitando la perfecta comunicación. El alimentador de antena proporciona polarización adecuada y aislamiento con la señal recibida. Se requiere un amplificador de bajo ruido en recepción. Las señales de la estación de telemetría son extraídas y utilizadas a fin de controlar el enlace y el satélite en órbita. Las estaciones base podemos clasificarlas en:
 - Estaciones de capacidad alta. Formada por antenas grandes de 30 m de altas prestaciones, con capacidad de interconexión exterior de los contenidos recibidos y transmitidos por el satélite, así como pasarela entre redes y subsistemas terrestres.
 - Estaciones de capacidad media. Formada por antenas de 2 a 10 m, y encargadas de gestionar y procesar el tráfico de una empresa o región determinada.
 - Estaciones de capacidad pequeña (VSAT y USAT). Antenas pequeñas de 0.5 a 2 m de diámetro. Son sistemas para un único usuario, dentro de las redes VSAT remotas.
 - Estaciones terrestres móviles. Son estaciones con antenas de tamaño 1 a 2 m, con capacidad de movimiento o terminales

telefónicos móviles, típicos en sistemas LEO y MEO. Actualmente son terminales interactivos, como los terminales GPS.

- Estaciones terrestre fijas. Son terminales fijos sin capacidad de movimiento, basados en antenas de 0.5 a 2 m a través de los cuales se reciben las señales, principalmente Internet y datos.

3.1.5.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

- Las redes vía satélite son redes que admiten múltiples topologías de red, y sistemas de transmisión. Dada la posición orbital en la que se sitúan, les permite tener múltiples configuraciones de red pudiendo proveer de enlaces punto a punto, enlaces punto a multipunto o multipunto a multipunto, enlaces de difusión unidireccional, redes VSAT en estrella o en malla.
- Los sistemas por satélite permiten eliminar los problemas asociados con la distancia propia de los sistemas inalámbricos y xDSL, ya que la distancia física entre puntos, las barreras naturales y geográficas, o las limitaciones de potencia, se ven eliminadas, al ser un enlace espacial que discurre en el espacio exterior a la tierra.
- La creación de una red satelital no requiere de ningún tipo de cableado, o infraestructura terrestre, que requiera el desarrollo de una red de transmisión como las redes de cobre HFC y en menor medida LMDS. Además la red de acceso es sencilla, rápida de instalar y con costos asumibles en función del sistema instalado.

- Los sistemas satelitales actualmente son sistema bidireccionales, ya que la nueva tecnología satelital permite que la transmisión se produzca íntegramente a través del enlace vía satélite sin necesidad de interaccionar con redes terrestres, para el canal de retorno. De esta forma el canal de retorno pese a tener menor capacidad que el descendente, es posible habilitarlo sin pérdida de otros servicios como el telefónico.
- Las velocidades de acceso a Internet o para transmisión de datos IP a través de las redes vía satélite posee velocidades de hasta 4 Mbps o incluso más en el enlace descendente y hasta 1 Mbps en el de retorno satelital. Esto lo sitúa al nivel de transmisión o por encima de LMDS, HFC y ADSL.
- El costo del servicio es independiente de la distancia de transmisión, lo cual le hace un servicio muy eficiente para transmisiones de larga distancia, como enlaces internacionales, entre continentes o puntos distantes dentro de una misma corporación.
- El satélite es una plataforma multiservicio, que puede proveer todos los servicios y aplicaciones actuales, desde los más clásicos TV (analógica y digital), telefonía (móvil o fija), radio, hasta Internet, transmisión de datos, redes VPN, enlaces dedicados, teleeducación, videoconferencia, etc.
- El satélite es la herramienta ideal para cubrir las superficies de la tierra a las que no pueden llegar otras tecnologías de banda ancha, debido a sus limitaciones de cobertura e implantación. Así los servicios satelitales son la principal alternativa para dotar de banda ancha a las zonas rurales o poco pobladas.

Desventajas

- Los satélites que prestan el servicio en el espacio, lo hacen por un tiempo finito entre 10 a 15 años. Una vez superado deben ser sustituidos por otros satélites que cubran el servicio que estos prestan. Esto hace la necesidad de tener una flota en continua regeneración, lo cual es muy caro, ya que los satélites, sus sistemas de control y su proceso de lanzamiento al espacio tienen elevados costes no fáciles de asumir.
- Los sistemas satelitales excepto para aplicaciones unidireccionales (distribución de TV), el número de usuarios que se puede atender viene limitado por la capacidad disponible en la interfaz radio, normalmente en el enlace ascendente. De esta forma el número final de usuarios que pueden disponer de aplicaciones bidireccionales vía satélite, es finito y condicionado a la demanda.
- Los sistemas satelitales son sistemas con deficiencias elevadas de seguridad, como consecuencia de estar en un medio compartido por múltiples usuarios.
- Los sistemas satelitales comerciales y de comunicaciones operan en la banda Ku y C, lo cual les hace altamente sensibles a las atenuaciones durante la transmisión de la lluvia, la atmósfera y otros elementos medioambientales. Estos fenómenos generan elevadas pérdidas que obligan a tener que transmitir mayor potencia que garantice la recepción correcta de la señal.
- La transmisión, sobre todo en el enlace descendente se ve muy afectada por los obstáculos físicos que puede encontrarse, como árboles,

montañas, edificios, etc. Esto obliga a la necesidad de tener una visión directa y en línea recta con el receptor.

- Al ser un sistema inalámbrico, que hace uso del espectro público, se encuentra mediatizado por la disponibilidad de este, ya que limita la capacidad total del sistema al no poder disponer de un ancho de banda mayor para la transmisión.
- Los costos de los sistemas bidireccionales son actualmente excesivamente caros para que estén a disposición de los usuarios residenciales, orientándose más al mercado empresarial.

3.1.6 Redes locales inalámbricas (WLAN)

Una WLAN (*Wireless Local Area Networks*) es un sistema de comunicaciones de datos que transmite y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas en lugar del par trenzado, coaxial o fibra óptica utilizado en las LAN convencionales, y que proporciona conectividad inalámbrica de igual a igual (*peer to peer*), dentro de un edificio o en un área de cobertura.

Las WLAN pueden utilizarse de dos formas:

- Para establecer redes ad-hoc, esto es, redes cerradas donde un grupo de terminales próximos se comunican entre sí sin acceso a redes externas, por ejemplo un grupo de usuarios en una sala de reuniones.
- Como redes de acceso inalámbricas donde los terminales se comunican con un punto de acceso a través del cual pueden acceder a redes externas. Por ejemplo acceso a Internet desde un aeropuerto donde existe WLAN.

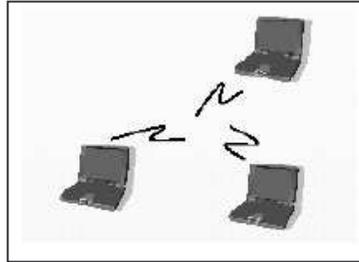
3.1.6.1 Arquitectura, estructura y elementos de red

Arquitectura

Las configuraciones o arquitecturas de red que pueden generarse con las WLAN, son diversas debido a que los estándares HiperLAN e IEEE802.11, son capaces de soportar diferentes configuraciones en función de cómo sean los equipos y requerimientos de cada sistema. Así la complejidad, la capacidad y la exigencia del servicio determinan el tipo de arquitectura a tomar. Las configuraciones típicas son de dos clases:

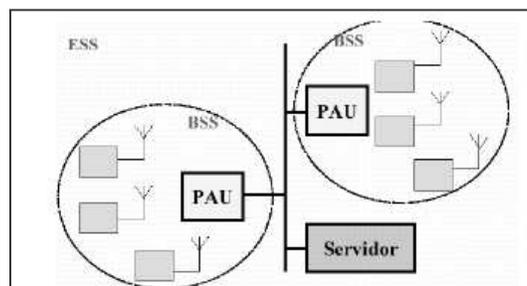
- **Peer to peer o redes ad-hoc.** La configuración de red más básica de una WLAN es la llamada de igual a igual o ad-hoc. Esta consiste en una red de dos o más terminales móviles equipados con la correspondiente tarjeta de red inalámbrica, de forma que la comunicación se establece entre los nodos, comunicándose directamente entre sí. Para que la comunicación entre estaciones sea posible hace falta que se vean mutuamente de manera directa, es decir, que cada una de ellas esté en el rango de cobertura radioeléctrica de la otra. Las redes de tipo ad-hoc son muy sencillas de implementar y no requieren ningún tipo de gestión administrativa. La coordinación se da de forma distribuida, ya que son las estaciones las encargadas de la gestión de la comunicación. Es una configuración muy flexible, pero requiere un número no elevado de terminales y gran control de potencia que evite alta interferencia.

Figura 33. Red WLAN ad-hoc.



- **Modo infraestructura.** Para aumentar el alcance de una red del tipo ad-hoc hace falta la instalación de un punto de acceso (*Access Point AP*). Con este nuevo elemento doblamos el alcance de la red inalámbrica (ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre cada estación y el punto de acceso). Además, los puntos de acceso se pueden conectar a otras redes, y en particular a una red fija, con lo cual un usuario puede tener acceso desde su terminal móvil a otros recursos de la red cableada, esta disposición se denomina cableada. Para dar cobertura en una zona determinada habrá que instalar varios puntos de acceso, con antenas omnidireccionales, para así poder cubrir la superficie necesaria con las celdas de cobertura que proporciona cada punto de acceso y ligeramente solapadas para permitir el paso de una celda a otra sin perder la comunicación (*roaming*). Podemos diferenciar dos partes en el modo infraestructura: BSS (*Basic Service Set*) y ESS (*Extended Service Set*).

Figura 34. Esquema de arquitectura de una red WLAN con infraestructura.



Estructura

Las redes WLAN se integran en las redes privadas igual que las redes locales convencionales. Generalmente los puntos de acceso de la WLAN se conectan a un hub Ethernet y de éste a un *router* IP, o directamente a un equipo que integre ambas funcionalidades. Existiendo diferentes estructuras según sea la aplicación: Prestación de servicios en un *hotspot*, servicios móviles, redes empresariales.

Elementos de red

Los elementos fundamentales de las redes WLAN, basándonos en las posibles arquitecturas y estructuras de red descritas anteriormente son:

- **Antena.** Se pone en el PC para permitir la recepción y transmisión de los datos en la red del PC.
- **Tarjeta inalámbrica.** La Tarjeta realiza las funciones de las tarjetas de red Ethernet, adaptando las tramas Ethernet que genera el PC, a las tramas del estándar inalámbrico y viceversa, posibilitando la transmisión transparente de la información. En muchas ocasiones estas integran la antena en la tarjeta. Son usados por los AP y por los portátiles.
- **Puntos de acceso (AP).** Actúa como puente con dos tipos de interfaces, el inalámbrico hacia los nodos inalámbricos y el cableado hacia la red troncal (Ethernet). El AP es el encargado de coordinar la comunicación entre los entre nodos inalámbricos que están conectados a él. Además posee funcionalidades para la asignación de recursos, mediante el uso de tramas sonda, asignando un canal a las estaciones que se asocian al

AP. Los AP deben además proporcionar autenticación y confidencialidad pues dan paso a la red cableada.

- **Controlador de acceso (AC).** El AC es un *router* IP que se encarga de asignar las direcciones IP a los terminales de la WLAN, mantener una lista de direcciones de los terminales correctamente autenticados y filtrar el tráfico, descartando los paquetes de terminales no autenticados. A su vez, los controladores de acceso se conectan a un elemento central encargado de la gestión de servicios. Así cumplen la función de ser pasarela a las redes IP externa permitiendo la conexión a Internet y a las aplicaciones que esta soporte.
- **Distribution system (DS).** Es la parte cableada de la red inalámbrica. Generalmente es una red Ethernet de la que cuelgan los AP y que esta acabada en un AC, que gestiona la red. Pueden existir otro tipo de configuraciones del DS, ya que no hay un estándar que lo fije, quedando abierto a soluciones propietarias y particulares.

3.1.6.2 Ventajas y desventajas

Ventajas

- Su principal ventaja es que dotan a los terminales de movilidad. Este es el punto fuerte de las WLAN's, inalcanzable para las redes cableadas. Es especialmente interesante para cubrir salas de reunión, laboratorios, donde hayan portátiles y en general para facilitar reuniones de trabajo en cualquier punto. Así los ordenadores, impresoras podrían cambiarse fácilmente de ubicación, sin depender de una localización cercana a una toma de red.

- Son sistemas de gran flexibilidad. Dentro de la zona de cobertura de la red inalámbrica los nodos se podrán comunicar y no estarán atados a un cable para poder estar comunicados por el mundo. Esto les dota de gran libertad y capacidad para adaptarse a las necesidades que los usuarios tengan.
- Requieren muy poca planificación y tiempo de implantación, con respecto a las redes cableadas. Antes de cablear un edificio o unas oficinas se debe pensar mucho sobre la distribución física de las máquinas, mientras que con una red inalámbrica sólo nos tenemos que preocupar de que el edificio o las oficinas queden dentro del ámbito de cobertura de la red.
- El diseño de los equipos es muy sencillo y de fácil integración. Los receptores son bastante pequeños y pueden integrarse dentro de un dispositivo y llevarlo en un bolsillo. Esto permite que cualquier dispositivo pueda integrarse en las redes WLAN.
- Robustez ante fallos de la integridad de la red. Ante eventos inesperados que pueden ir desde un usuario que se tropieza con un cable o lo desenchufa, hasta un pequeño terremoto o algo similar. Una red cableada podría llegar a quedar completamente inutilizada, mientras que una red inalámbrica puede aguantar bastante mejor este tipo de percances inesperados.
- Son sistemas que ofrecen una mayor cobertura que las redes clásicas de cable, al poder cubrir amplias zonas con un único punto de acceso.
- Son mucho más baratas que las redes cableadas, como consecuencia de no tener que realizar toda la infraestructura de cableado estructurado

en el lugar donde se instala la red. Además requieren un costo menor de mantenimiento y equipo.

- Estética. Las instalaciones de redes locales se caracterizan por la existencia de infinidad de rosetas (cajas de conexiones) próximas a cada puesto de trabajo, canalizaciones generalmente visibles y cables desde los PC's hasta el punto de conexión más próximo. Todo ello y debido a la cada vez mayor densidad de equipos, impacta de forma muy negativa en la estética del entorno de trabajo. Como contrapartida, en una instalación *wireless* desaparecen los cables de los PC's y las rosetas, así como se reducen al mínimo las canalizaciones visibles. Este factor, siempre bien valorado, en ocasiones se convierte en fundamental, decidiendo la tecnología de la red a implantar.
- Ilimitada capacidad de implantación, pudiendo estar en todo tipo de entornos, como los son entornos residenciales, empresariales, de ámbito público (*hotspots*), centros de enseñanza, aeropuertos y aviones, trenes y estaciones de tren, transporte urbano, centros de conferencias y reuniones, zonas rurales, aplicaciones medicas y sanitarias etc.

Desventajas

- Seguridad. Por una parte seguridad e integridad de la información que se transmite. Este campo está bastante criticado en casi todos los estándares actuales, que, según dicen no se deben utilizar en entornos críticos en los cuales un robo de datos pueda ser peligroso. Por otra parte este tipo de comunicación podría interferir con otras redes de comunicación (policía, bomberos, hospitales, etc.) y esto hay que tenerlo en cuenta en el diseño.

- Son unas redes altamente sensibles a las interferencias, al operar en el espectro radioeléctrico. Las WLAN no solo se ven afectadas por las interferencias entre diferentes dispositivos conectados a una red, sino también entre otro tipo de dispositivos independientes que generen campos electromagnéticos, por ejemplo, microondas.
- El Rango de frecuencias limitado. En la actualidad, el espectro radioeléctrico está ocupado casi al 100% así que se buscan espacios vacíos, pero como la gestión del espacio radioeléctrico es distinta en cada país, nos encontramos ante dificultades en la estandarización del espacio radioeléctrico a utilizar en una determinada tecnología.
- Las redes WLAN todavía no son capaces de integrar todos los servicios de comunicaciones, ya que pese a ser un potente sistema de acceso a Internet y a entornos multimedia, no soportan de manera efectiva las comunicaciones de voz.

3.2 Comparación entre tecnologías de acceso de banda ancha

A continuación se presentan una comparativa de los diferentes sistemas de acceso descritos anteriormente en cuanto a tecnología, topología, medio físico, alcance y equipo necesario.

Tabla II. Comparación entre tecnologías de acceso de banda ancha

Red	Tecnología	Medio Físico	Topología	Terminales	Alcance	Equipo necesario
Bucle digital de abonado (xDSL)	Sobre cable	Par telefónico	Punto a punto	Fijos	300 m - 6 km	Módem xDSL y <i>splitter</i>
Redes híbridas de fibra y cable (HFC)	Sobre cable	Fibra y coaxial	Multipunto	Fijos	40 km	Cable Módem, fibra
Ethernet en la primera milla (EFM)	Sobre cable	Par telefónico o fibra	Punto a punto o multipunto (PON)	Fijos	750 m – 2.7 km (sobre par telefónico)	Conmutadores Ethernet
Power Line Communication (PLC)	Sobre cable	Red eléctrica (segmento de baja tensión)	Punto a Multipunto	Fijos	200 m	Cabecera PLC (HE), repetidor PLC (HG) y un módem PLC (CPE)
Bucle inalámbrico (LMDS)	Inalámbricas	Radio, 3.5GHz, 26 GHz y superiores	Multipunto	Fijos	Visión directa 3 km (26 Ghz) 8 km (3.5 Ghz)	Antenas, transmisores y receptores de RF, equipo terminales IDU y adaptadores
Redes de acceso por satélite	Inalámbricas	Radio, 11 a 14 GHz (Ku), 20 a 30 GHz (Ka)	Multipunto	Fijos (móviles a pocos kbits/s)	Visión directa	Satélite, antena, transpondedor, amplificador de potencia
Redes locales inalámbricas (WLAN)	Inalámbricas	Radio, 2.4 GHz	Multipunto	Móviles	50m - 150m	Antena, tarjeta adaptadora inalámbrica, punto de acceso, controlador de acceso

4 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente capítulo se realizará un análisis económico para la implementación de la tecnología PLC.

4.1 Costo

El costo de la implementación de esta tecnología depende los servicios que se desean brindar, la cantidad de usuarios y la disponibilidad del equipo en el mercado, esto implica que el costo variará en todos los casos.

En general para la implementación de dicha tecnología se necesita del siguiente equipo:

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

Y los precios estimados de este equipo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III. Costo del equipo PLC.

Equipo	Costo (\$)
<i>Head End</i> (HE)	\$ 1000
<i>Home Gateway</i> (HG)	\$ 1000
<i>Customer Premises Equipment</i> (CPE)	\$75-\$150 (dependiendo del modelo)

El costo de equipo para la implementación de esta tecnología oscila entre \$2075 y \$2150.

Sin embargo cabe mencionar que el *Head End* (HE) y el *Home Gateway* (HG) son generalmente propiedad de la empresa eléctrica puesto que van conectados al transformador de baja tensión.

En Guatemala un transformador de baja tensión soporta generalmente de 10 a 15 usuarios por lo que al momento de dicha implementación la empresa eléctrica debe dividir inicialmente los gatos del *Head End* (HE) y el *Home Gateway* (HG) entre los usuarios potenciales de cada transformador y determinar así la tarifa para recuperar la inversión inicial. Sin embargo estudios realizados demuestran que esta tecnología puede competir con las que actualmente existen en Guatemala.

4.2 Beneficio

La ventaja principal de una red PLC sobre todas las demás que posee, es el de 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 de última milla, se ven reducidos notablemente, debido a que no hay necesidad de realizar nuevos tendidos de cable, ni se necesita de obra civil para implementar esta tecnología.

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

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.

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 teledatada 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 del 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 en el capítulo 1.

CONCLUSIONES

1. La tecnología PLC es un conjunto de elementos y sistemas de transmisión, que basándose en una infraestructura de transporte y distribución eléctrica clásica, permite ofrecer a los clientes, servicios clásicos de un operador de telecomunicaciones.
2. El sistema de comunicaciones sobre red eléctrica (PLC) consiste en una red full dúplex punto a multipunto, que se soporta básicamente sobre tres elementos: Head End (HE), *Home Gateway* (HG), *Customer Premises Equipment* (CPE).
3. Los sistemas PLC 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 la utilización de una técnica llamada domótica, con la cual se puede llegar a controlar los electrodomésticos a distancia.
4. La tecnología PLC permite a las compañías eléctricas ampliar y mejorar sus servicios tradicionales, como poder interconectar sus distintas subestaciones o centros de transformación, tener telecontrol y teledatada tanto de sus medidores de energía en las subestaciones, como en los medidores de sus usuarios.

5. Las tecnologías de acceso las podemos clasificar en función de su soporte físico de transmisión, teniendo las tecnologías sobre Cable (xDSL, HFC, EFM, PLC) y las tecnologías inalámbricas (LMDS, satélite, WLAN). Y de ellas podemos diferenciar entre las tecnologías que reutilizan las infraestructuras existentes, como xDSL, PLC y en menor medida satélite, frente a las tecnologías que deben realizar un equipamiento nuevo de red para la provisión del servicio como HFC y LMDS y en menor medida WLAN y EFM.

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

RECOMENDACIONES

1. Analizar la infraestructura actual de la red eléctrica en Guatemala para una posible implementación de la tecnología PLC.
2. Realizar pruebas pilotos en diferentes puntos de la ciudad de Guatemala, para determinar la eficiencia de esta tecnología y evaluar la rentabilidad a mediano y largo plazo.
3. Realizar un análisis económico detallado de cada una de las tecnologías expuestas, para así poder determinar cuál de éstas tiene un mejor costo-beneficio.
4. Al implementarse la tecnología PLC no deben hacerse enlaces de última milla mayores de 1,500 metros para garantizar un buen ancho de banda.
5. Al momento de instalar el módem de cabecera (*Head End*) es conveniente instalarlo estratégicamente, de forma que la señal inyectada en un sólo punto, consiga una amplia cobertura y así poder disminuir los costos.
6. Al implementarse la tecnología PLC, debe realizarse una revisión detallada de las instalaciones eléctricas de los edificios y hogares, especialmente en aquellas instalaciones que tienen más de quince años de existencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dostert, Klaus. ***Powerline Communications***. Estados Unidos: Editorial Prentice Hall, 2001. 338 pp.
2. Orozco, Josué Roberto. **Tecnología Digital Power Line Carrier o transmisión de datos en banda ancha a través de la red eléctrica**. Tesis Ing. Electrónica. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.167 pp.
3. Pla Llopis, Luis y César Mariel Albert. ***Power Line Communications***. Tesis Escuela Técnica Politécnica de Valencia, España: 2003.
4. Taub, Herbert y Donald L., Schilling. ***Principles of Communications Systems***. 2ª ed. Singapore: Editorial McGraw-Hill, 1986. 759 pp.
5. Stallings, W. **Redes e Internet de Alta Velocidad, Rendimiento Calidad de Servicio**. 2ª ed. España: Editorial Prentice Hall, 2004.
6. Anckerman, Kevin. ***Timed Power Data Communication***. Tesis Msc. of Electrical Engineering, Universidad de Saskatchewan, Canada: 2005.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

1. ***Powerline Carrier (PLC) Communication System***.
http://www.it.kth.se/iw01_zkh
(diciembre 2005).
2. **Historia, Sociedad, Tecnología y Crecimiento de la Red**.
<http://www.tdx.cesca.es/TDX-1104104-101718>
(enero 2006).

3. **Power Line Communications**
http://es.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication
(enero 2006).

4. **Wireless Institute of Australia review of Power Line Communications (PLC) / Broadband over Power Lines (BPL)**
<http://www.wia.org.au/BPL>
(enero 2006).

5. **Redes de Acceso de Banda Ancha. Arquitectura, Prestaciones, Redes y Evolución.**
<http://www.bandaanchoa.es/BandaAncha/DocumentacionTecnica>
(febrero 2006).

6. **IBERDROLA**
<http://www.iberdrola.es>
(febrero 2006).

7. **ENDESA**
<http://www.endesa.es>
(febrero 2006).