



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SISTEMAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA
PARA REDES DE TELECOMUNICACIONES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A N:

CESAR MIER ORTEGA
ANDREI SALAS RUÍZ

DIRECTOR DE TESIS:
ING. JOSÉ ARTURO LANDEROS AYALA



CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO DE 2005

m. 345180



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres, por todo el apoyo, confianza
y dedicación que siempre me brindaron.

A Eduardo,
*"Haz lo necesario para lograr tu más
ardiente deseo, y acabarás lográndolo"*
- Ludwig van Beethoven -

*"Nunca consideres el estudio como una obligación,
sino como una oportunidad para penetrar
en el bello y maravilloso mundo del saber"*
- Albert Einstein -

Cesar

A mis padres y familia
Que me apoyaron y me dieron la oportunidad

A mis amigos
Que siempre están ahí.

"La vida no es sino una continua sucesión de oportunidades para sobrevivir."
- Gabriel García Márquez -

Andrei

A nuestros profesores, amigos y a la Universidad
por habernos brindado tanto.

"La Matemática es el alfabeto con el que Dios creó el mundo"
- Galileo Galilei -

*"Dios no te hubiera dado la capacidad de soñar
sin darte también la posibilidad de convertir tus sueños en realidad."*
- Hector Tassinari -

Índice

Prólogo.....	i
INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE BANDA ANCHA	1
I.1 La Revolución de la Banda Ancha	3
I.2 Definición de Banda Ancha	5
I.3 Entendiendo la Banda Ancha	6
Referencias.....	8
FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LAS COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA.....	9
II.1 Medios de Transmisión	11
II.1.1 Medios Metálicos	11
II.1.2 Fibra Óptica	19
II.1.3 Radiocomunicaciones.....	24
II.1.4 Sistemas Satelitales.....	28
II.2 Transmisión de señales.....	41
II.3 Técnicas de Modulación.....	41
II.3.1 On/Off Keying (OOK)	42
II.3.2 2B1Q.....	43
II.3.3 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)	44
II.3.4 Quadrature Amplitude Modulation	44
II.3.5 Discrete Multitone	46
Referencias.....	47
SISTEMAS ALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA	49
III.1 Familia xDSL	51
III.1.1 El ADSL	53
III.1.2 VDSL	71
III.2 HFC	77
III.2.1 El cable como opción para servicios de banda ancha residencial	77
III.2.2 HFC	80
III.2.3 Servicios de video digital sobre HFC de dos vías.....	85
III.2.4 Cambios necesarios para la implementación de video digital.....	86
III.3 TECNOLOGÍA FTTx PARA REDES DE ACCESO	99
III.3.1 Redes de Acceso de Servicio Completo - FSAN.	100
III.3.2 Características generales de FTTx.....	101
III.3.3 Familia FTTx.....	102
III.3.4 Evolución de FTTx hasta FTTH.	115
III.3.5 Mejoras de FTTH para servicios de banda ancha.	117
III.3.6 Problemas y logros de FTTx.....	117
III.3.7 Servicio de Internet en FTTx.....	118
III.4 Comunicaciones de Banda Ancha por la Red de Distribución Eléctrica (PLC).	120
III.4.1 Definición del PLC.	120
III.4.2 Arquitectura de los sistemas PLC.....	120
III.4.3 Modulación empleada en PLC.....	122
III.4.4 Características Generales del Sistema PLC.....	124

Referencias	125
SISTEMAS INALAMBRICOS DE BANDA ANCHA	127
IV.1 Sistema de Acceso Inalámbrico MMDS	129
IV.1.1 Arquitectura de Red	130
IV.1.2 Planificación de Red	135
IV.1.3 Administración de la Red	139
IV.2 Sistema de Acceso Inalámbrico LMDS	140
IV.2.1 Estándares	140
IV.2.2 Arquitectura de la Red	141
IV.2.3 Enlaces Inalámbricos y Métodos de Acceso	146
IV.2.4 Modulación en Sistemas LMDS	149
IV.2.5 Capacidad del Sistema	150
IV.2.6 Planificación de Red y Diseño de Células	151
IV.2.7 Administración de la Red	153
IV.2.8 Planteamiento de COFETEL para bandas de Frecuencia LMDS	154
IV.3 Sistemas DBS	156
IV.3.1 Arquitectura y Funcionamiento de Sistemas DBS	156
IV.3.2 Satélites Domésticos "Domsats" para servicio DBS	157
IV.3.3 Servicios brindados por sistemas DBS	159
IV.4 Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles UMTS	162
IV.4.1 Evolución hacia 3G y UMTS	163
IV.4.2 Estándar IMT-2000	164
IV.4.3 Arquitectura del sistema UMTS	165
IV.4.4 Capacidad de Transmisión y Servicios en UMTS	167
Referencias	169
TENDENCIAS DE LAS COMUNICACIONES DE BANDA ANCHA	171
V.1 Lo que se puede esperar de la Banda Ancha	173
V.2 La Banda Ancha en la Actualidad	175
V.2.1 Los sistemas de banda ancha	175
V.2.2 Difusión de la banda Ancha	176
V.3 ¿Para qué la banda Ancha?	178
V.3.1 Servicios orientados al consumo	178
V.3.2 Los derechos de propiedad intelectual	186
V.4 Regulación de la banda ancha	186
V.5 Promover la banda ancha	187
Referencias	189
CONCLUSIONES	191
VI.1 La banda ancha y la sociedad de la información	193
VI.2 Nacimiento de la banda ancha: ¿El principio de una nueva era?	194
VI.3 Donde usar Banda Ancha	194
VI.4 Perspectivas	195
Glosario	197

Prólogo

Las Telecomunicaciones han sufrido, en unas cuantas décadas, grandes avances con respecto a los medios de transmisión que se utilizan, las capacidades, los servicios e información que se transmiten, lo cual ha permitido y originado avances en la sociedad misma y en la manera en que nos interrelacionamos.

Estos cambios han sido tan radicales que en la actualidad es prácticamente imposible no contar con servicios de Telecomunicaciones en cualquier parte del planeta utilizando diversas tecnologías, y de hecho en zonas urbanas se cuenta ya con servicios de Banda Ancha, principalmente mediante dos servicios que representan actualmente un icono en las Telecomunicaciones, la telefonía móvil y el Internet, los cuales se han vuelto cada vez más necesarios.

Específicamente Internet ha tenido un adelanto impresionante, ya que empezó a distribuirse mediante módems con tasas de transmisión menores a 56 kbps, para finalmente alcanzar tasas de varios Gigabits por segundo. Adicionalmente, se integran actualmente servicios de voz, datos y video, permitiendo aplicaciones muy interesantes y útiles para cualquier usuario de servicios de Telecomunicaciones.

Esto nos ha llevado a un crecimiento importante en la utilización de servicios de Telecomunicaciones e Internet de Banda Ancha, tanto en usuarios residenciales como en usuarios comerciales en PyME's y grandes empresas.

Es por esto que han tenido que desarrollarse diferentes tecnologías para proveer estos servicios, ya que la demanda es alta y además, las necesidades varían de un sector a otro.

La finalidad de este trabajo consiste en estudiar las diversas tecnologías que permiten diseñar y establecer enlaces y redes de Banda Ancha, con los cuales se puede proveer acceso a los servicios de Telecomunicaciones a la sociedad de manera efectiva, accesible y confiable. Se abarcarán tanto los sistemas de acceso alámbricos, principalmente por cable de cobre ó bien por Fibra óptica, como las tecnologías que utilizan medios de transmisión inalámbricos.

En el caso de los sistemas de acceso alámbricos, iniciaremos por estudiar la manera en que se tuvo que adaptar el desarrollo de la tecnología de Banda Ancha a la infraestructura existente, diseñada originalmente para transmitir servicios de voz y TV analógicos de banda angosta, naciendo así la tecnología xDSL y el Cable Módem; por su parte, utilizando la red de distribución de energía eléctrica a nivel local ó interior, fueron desarrolladas las primeras versiones de los sistemas PLC, los cuales continúan hasta la fecha en investigación y desarrollo.

Los avances en el campo de la óptica y la electrónica hicieron posible la transmisión de señales de Telecomunicaciones mediante fibra óptica, lo cual abrió las posibilidades a muy altos órdenes de transmisión de Información.

En la actualidad, los sistemas inalámbricos están sufriendo por si mismos un desarrollo impactante; en un par de décadas, la telefonía celular ha presentado un avance tal, que no está limitada a servicios de voz, sino que actualmente integra servicios de datos y video de alta velocidad, servicios inteligentes de localización e identificación, así como cobertura a nivel global.

Los sistemas de microondas y satelitales fueron en un principio utilizados básicamente como medio de transporte de las Telecomunicaciones, sin embargo existen ahora sistemas que utilizan estos medios directamente para proveer acceso a los usuarios de servicios de Telecomunicaciones a las redes de datos.

Estudiaremos las tendencias que siguen actualmente estas tecnologías en su desarrollo y cobertura, los niveles de utilización y penetración que presentan actualmente a nivel mundial, así como los servicios y las posibilidades que nos brinda la Banda Ancha.

Finalmente estableceremos nuestras conclusiones y analizaremos las posibilidades de crecimiento y accesibilidad de estos servicios en el mundo y principalmente en México.

I

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES DE BANDA ANCHA

I.1 La Revolución de la Banda Ancha

Las Telecomunicaciones han sido un factor crucial en el desarrollo de la humanidad, de hecho, la gran mayoría de los sucesos históricos han dependido de las comunicaciones de alguna manera; sin embargo la forma en que se han realizado dichas comunicaciones ha cambiado radicalmente; por ejemplo, en la antigüedad se enviaban los mensajes personalmente, lo cual era sumamente lento y riesgoso, tiempo después se empezaron a utilizar medios de comunicación más efectivos pero la cantidad de información que podía transmitirse era muy limitada.

En la actualidad, dentro del campo de la informática y las telecomunicaciones, han ocurrido grandes cambios y avances, los cuales se deben principalmente al explosivo crecimiento de las redes de comunicaciones y cómputo, así como a las innovaciones en servicios y aplicaciones multimedia. Específicamente las telecomunicaciones han sufrido cambios que pueden ser comparables a la Revolución Industrial del siglo XIX, con un crecimiento que se ha sido generalmente sostenido pero con algunos grandes incrementos ocasionales debidos a la introducción de nuevas tecnologías; por ejemplo, el correo tradicional fue prácticamente desplazado por el telégrafo, el cual a su vez fue desplazado por el teléfono, hasta llegar finalmente al correo electrónico utilizado masivamente en la época actual.

En las últimas décadas surgieron dos tecnologías que además de revolucionar completamente las telecomunicaciones, han generado un gran crecimiento económico y desarrollo. Estas tecnologías son la telefonía móvil y el Internet, donde el Ancho de Banda y tasas de Transmisión se han incrementado desde los 56 kbps de los módems analógicos, operando en la banda vocal (300 Hz a 3.4 kHz), hasta tasas de transferencia que llegan al orden de varios Gigabits por segundo.

Estos cambios han sido necesarios y posibles gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, así como a la integración de servicios de voz, video y datos, en aplicaciones que actualmente son, por decirlo de alguna manera, básicas para casi cualquier usuario de servicios de Telecomunicaciones.

En un principio, los esquemas de acceso residencial o la conexión de la "última milla", no fueron planeados para soportar transmisiones de banda ancha, en realidad se diseñó la red de par trenzado de cobre para servicios de Telefonía analógica, en donde la señal, con un ancho de banda de 3 kHz, sufre gran distorsión de amplitud y fase, diafonía o crosstalk, e interferencias de señales de radio. Por su parte, la red de cable coaxial fue diseñada para transmisión unidireccional de señales de Televisión analógica, por lo que tampoco se creó la infraestructura necesaria para habilitar enlaces de datos bidireccionales a través de esta red.

En un futuro cercano, podríamos ver un incremento notable en el uso de enlaces dedicados de Banda Ancha en la Pequeña y Mediana Empresa (PyME), así como en los hogares, ya que estos representan un mercado potencial para las

Telecomunicaciones, pues con el desarrollo y difusión de la tecnología se tendrán redes internas en los hogares, controlando la mayoría de las funciones y dispositivos domésticos, sistemas de seguridad y de entretenimiento, lo cual nos lleva al siguiente paso lógico que consiste en interconectar esta red al Internet y lograr un control a distancia. Actualmente contamos con tecnología digital que nos permite convertir toda la información Analógica en Digital, para su procesamiento y transmisión de forma más eficiente y rápida, sin embargo no debemos olvidar que los seres humanos nos desenvolvemos en un mundo analógico.

Las aplicaciones típicas de clientes empresariales son: hospedaje de servidores Web, consulta y servidores de correo electrónico, bases de datos, anuncios, ventas, transacciones electrónicas, interacción con clientes, conectividad IP para oficinas remotas o sucursales, etc., mientras que las aplicaciones residenciales se enfocan en acceso a Internet, foros de discusión, compras en línea, consulta de Correo Electrónico, descarga de archivos, transacciones electrónicas, entretenimiento, etc.

Las empresas ó negocios contratan enlaces dedicados de Banda Ancha para su conexión a Redes IP, cuya capacidad varía de acuerdo a sus necesidades, sin embargo se observa que se han incrementado los enlaces dedicados de Banda Ancha residenciales por la creciente demanda de un número mayor de servicios y aplicaciones; y por la parte técnica, los enlaces vía Módem analógico, además de permitir la conexión con el proveedor de servicios de Internet (ISP) a una Tasa de transferencia máxima de 56 kbps, lo cual se encuentra muy por debajo de los enlaces de Banda Ancha, presentan problemas de conexión como recepción de "tono de ocupado", desconexiones frecuentes, retraso en la recepción de datos debido a la gran cantidad de errores en bits por interferencias, incremento en la tarifa telefónica debido al gran número de llamadas realizadas, e incluso bloqueo de la línea telefónica durante la conexión a la Red.

Para satisfacer esta gran demanda por servicios de Telecomunicaciones se requiere desarrollar algoritmos de comunicaciones complicados, esquemas de modulación, codificación y procesamiento de señales adaptativo, ya que los medios de transmisión varían en sus parámetros con respecto al tiempo, lo cual permitirá además de vencer la problemática mencionada, brindar un mayor número de servicios de Telecomunicaciones utilizando la infraestructura existente y permitiendo además una mayor difusión de medios de transmisión inalámbricos y por Fibra óptica.

La Red de cobertura global (www) es el primer medio real de comunicaciones multimedia que ofrece una gran cantidad de contenido, envío y recepción de datos y capacidad para realizar Transacciones electrónicas seguras. Los protocolos de Internet permiten una gran cantidad de aplicaciones y servicios, son flexibles, baratos en su implementación y transparentes para la capa física y de enlace del modelo OSI, lo cual hace posible la interconexión de redes locales y formar una arquitectura de red unificada con cobertura global. En particular el tráfico en protocolo IP es prácticamente duplicado cada año, y este crecimiento se ha mantenido desde 1997 hasta la fecha.¹

¹ Andrew Odlyzko, "The Many Paradoxes of Broadband".

I.2 Definición de Banda Ancha

Comúnmente el término "Banda Ancha" es asociado a alguna tecnología en particular, una velocidad de transmisión ó bien a un conjunto de servicios de comunicaciones, sin embargo, las comunicaciones de Banda Ancha en realidad se definen mediante una combinación de la capacidad de conexión ó Ancho de Banda y por la velocidad de transferencia. De hecho, las tecnologías de comunicaciones han sufrido tales cambios que ha sido necesario mantener una definición que permita la inclusión de estos nuevos sistemas dentro del rango de las comunicaciones de Banda Ancha, y ya que las capacidades y tecnologías son incrementadas y mejoradas constantemente, solamente se puede hablar del estado actual de las telecomunicaciones; lo que en su momento se consideró una velocidad de transferencia alta o de banda ancha, como es el caso de la RDSI, ahora es considerada como comunicaciones de banda estrecha (Narrowband).

De esta manera, una idea común corresponde a una conexión de Internet que posee una velocidad de transferencia entre 5 y 2000 veces la de una conexión vía módem analógico por la línea telefónica (Dial-up) a 56 kbps.

La recomendación I.113 del Sector de Estandarización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) define la Banda Ancha como: "capacidad de transmisión más rápida que la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN ó RDSI) en un esquema de enlace primario (PRI) de 1.5 o 2 Mbps"².

La definición oficial de Banda Ancha o "capacidad de telecomunicaciones avanzada", según los estándares de la FCC, corresponde a un enlace de comunicaciones de alta velocidad, en el cual se tiene una tasa de transferencia de 200 kbps ó mayor en al menos una dirección, es decir, ya sea en la trama de subida o en la de bajada, dentro de la ultima milla³.

Por su parte, la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OECD) define a las comunicaciones de Banda Ancha como transmisiones igual o mayores a 256 kbps.⁴

Estas definiciones anteriores de la ITU, del FCC y de la OECD no son muy amplias, ya que solamente hacen referencia a la tasa de transmisión. Por ejemplo, un enlace de 1 Mbps, operando a toda su capacidad durante un mes será capaz de entregar 324 GB de datos en total, mientras que, mediante el servicio postal podrían enviarse semanalmente 128 CD-ROM con 650 MB de datos cada uno, de tal manera que se enviaría mensualmente la misma cantidad de datos y de hecho el costo es menor que el de un enlace dedicado, sin embargo el retraso en la transmisión de datos es incomparable.

² Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Birth of Broadband", Internet Reports, Septiembre 2003.

³ FCC, "Releases Report on the Availability of High-speed and Advanced Telecommunications Capability", Febrero 2002.

⁴ OCDE, Information and Communications Statistics. <http://www.oecd.org>

I.3 Entendiendo la Banda Ancha.

Adicionalmente a las definiciones técnicas anteriores, se debe entender a la Banda Ancha como una plataforma capaz de proveer una gran diversidad de servicios, además de permitir y estimular el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Por lo anterior es que existen varias dimensiones que deben ser analizadas para un servicio ó enlace de telecomunicaciones:

- a. La tasa de transferencia ó velocidad, la cual define la cantidad de bits por unidad de tiempo que pueden ser transmitidos en un enlace.
- b. Latencia ó tiempo de retraso, que corresponde al retardo que puede existir entre la transmisión y la recepción de un paquete de datos. Este se descompone en Tiempo de Propagación (en el vínculo), Tiempo de Transmisión (tiempo que tarda en transmitirse un paquete de datos completo) y Tiempo de Colas de espera.
- c. Simetría en tramas de Subida y Bajada, la cual no es absolutamente necesaria y depende de las aplicaciones, ya que para navegar por Internet por ejemplo, requerimos de una capacidad en la trama de subida pequeña, pero una gran capacidad en la trama de bajada, sin embargo existen aplicaciones en las que es necesario minimizar esta diferencia.
- d. Conectividad de tiempo completo ó Siempre en línea, que es una de las características principales de la banda ancha, y que a diferencia del Dial-up, se mantiene la conexión permanentemente.
- e. Movilidad y capacidad de interacción con diversas plataformas.
- f. Alcance ó cobertura del servicio.
- g. Direccionamiento Global, lo cual permite tener una identificación única para cualquier servicio o aplicación.
- h. Precio de dicho servicio.

La Banda Ancha es clasificada por los servicios y aplicaciones a los que da acceso, y su disponibilidad depende de la infraestructura existente, de tal manera que no se considera una tecnología en específico como óptima para todo el mundo, ya que esto depende del medio, los recursos, y del uso que se le quiera dar a los enlaces de comunicaciones. Así tenemos que cierta tecnología puede ser utilizada en una región determinada y al mismo tiempo no ser apropiada para otra, por factores económicos, culturales, políticos, geográficos, reguladores, etc.

De acuerdo a las definiciones presentadas para las comunicaciones de Banda Ancha, podemos entonces clasificar las diversas tecnologías existentes, y determinar cuales son aquellas que cumplen con las definiciones y permiten en realidad establecer enlaces de comunicaciones de acceso en alta velocidad dentro de la "ultima milla". Dentro de esta clasificación no están considerados los Módems analógicos ó servicio Dial-up, cuya velocidad va desde 9.6 hasta 56 kbps y operan sobre el par trenzado de la línea telefónica, y tampoco la "Red Digital de Servicios Integrados" (RDSI ó ISDN por sus siglas en inglés) en un esquema BRI de 128 kbps, ya que aún cuando son tecnologías que permiten una conexión a las redes de datos, las tasas de transferencia que se pueden alcanzar mediante ellas son muy limitadas y su utilización a nivel mundial está siendo desplazada por tecnologías de Banda Ancha.

Dentro de las tecnologías más comunes que conforman los sistemas de acceso a las redes de telecomunicaciones de Banda Ancha abarcan los enlaces digitales de comunicaciones que pueden ser clasificados inicialmente en dos grandes grupos, alámbricos ó de línea fija e inalámbricos. Estas tecnologías son a grandes rasgos:

- Línea Digital de Abonado (DSL), cuyo medio de transmisión es el par trenzado de la línea telefónica convencional.
- Cable Módem, el cual opera a través del cable coaxial (HFC) instalado por los operadores de Televisión por Cable.
- Comunicaciones sobre líneas de energía eléctrica (PLC).
- Cable de Fibra óptica, cuya capacidad de transmisión es muy alta debido a la transmisión de luz sobre cable de silicio ó polímeros transparentes.
- Esquemas inalámbricos como LMDS, MMDS, enlaces satelitales, telefonía celular de tercera Generación, etc.

Cada una de estas tecnologías utiliza diferentes medios de transmisión, protocolos y Hardware específico, etc., por lo que logran diferentes tasas de transmisión y presentan ventajas y desventajas que deben ser analizadas en la planeación y desarrollo de un sistema de Telecomunicaciones, como se mencionó anteriormente.

Estas tecnologías de Banda Ancha serán descritas y estudiadas a detalle en los siguientes capítulos de este trabajo de investigación, iniciando por la teoría que hace posible el desarrollo de las mismas; para lo cual, se tomará como base en este estudio la definición de "Banda Ancha" de la OCDE, donde se considera una tasa de transmisión mayor o igual a 256 Kbps en cualquier sentido.

Referencias

Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Birth of Broadband", ITU Internet Reports, 115 pp., Septiembre 2003.

Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Fact Sheet – The Birth of Broadband", http://www.itu.int/newsarchive/press_releases/2003/factsheet.html

Unión Internacional de Telecomunicaciones, "Broadband – Availability and Access", <http://www.itu.int/osg/spu/spunews/2003/oct-dec/broadband.html>

Casos de estudio de banda ancha de la UIT. <http://www.itu.int/broadband>

Federal Communications Commission, "Releases Report on the Availability of High-speed and Advanced Telecommunications Capability", Febrero 2002.

OCDE, Information and Communications Statistics. <http://www.oecd.org>

Broadband Week, "The Future of Bandwith", http://broadbandweek.com/news/010820/print/010820_news_band.htm

HENRY SAMUELI, "The Broadband Revolution", IEEE Micro Magazine, marzo-abril 2000. pags. 16 -26.

Carlos A. Osorio, "Banda Ancha: Aspectos a considerar en un debate de política pública". Agosto, 2002.

ANDREW ODLYZKO, "The Many Paradoxes of Broadband", Digital Technology Center, University of Minnesota, Julio 2003.

II

FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LAS COMUNICACIONES EN BANDA ANCHA

II.1 Medios de Transmisión

La comunicación es la transferencia de información desde un emisor hasta un receptor. Por otra parte la información es un patrón físico al cual se le ha asignado un significado comúnmente acordado. El patrón debe ser único, capaz de ser enviado por un transmisor y capaz de ser detectado y entendido por un receptor. La información es transmitida a través de señales eléctricas o por medio de señales ópticas a través de un canal de comunicación o medio de transmisión.

El medio de transmisión es el enlace físico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Este medio de comunicación puede ser un par de alambres, un cable coaxial, inclusive el aire mismo. Pero sin importar el tipo, todos los medios de transmisión se caracterizan por la atenuación, ruido, interferencia, desvanecimiento y otros factores muy importantes que impiden que la señal sea propagada libremente por el medio. Todos estos factores son los que hay que contrarrestar al momento de transmitir cualquier información al canal con ruido.

Los medios de transmisión se clasifican en dos tipos: Los medios guiados o confinados, es decir son medios tangibles confinados sobre conductos de cobre, fibra de vidrio o contenedores metálicos. En otras palabras los medios confinados se ven limitados por el medio y no salen de él, excepto por algunas pequeñas pérdidas.

Los medios no-físicos o no-confinados, es decir no están contenidos en ninguno de los materiales descritos anteriormente. Los medios no físicos o no-confinados son aquellos donde las señales de radiofrecuencia originadas por la fuente se radian libremente a través del medio y se esparcen por éste. El medio, el aire, es conocido técnicamente como el espectro radioeléctrico o electromagnético. Comúnmente conocemos a este tipo de medios como medios inalámbricos.

A continuación explicaremos brevemente los medios de transmisión mas comunes en los sistemas de banda ancha.

II.1.1 Medios Metálicos

II.1.1.1 Cable bifilar

Este fue el primer medio de transmisión en utilizarse para telefonía; de manera desnuda o abierta, durante la segunda mitad del siglo XIX. Generalmente la separación entre los conductores era de unos 20 cm. Con tal geometría y utilizando el aire como dieléctrico la atenuación en cada línea era relativamente baja y las señales podían viajar varias decenas de kilómetros sin que fuese necesario usar ningún tipo de amplificación. Sin embargo cada línea sólo podía llevar un solo canal de telefonía a la vez. Con el transcurso del tiempo, este medio de transmisión fue cayendo en desuso, pues con la introducción de nuevos materiales aislantes y el crecimiento del tráfico telefónico se

impulso el uso del cable multipar; los cuales consisten de muchas líneas bifilares individuales colocadas en paralelo, en forma de paquete dentro de una misma cubierta plástica común; a su vez cada una de estas líneas bifilares puede tener papel o polietileno como aislante entre sus dos conductores, cuya separación es de apenas unos cuantos milímetros.

Además de su amplia utilización en los cables multipar, los cables bifilares individuales se siguen empleando en una diversidad de aplicaciones en comunicaciones y electrónica. Por ejemplo, en las conexiones de audio de los equipos modulares, en aparatos personales de audio, micrófonos, aparatos telefónicos caseros, y en general en todos aquellos lugares donde no se requiera usar un ancho de banda muy grande ni frecuencias muy elevadas.

La separación entre los conductores y el tipo de aislante entre ellos determina la impedancia característica Z_0 de un cable bifilar. Este dato, además de algunos otros como el calibre normalmente es proporcionado por el fabricante. Sin embargo cabe recordar que Z_0 tiene cambios significativos a bajas frecuencias, porque hay corrientes en los conductores y esto influye en la inductancia de la línea. Por lo tanto el valor dado por el proveedor es una cifra promedio dentro del rango de frecuencias sugerido para el uso de cada línea en particular.

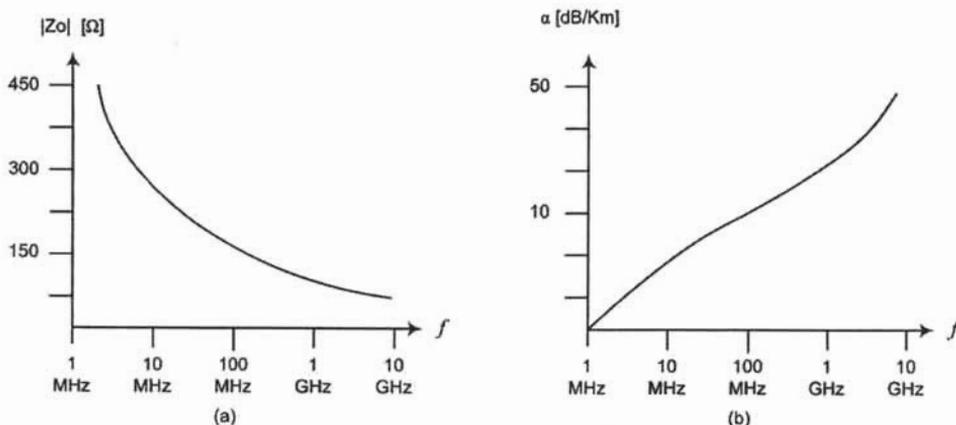


Figura 2.1 Curvas típicas de una línea bifilar arbitraria.
a) Impedancia característica b) Atenuación

En la figura 2.1 se muestra la forma típica que tiene la magnitud de la impedancia característica en función de la frecuencia, para un cable bifilar. Se puede ver que a medida que la frecuencia aumenta, el valor de la impedancia tiende a un valor constante. Por lo que se refiere a la fase, esta también tiene cambios con respecto a la frecuencia, pero conforme esta aumenta la fase tiende a cero, ya que Z_0 es prácticamente real pura o resistiva. Hay que hacer notar que la curva exacta para un cable en particular dependerá del metal de sus conductores, de sus radios y la separación entre ambos, así como del tipo de aislante usado.

Para concluir, la impedancia característica de un cable bifilar puede valer hasta varios cientos de Ohms y su atenuación puede ser de varias decenas de decibeles por kilómetro.

II.1.1.2 Par trenzado

Como se mencionó anteriormente, el rápido crecimiento de tráfico telefónico trajo consigo la invención y popularidad de los cables multipar. Estos cables pueden constar de dos y hasta docenas o cientos de pares en su interior. El término par equivale a una línea bifilar individual, cuyos conductores tienen diámetros típicos de entre 0.5 y 2 mm, según el fabricante y el uso específico del cable. Por lo general, la separación entre los ejes de los dos conductores es de 1.5 veces el diámetro de cualquiera de ellos.

El aislante que ahora se emplea comúnmente entre cada pareja de conductores es polietileno. También es común colocar por parejas pares individuales dentro de un cable multipar; a cada una de estas parejas se le denomina cuadrete. El la figura siguiente se amplifica del acomodo de un cable multipar.

Entre otras aplicaciones, los cables multipar se emplean en redes locales de transmisión de datos y en líneas interurbanas de telefonía multicanal. Además en todo el mundo se utilizan para llevar señales de los abonados de una zona desde un punto concentrador o caja de registro hasta la central telefónica que le corresponda. La cantidad y complejidad de pares y cuadretes es tal que se emplean códigos de colores y franjas para identificarlos al momento de realizar las conexiones pertinentes de instalación o mantenimiento.

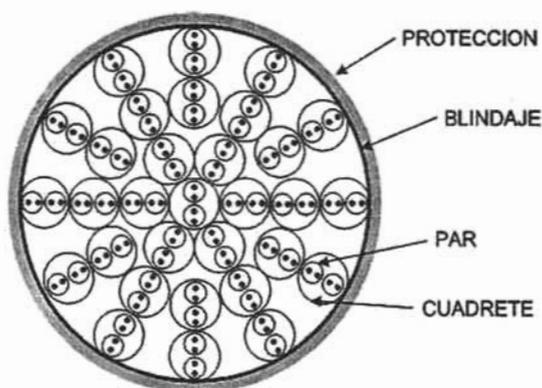


Figura 2.2 Colocación típica dentro de un cablemultipar

En este tipo de cables se presenta el fenómeno de diafonía, debido a la cercanía entre los pares y el aislamiento o blindaje imperfecto que hay entre ellos. Este acoplamiento

entre líneas se traduce en capacitancias parásitas y se manifiesta como una interferencia que reduce la calidad de la transmisión en cada línea. Generalmente los fabricantes de cables proporcionan información al respecto con cifras o curvas de nivel de diafonía, a este nivel en inglés también se le denomina Near End Crosstalk o NEXT. El nivel de diafonía debe tomarse en cuenta al diseñar una nueva instalación; este normalmente se especifica en decibeles por cierta longitud del cable multipar y los valores permisibles están definidos por la UIT a través de estándares recomendados.

El fenómeno de interferencia por diafonía se puede reducir significativamente torciendo los pares como se ilustra en la siguiente figura. Esta técnica de trenzado le da el nombre de cable multipar trenzado o twisted pair en inglés a todo el conjunto.



Figura 2.3 Dos pares trenzados, equivalentes a un cuadro.

II.1.1.3 Cable coaxial

Hasta principios de los años ochenta, época en que comenzaron a utilizarse las fibras ópticas en redes de alta capacidad, el cable coaxial era la única alternativa alámbrica de banda ancha. Por tal motivo, fue la tecnología preferida para servicios como la telefonía multicanal terrestre y la distribución urbana de televisión de paga.

Durante muchos años el cable coaxial ha tenido diversas aplicaciones en la interconexión de equipos electrónicos y de cómputo, en sistemas de vigilancia, en comunicaciones industriales, en instrumentos de medición y aparatos médicos, en proyectiles y lanzadores de satélites, en cables submarinos, etc., y todavía sigue siendo una tecnología muy atractiva para la mayoría de estos usos y otros tantos más. Es un producto maduro, confiable, relativamente económico y fácil de instalar. Además posee su propio territorio en el espectro de frecuencias, pues transmite óptimamente a frecuencias muchísimo más bajas que las necesarias en los sistemas ópticos.

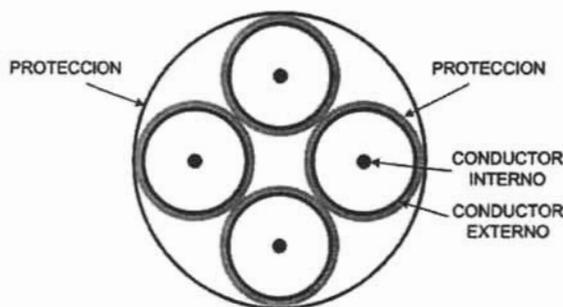


Figura 2.4 Cable con cuatro pares coaxiales.

Un cable coaxial se puede ver como si fuese un par de conductores, sólo que estos son concéntricos y coaxiales es decir que tienen un eje común. Al igual que el caso de los bifilares, es posible emplear cables coaxiales múltiples, como se representa en la figura anterior. Cabe recordar que, en teoría, el blindaje propio de un cable coaxial es excelente, pero de cualquier forma, existe la posibilidad de pequeños acoplamientos indeseables entre un cable y otro. Por ello y con el fin de asegurar una protección contra la diafonía, especialmente en frecuencias bajas, cada par coaxial es rodeado por una o más cintas de hilos de acero, enrollados helicoidalmente. Esta armadura funciona como un doble blindaje y, además, le da al cable una gran resistencia mecánica.

Al igual que en el caso de la línea bifilar, las curvas típicas de impedancia y atenuación son función de la frecuencia, de la geometría transversal y las dimensiones del propio cable, y del dieléctrico empleado entre los conductores. Se observa que la atenuación crece con la frecuencia y, en consecuencia, impone en la práctica un límite de operación debido a que la resistencia de los conductores es proporcional a \sqrt{f} y que la conductancia es proporcional a f . Así, a frecuencias altas las pérdidas sufridas por el dieléctrico son más altas que las debidas a los conductores.

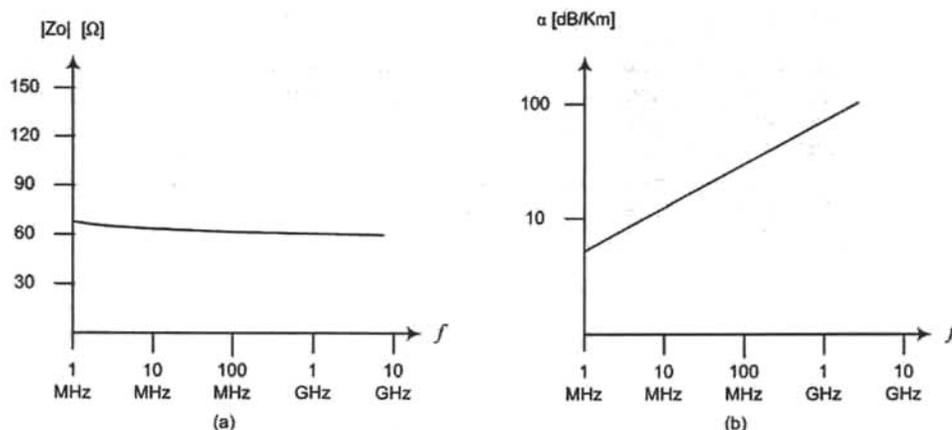


Figura 2.5 Curvas típicas para un cable coaxial arbitrario.
a) Impedancia característica b) Atenuación

En el campo de la telefonía multicanal se aprovechan varios MHz de ancho de banda (hasta un máximo de 60 MHz), para enviar miles de canales por un mismo cable coaxial individual. Estos enlaces pueden ser de larga distancia o entre las centrales telefónicas de una misma ciudad.

Debido a la atenuación en un cable coaxial es necesaria la colocación de muchos repetidores o amplificadores a lo largo de la línea, cuando se desea transmitir a distancias muy largas. Según el tipo de cable y su uso, la distancia promedio entre los repetidores puede estar entre 1 y 3 kilómetros.

Matemáticamente, es posible encontrar las dimensiones óptimas de un cable coaxial, para que trabaje en su rango mínimo de atenuación. Se puede demostrar que esto ocurre cuando el conductor externo r_b tiene radio interior que mide de 3 a 4 veces el radio del conductor interno r_a . En teoría, la atenuación mínima se obtiene cuando $r_b/r_a = 3.6$. El cociente de estos radios influye en el valor de la impedancia característica, que a su vez depende de la raíz cuadrada de la constante dieléctrica relativa del aislante.

Regularmente los dos conductores de un cable coaxial son de cobre, aunque puede haber diseños específicos con aluminio recubierto de cobre, acero o, inclusive plata. El aluminio es más ligero y más barato que el cobre, de modo que el costo del cable se puede reducir. En cuanto a los dieléctricos usados, cuando la línea es rígida se prefiere usar sólo aire; en este caso la distancia entre los conductores se mantiene por medio de separadores plásticos colocando en ciertos puntos a lo largo de la línea. En cuanto a los cables semi-rígidos o flexibles es común encontrar aislantes como el polietileno, polipropileno, teflón y otros compuestos. También existen diseños de líneas con aislantes de espuma sólida hecha a base de los compuestos anteriores.

Debido a las variantes existentes en el diseño de cables coaxiales no es de sorprenderse que exista en el mercado, al igual que en las líneas bifilares, cables coaxiales con impedancias características muy diversas. Sin embargo por limitaciones dimensionales y de fabricación el rango disponible es menor que el de las líneas de dos hilos. La impedancia característica de los cables coaxiales se encuentra aproximadamente en el rango de $20 \Omega \leq Z_0 \leq 200 \Omega$. Así por ejemplo, para aplicaciones de video y distribución de televisión por cable se usa una $Z_0 = 75 \Omega$; para sistemas de cómputo, radiotransmisión, aplicaciones industriales y equipo de comunicación por satélite hay cables con $Z_0 = 50 \Omega$.

Un elemento que también varía en estos cables es la velocidad de propagación que generalmente es de 60 % a 80 % de la velocidad de la luz en el vacío, según la permitividad relativa del aislante entre conductores. Por otro lado cada tipo de cable tiene su propia curva característica del coeficiente de atenuación. En ciertas ocasiones los fabricantes proporcionan la gráfica correspondiente y en otros casos una tabla indicativa.

II.1.1.4 Problemas asociados con la alta frecuencia en cables

Los tipos de cables listados anteriormente proveen servicios bien conocidos y de manera estable para determinadas frecuencias, sin embargo las frecuencias y anchos de banda necesarios para utilizarlos en banda ancha los empujan a sus límites. Esto se debe a dificultades ocasionadas por impedimentos asociados al uso de altas frecuencias para transmitir en estos medios. Algunos de estos impedimentos son los siguientes:

- Atenuación
- Diafonía o crosstalk
- Resistencia
- Error de fase

Atenuación

La pérdida de señal o atenuación se encuentra en función de la frecuencia, la distancia o la temperatura, así como la frecuencia se incrementa, la distancia que la señal puede viajar disminuye la raíz cuadrada de la frecuencia, por ejemplo una señal de 40 MHz puede viajar la mitad de lo que lo hace una señal de 10 MHz. Además la velocidad de la señal a través del alambre también es función de la frecuencia, a mayor frecuencia la señal es más lenta. De esta manera, la "fuerza" de la señal disminuye con la distancia y finalmente también con la temperatura. Si la temperatura ambiente es caliente la pérdida de la señal es mayor. Esto explica porque en caso de temperaturas muy bajas los superconductores trabajan de manera extremadamente eficiente al conducir electricidad.

Diafonía/Crosstalk

El crosstalk es de lejos el principal limitador de la capacidad en las comunicaciones. Existen dos tipos muy diferentes de crosstalk en los pares de cobre:

Next (Near-End-Crosstalk)

Interferencia que aparece en otro par al mismo extremo que la fuente de interferencia. El nivel de interferencia es bastante independiente de la longitud del cable. Afecta a aquellos sistemas que transmiten a la vez en los dos sentidos (por ejemplo, sistemas con cancelación de eco). Si aparece, es mucho más importante que el FEXT. La solución es separar los dos sentidos de transmisión en tiempo o en frecuencia

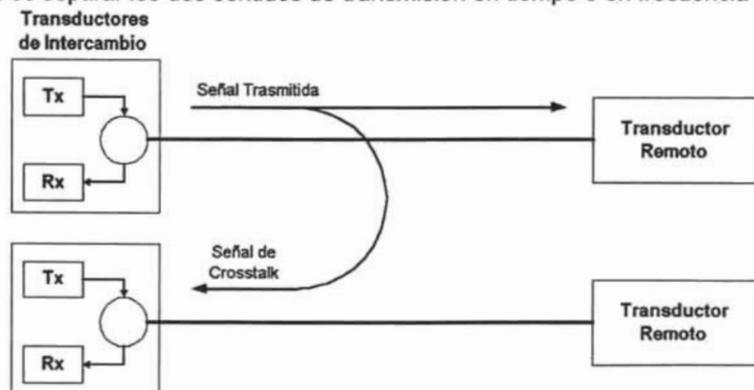


Figura 2.6 NEXT

Fext (Far-End Crosstalk)

Interferencia que aparece el otro par al extremo opuesto del cable de donde esta la fuente de interferencia. Esta señal, como mínimo, se atenúa tanto como la señal útil, ya las dos han viajado la misma distancia.

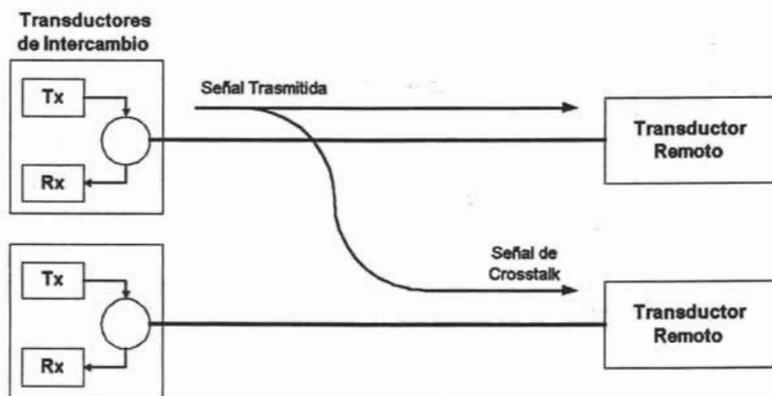


Figura 2.7 FEXT

Resistencia

Así como las señales son transmitidas a través de los cables a muy altas frecuencias, ocurre un fenómeno llamado efecto piel. Esto sucede cuando la electricidad migra hacia la pared externa de alambre dejando sin uso el área de conducción del centro. En casos extremos se cambia el material del centro por algún material no conductor más barato como plástico o madera. Cuando la señal migra hacia la superficie, la resistencia aumenta debido a que se usa una menor parte del alambre. El efecto piel es la razón por la que no tenemos servicios por el medio alámbrico por encima de 1 GHz.

Error de fase

A altas frecuencias las señales no solo son más débiles que las de baja frecuencia sino que también son más lentas, lo que causa errores de fase. Estos errores introducen errores de bits en técnicas de modulación que dependen de la fase.

II.1.1.5 Impedimentos externos

Aparte de los problemas inherentes asociados con las altas frecuencias, las redes metálicas también tienen problemas externos. La mayor parte de estos problemas se deben al ruido, esto es disturbios como: el generado por chispas eléctricas, vallas eléctricas, líneas de alta tensión, maquinaria, interruptores y luces fluorescentes, que reducen la claridad de la señal que esta siendo enviada.

II.1.2 Fibra Óptica

La fibra óptica es muy medio de comunicación que utiliza la luz confinada en una fibra de vidrio para transmitir grandes cantidades de información en el orden de Gigabits (1×10^9 bits) por segundo. Para transmitir los haces de luz se utiliza una fuente de luz como un LED (Light-Emitting Diode) o un diodo láser. En la parte receptora se utiliza un fotodiodo o fototransistor para detectar la luz emitida.

Debido a que el láser trabaja a frecuencias muy altas, entre el intervalo de la luz visible e infrarroja, la fibra óptica es casi inmune a la interferencia y el ruido.

II.1.2.1 Estructura

La fibra óptica básica esta compuesto de tres capas concéntricas que difieren en propiedades:

Núcleo: La parte interna que conduce la luz.

Revestimiento: la capa media que sirve para confinar la luz en el centro.

Recubrimiento: la capa exterior que sirve como un "amortiguador" para proteger al núcleo y revestimiento de algún daño.

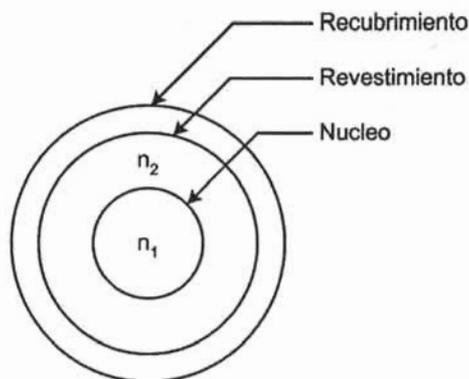


Figura 2.8 Estructura de una fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, y debido a la diferencia de índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. Se produce por ende el efecto denominado Reflexión Total Interna.

La luz inyectada en el núcleo choca en las interfaces núcleo-Revestimiento con un ángulo mayor que el ángulo crítico reflejándose hacia el núcleo. Desde que los ángulos

de incidencia y reflexión son iguales, el rayo de luz continúa en zigzag sobre toda la longitud de la fibra. La luz es atrapada en el núcleo. La Luz que golpea las interfaces núcleo-Revestimiento con un grado menor al ángulo crítico se pierde en el revestimiento.

II.1.2.2 Cono de Aceptación

Los rayos de luz pueden entrar a la fibra óptica si el rayo se halla contenido dentro de un cierto ángulo denominado cono de aceptación. Un rayo de luz puede perfectamente no ser transportado por la fibra óptica si no cumple con el requisito del cono de aceptación. El cono de aceptación está directamente asociado a los materiales con los cuales la fibra óptica ha sido construida. Respecto a atenuaciones producidas dentro de otros medios de transmisión, la fibra óptica presenta niveles de atenuación realmente bajos que permiten transmitir luz por varios kilómetros sin necesidad de reconstruir la señal (regenerar).

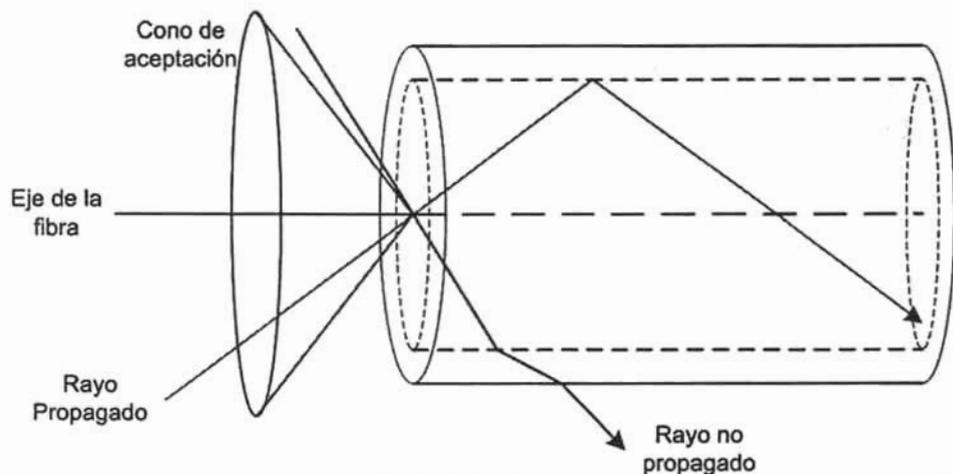


Figura 2.9 Cono de aceptación

II.1.2.3 Tipos de fibras ópticas

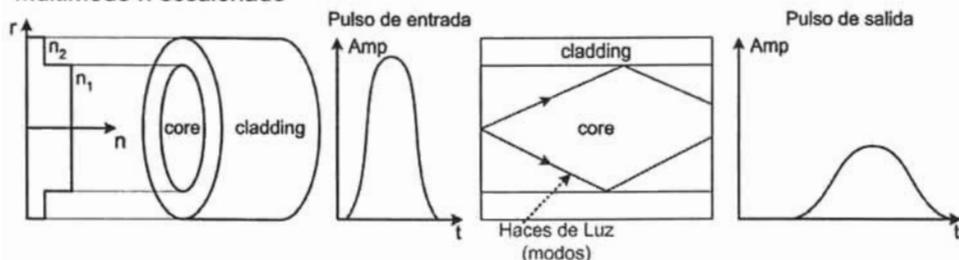
Ningún diseño de fibra satisface todos los requerimientos operacionales. Por razones económicas los fabricantes han concentrado sus esfuerzos en tres tipos de fibras:

- Multimodo de índice escalonado
- Multimodo de índice gradual
- Modo único o monomodo

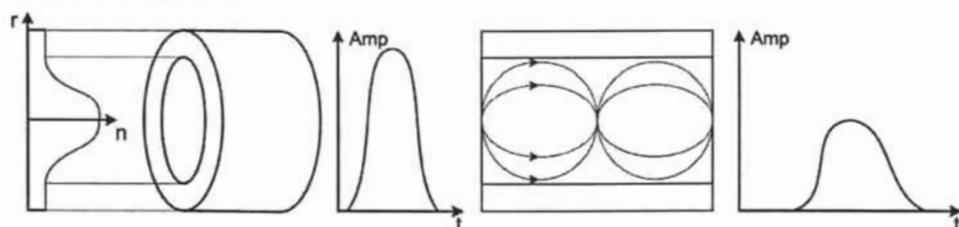
Para poder obtener los índices de refracción distintos entre la corteza y núcleo de la fibra tales que satisfagan las condiciones de guía de luz se agrega impurezas al silicio, tales como el flúor y óxido de fósforo y el óxido de germanio que aumentan el índice de refracción.

La fibra tipo modo único que es la que menores pérdidas presenta se ha logrado con silicio puro en el núcleo y con la corteza dopada de flúor, asegurando un rebote sin pérdida.

Multimodo n escalonado



Multimodo n gradual



Monomodo n escalonado

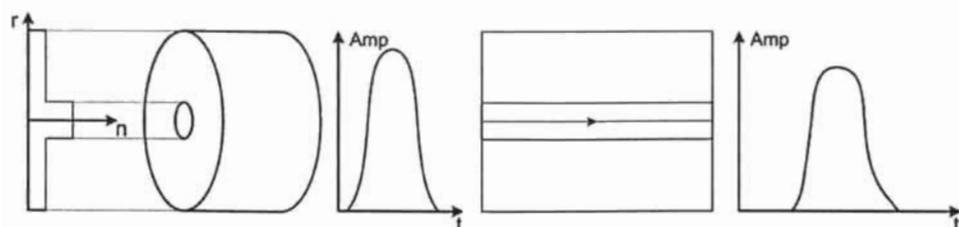


Figura 2.10 Tipos de fibras ópticas

Fibras de Índice escalonado

Son aquellas en las cuales el valor del índice de refracción en el núcleo permanece siempre constante y mayor que el valor del revestimiento. Como se conoce en la fabricación de una fibra un núcleo cilíndrico de vidrio o plástico con índice de refracción n_1 es cubierta por una corteza igualmente de vidrio o plástico con un índice de

refracción menor n_2 . Una fibra que esté constituido por un núcleo de vidrio y corteza de plástico se le denomina fibra PCS (Plastic - Clad Silica). Se pueden obtener elevados índices de apertura numérica con este tipo de fibras que además se caracterizan por tener un diámetro de núcleo ancho, elevada atenuación y pequeño ancho de banda. Lo importante de este tipo de fibra es que al ser elevado el índice de apertura numérica, permite el uso de LED como emisor de superficie de bajo costo, así como conectores baratos.

En estos tipos de fibras los distintos modos de propagación o rayos siguen distintos caminos y llegan al otro extremo en instantes diferentes, provocando un ensanchamiento de la señal óptica transmitida.

La luz de un emisor es distribuida uniformemente en el cono de aceptación de la fibra y la potencia óptica del pulso óptico de entrada es distribuida uniformemente en todos los modos. Debido a que cada modo tiene un tiempo diferente de propagación (porque recorrerán distintas distancias), se producirá el efecto siguiente: Distorsión del pulso y se tendrá un ancho de banda limitado. A este fenómeno se le llama la Distorsión Multimodo (Ruido determinístico coherente).

La distorsión multimodo recibe también el nombre de Dispersión modal y la relación entre los tiempos de recorridos mínimos y máximos es directamente proporcional a la relación entre los índices de refracción del recubrimiento y del núcleo que es del orden del 1%.

Fibras de Índice gradual

Este tipo de fibra consiste de un núcleo cuyo índice de refracción varía con la distancia a lo largo del eje con el objetivo de disminuir los efectos de la dispersión modal. Al igual que la fibra de índice escalón, el núcleo esta rodeado por el vidrio del revestimiento de menor índice refractivo.

Las fibras de índice gradual ofrecen una buena aceptación de luz y ancho de banda, mejor de las ofrecidas por las fibras a índice escalón. Otras características ofrecidas son:

- Diámetro del núcleo moderado
- Bajo índice de apertura numérica
- Atenuación moderada

Las fibras monomodo

Estas fibras están caracterizadas por contener un núcleo de pequeñísimo diámetro, pequeño índice de apertura numérica, baja atenuación y gran ancho de banda.

El requerimiento básico para tener una fibra monomodo es que el núcleo sea lo suficientemente pequeño para restringir la comunicación a un solo modo. Este modo de orden menor puede propagarse en toda la fibra con núcleo pequeño. Desde que una transmisión en modo único evita la dispersión modal, el ruido modal, y otros efectos típicos de una transmisión multimodo, esta fibra puede transmitir señales a mayor velocidad y es la que se ha adoptado como estándar en las telecomunicaciones.

Al tipo de fibra monomodo más simple, frecuentemente se le denomina Fibra monomodo estándar, y tiene un perfil del tipo índice escalonado, con una frontera de separación abrupta entre el índice superior del núcleo y el índice inferior del revestimiento. El diferencial de los índices refractivos está generalmente por debajo del 1%.

El diámetro máximo del núcleo de una fibra monomodo depende de la longitud de onda de transmisión, si se resuelve la ecuación para la longitud de onda, encontraremos que para un diámetro específico del núcleo, una fibra monomodo la luz se transmitirá en un solo modo solamente para longitudes de onda mayores que un valor denominado Longitud de onda de corte, que estará dado por:

$$\lambda_c = \frac{\pi D \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.4}$$

Una fibra con diámetro D es del tipo monomodo para longitudes de onda mayores a la onda de corte. Si la longitud de onda decrece, empezará a transmitir 2 modos a la onda de corte.

Así como el diámetro del núcleo de la fibra es una consideración importante en el diseño de la fibra, la longitud de onda de corte es importante para las aplicaciones de la fibra. Si deseamos que solo un modo sea transmitido en un sistema de comunicación debemos de estar seguros que la longitud de la onda de transmisión sea mayor que la longitud de onda de corte. En la práctica las fibras son diseñadas con un ángulo de corte significativamente menor que la longitud de onda en la cual la fibra va a funcionar. Por ejemplo, una fibra de modo simple para ser usada en $1.3 \mu\text{m}$ probablemente tendrá un ángulo de corte inferior a los $1.25 \mu\text{m}$.

Las fibras monomodo siempre permanecerán siéndolo para longitudes de onda de operación mayores a la longitud de onda de corte. Así una fibra cuya especificación es para trabajar a $1.3 \mu\text{m}$ también será monomodo para $1.5 \mu\text{m}$. Sin embargo una fibra de $1.55 \mu\text{m}$ no será del tipo monomodo para $1.3 \mu\text{m}$, y ni las de $1.3 \mu\text{m}$ y $1.55 \mu\text{m}$ serán del tipo monomodo para una longitud de onda de $0.85 \mu\text{m}$.

Si la longitud de onda empieza a decrecer por debajo de la longitud de corte, primeramente se tendrá un segundo modo y así se irán adicionando nuevos modos. Los modos extras empezarán a interferirse unos con otros y con los modos primarios, causando serios problemas de desempeño. Así como las fibras multimodo, cualquier

perturbación menor puede afectar al modo de propagación, a mas modos será menos predecible las características de la fibra.

Si bien, desde mediados de los años 60, cuando Charles Kao dio a conocer las ventajas de las fibras monomodo, los investigadores se percataron de ciertos inconvenientes para su aplicación, con el tiempo aparecieron otros inconvenientes inevitables que tuvieron que ser resueltos. Los investigadores se percataron que las propiedades de la fibra monomodo del tipo step-index no eran ideales, Su dispersión tiene un mínimo a $1.31 \mu\text{m}$, pero su atenuación tiene su mínimo en $1.55 \mu\text{m}$.

Los mejores amplificadores disponibles de fibras dopados en Erblio, operan entre los 1.5 y $1.6 \mu\text{m}$, mientras la dispersión de la fibra estándar es relativamente alto. Esto y otras limitaciones han permitido a los investigadores desarrollar otros tipos de fibra monomodo con diferentes estructuras para alterar la dispersión.

II.1.3 Radiocomunicaciones

Los medios no-confinados utilizan el aire como medio de transmisión, y cada medio de transmisión viene siendo un servicio que utiliza una banda del espectro de frecuencias. A todo el rango de frecuencias se le conoce como espectro electromagnético. El espectro electromagnético ha sido un recurso muy apreciado y como es limitado, tiene que ser bien administrado y regulado. Los administradores del espectro a nivel mundial son la WRC (World Radiocommunication Conference) de la ITU-R (International Telecommunications Union – Radiocommunications sector). Esta entidad realiza reuniones mundialmente en coordinación con los entes reguladores de cada país para la asignación de nuevas bandas de frecuencia y administración del espectro.

En el caso de México, la entidad reguladora del radio espectro es la Comisión Federal de Telecomunicaciones y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La asignación de bandas del espectro varía de país a país y en el caso de México puede consultarse el cuadro de atribución de frecuencias en el Área de Ingeniería y Tecnología de la COFETEL.

II.1.3.1 Naturaleza de las Ondas de Radio

El proceso de transmisión es el siguiente: Se aplica una potencia de radiofrecuencia a una antena (una potencia eléctrica modulada). Los electrones contenidos en el metal de la antena, comienzan a oscilar instantáneamente. El movimiento de estos electrones genera una corriente eléctrica que se manifiesta de dos formas sobre la antena, mediante un campo magnético concéntrico al conductor de la antena, con líneas de fuerza concéntricas al conductor, y un campo eléctrico cuyas líneas de fuerza son perpendiculares a las líneas de fuerza del anterior campo, es decir centrífugas. La fuerza o potencia eléctrica que se aplica a la antena tiene una forma senoidal, forma que fielmente reproducen tanto las ondas magnéticas como las eléctricas. La longitud

de onda está directamente relacionada al tamaño de la antena, aspecto que debe ser considerado al momento de diseñar la misma.

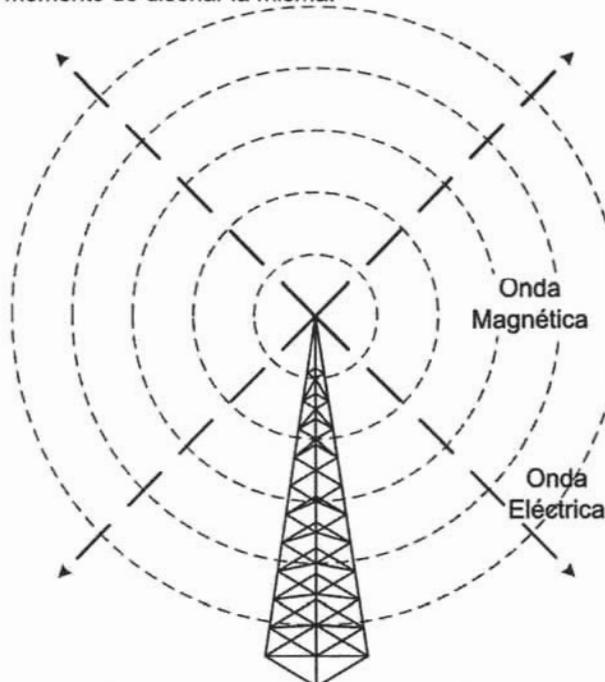


Figura 2.11 Naturaleza de las ondas de radio

II.1.3.2 Espectro de Radiofrecuencias

Cada subconjunto o banda de frecuencias dentro del espectro electromagnético tiene propiedades únicas que son el resultado de cambios en la longitud de onda. Por ejemplo, las frecuencias medias (MF, Medium Frequencies) que van de los 300 kHz a los 3 MHz pueden ser radiadas a lo largo de la superficie de la tierra sobre cientos de kilómetros, perfecto para las estaciones de radio AM (Amplitud Modulada) de la región. Las estaciones de radio internacionales usan las bandas conocidas como ondas cortas (SW, Short Wave) en la banda de HF (High Frequency) que va desde los 3 MHz a los 30 MHz. Este tipo de ondas pueden ser radiadas a miles de kilómetros y son rebotadas de nuevo a la tierra por la ionosfera como si fuera un espejo, por tal motivo las estaciones de onda corta son escuchadas casi en todo el mundo.

Los estaciones de FM (Frecuencia Modulada) y TV (televisión) utilizan las bandas conocidas como VHF (Very High Frequency) y UHF (Ultra High Frequency) localizadas de los 30 MHz a los 300 MHz y de los 300 MHz a los 900 MHz, este tipo de señales debido a que no son reflejadas por la ionosfera cubren distancias cortas, una ciudad por ejemplo. La ventaja de usar este tipo de bandas de frecuencias para comunicaciones

locales permite que docenas de estaciones de radio FM y televisoras en ciudades diferentes puedan usar frecuencias idénticas sin causar interferencia entre ellas.

Tabla 2.1 Bandas de Radiofrecuencias

Banda	Significado	Rango de Frecuencias	Servicios
VLF	Very Low Frequency – Frecuencias muy bajas	3 KHz - 30 KHz	Conducción de electricidad
LF	Low Frequency – Frecuencias bajas	30 KHz – 300 KHz	Conducción de electricidad, navegación marítima, control de tráfico aéreo
MF	Medium Frequency – Frecuencias medias	300 KHz – 3 MHz	Radio AM
HF	High Frequency – Frecuencias altas	3 MHz – 30 MHz	Radio SW
VHF	Very High Frequency – Frecuencias muy altas	30 MHz – 300 MHz	Radio FM, TV, radio dos vías
UHF	Ultra High Frequency – Frecuencias ultra altas	300 MHz – 3 GHz	TV UHF, telefonía celular, WLL, comunicaciones móviles
SHF	Super High Frequency – Frecuencias súper altas	3 GHz – 30 GHz	Servicios por Satélite y microondas, MMDS, LMDS
EHF	Extremely High Frequency – Frecuencias Extremadamente Altas	30 GHz en adelante	LMDS
Infrarrojo		$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$ Hz	Wireless Personal Area Networks
Luz visible		$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$ Hz	Fibras ópticas
Ultravioleta		$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$ Hz	

II.1.3.3 Propagación de las Ondas de Radio

Las ondas de radio tienen tres formas de propagarse. La primera es la denominada propagación por onda terrestre, la segunda es la propagación por línea recta o alcance visual, y la tercera es la propagación por onda espacial.

Propagación por onda terrestre

En este tipo de propagación, las ondas mantienen un contacto constante con la superficie de la tierra, desde la antena transmisora a la receptora. Este fenómeno suscita la aparición de corrientes eléctricas al nivel de la tierra que llegan a interferir la onda original, introduciéndose a la misma en la forma de ruido. Adicionalmente, la onda se va debilitando hasta prácticamente desaparecer del alcance de cualquier radioreceptor.

Propagación en línea recta o alcance visual

Este tipo de propagación se caracteriza porque la onda emitida desde la antena transmisora, viaja en forma directa hacia la antena receptora, sin tocar la superficie del terreno. Este tipo de transmisión es empleado particularmente para las frecuencias más altas como VHF y UHF. Típicamente los servicios de TV y FM emplean este tipo de transmisión. Bajo esta modalidad de propagación, la altura de las antenas es fundamental para lograr una comunicación eficaz entre ambas antenas. Se deben entender dos términos relacionados a este tipo de comunicación: distancia al horizonte y distancia de alcance visual.

DISTANCIA AL HORIZONTE. Es la distancia que se cubre de forma lineal recta desde la antena transmisora hasta rozar tangencialmente la superficie de la tierra. De esta forma, y entre dos antenas existe dos distancias al horizonte.

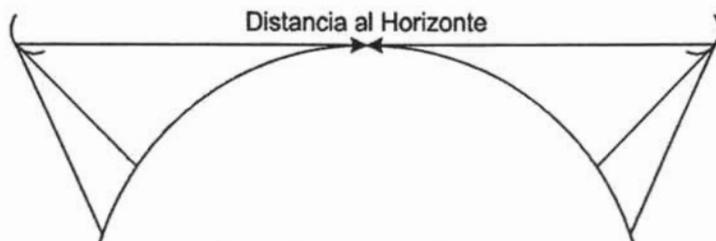


Figura 2.12 Distancia al horizonte

DISTANCIA DE ALCANCE VISUAL. Es la distancia máxima a la que pueden instalarse dos antenas de alturas determinadas en puntos geográficos distantes. Entre las dos antenas existe una sola distancia de alcance visual. Si consideramos como H a la altura de cualquiera de las antenas en metros, es posible obtener la distancia al horizonte como D en kilómetros: $D=3.61H$. Sin embargo se ha demostrado que las ondas cercanas a la tierra sufren una inclinación a la misma que permite lograr una distancia de alcance visual mayor, quedando una fórmula como sigue: $D=4.14H$.

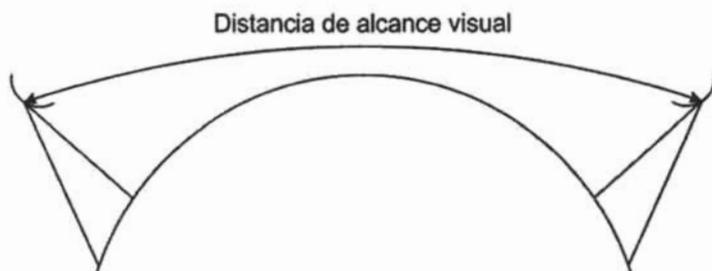


Figura 2.13 Distancia de alcance visual

Propagación por onda espacial

La mayoría de las ondas que están dentro de la frecuencia de 3 a 30MHz se realizan mediante onda espacial, excepto las de radioaficionados. Este tipo de onda es lanzada por la antena transmisora hacia la ionosfera, y rebota retornando a la tierra. Lamentablemente este tipo de comunicaciones es delicada ya que dependen del estado climatológico, como del estado mismo de esta, susceptible a la radiación ultravioleta del Sol, impurezas, etc. La ionosfera esta formada por ondas electromagnéticas provenientes del mismo sol, y está formada por: la región D (59 Km.), la capa E (100Km. desde la tierra), la capa F1 (200Km. desde la tierra), y la capa F2 (340Km. desde la tierra). Como con todo fenómeno de refracción es conveniente tener la precaución de lograr el ángulo de incidencia adecuado a fin de que las ondas "reboten" hacia otra posición de la superficie de la tierra.

II.1.4 Sistemas Satelitales

Los sistemas satelitales forman parte esencial de los sistemas de comunicaciones a nivel mundial, portando gran cantidad de tráfico de voz y datos, además de las señales de televisión. Los satélites ofrecen servicios que difícilmente se lograrían con otros medios de comunicación, como la transmisión simultanea a gran cantidad de usuarios finales, así como el acceso a ubicaciones geográficamente imposibles para otros medios. Esto implica que estos sistemas no respetan fronteras tanto políticas como geográficas, lo que puede representar un serio problema para la gestión de estos sistemas.

II.1.4.1 Asignación de Bandas de Frecuencia y Servicios Satelitales

La asignación de frecuencias en este tipo de sistemas es un proceso complicado que requiere coordinación y planificación de Organismos Internacionales, normalmente regidos por la ITU.

Para realizar la planeación, básicamente se ha dividido el planeta en tres regiones:

- Región 1: Europa, África, la Ex-Unión Soviética y Mongolia.
- Región 2: Norte y Sudamérica y Groenlandia.
- Región 3: El resto de Asia, Australia y la zona del Pacífico sudoeste.

Algunos de los servicios provistos por satélites son:

Servicio de Satélite Fijo (FSS), Servicio de Radiodifusión vía satélite (BSS), Servicios satelitales para Sistemas Móviles, Servicios satelitales para Navegación, Servicios satelitales Meteorológicos.

Esta amplia clasificación de servicios tiene a su vez subdivisiones, por ejemplo, el servicio de satélite fijo provee el enlace para redes telefónicas existentes, transmisión de señales de televisión para sistemas de distribución por cable, Servicios de Radiodifusión para señales de televisión (DBS) también conocidos en Europa como DTH.

Los servicios móviles incluyen comunicaciones terrestres móviles, comunicaciones marítimas y aeronáuticas. Los servicios de Navegación incluyen servicios como GPS.

En Telecomunicaciones por satélite son utilizadas comúnmente seis diferentes Bandas de Frecuencia, cuyas características se mencionan a continuación:

- Banda L** Se ubica en el rango de frecuencias que van de 0.39 a 1.55 GHz y es utilizada principalmente para aplicaciones militares, telemetría, teléfonos móviles y en algunas zonas para UHF y VHF.
- Banda S** Abarca las frecuencias desde 1.55 a 5.2 GHz y se usa principalmente para aplicaciones de Radar, la radiodifusión de audio digital y algunas otras aplicaciones de comunicaciones.
- Banda C** Utiliza un rango de 4 a 6 GHz. Alcanza a cubrir varios continentes y requiere antenas parabólicas en los equipos receptores con diámetros de 2.5 a 3 m, utilizando polarización horizontal en el enlace de bajada y vertical para el de subida.
- Banda Ku** Su huella satelital abarca un solo continente, utilizando un rango de frecuencias de 12 a 18 GHz. Es utilizada principalmente para estaciones y Radiodifusión de TV. Las dimensiones de los platos requeridos son mucho menores que en el caso de Banda C.
- Banda K** Ubicada en un rango de 18 a 27 GHz, esta banda esta destinada para uso militar, brindando principalmente servicios de voz móviles.

Banda Ka Posee el mayor rango de Frecuencias operativas, de 27 a 40 GHz. En un futuro será la banda más utilizada en Comunicaciones por satélite, para implementar tanto redes de Datos como aplicaciones Multimedia, debido a que el gran Ancho de Banda permite la transmisión de Datos a múltiples frecuencias simultáneamente, e incluso es posible proveer servicios de banda ancha Bidireccionales. La NASA ya cuenta con sistemas satelitales en Banda Ka con una tasa de transmisión de 1 Gbps, y algunas compañías están planeando la transmisión de 1.5 Gbps.

II.1.4.2 Tipos de Satélites

Básicamente los satélites son diferenciados por las Orbitas en las que estos se encuentran, y son clasificados en cuatro sistemas generales; cada uno posee sus propias ventajas y desventajas, lo que les permite proveer servicios de comunicaciones particulares. De hecho, los sistemas comerciales frecuentemente son una mezcla de varias de estas tecnologías, con la finalidad de proveer más servicios y una cobertura global.

Unos sistemas pretenden proveer servicio de Telefonía global donde no se tiene cobertura por una compañía Telefónica convencional, o bien proveer enlaces ente distintos servicios telefónicos terrestres. Otros sistemas son planeados para soportar servicios de Datos a nivel mundial, por ejemplo en aplicaciones de monitoreo o Acceso a Internet de alta Velocidad en cualquier parte del mundo.

Satélites Geosíncronos ó Geoestacionarios (GEOS)

Los Satélites Geosíncronos se encuentran situados en el plano ecuatorial a una distancia de 6.6107 veces el Radio del Planeta, esto es, a una altura de 35,786 Km, que según la tercera Ley de Kepler es la única orbita posible a la cual un satélite se mantiene fijo con respecto a la Tierra. Estos satélites se sitúan en diferentes ranuras orbitales, las cuales son medidas desde el Meridiano de Greenwich (0°) y orbitan la Tierra con un periodo igual en duración al periodo de Rotación de la misma, por lo que parecen permanecer fijos con respecto a un punto en la superficie Terrestre. En realidad la Orbita posee valores pequeños diferentes a cero para describir su inclinación y excentricidad, y por esto dicha orbita no es totalmente circular.

La Huella satelital o área de servicio de un Satélite Geoestacionario puede cubrir teóricamente hasta 41% de la superficie terrestre, en realidad es cerca de un tercio de ella (de 75 grados latitud Sur hasta 75 grados latitud Norte), de esta manera puede tenerse una cobertura global con un mínimo de tres satélites en orbita, sin embargo, la señal proveniente de los satélites se degrada después de los 20 grados de latitud norte y sur.



Figura 2.14 Huella de un Satélite GEO

Los sistemas GEO proveen servicios bidireccionales de voz, video y datos con Ancho de Banda mayor que los sistemas LEO y MEO, sin embargo, en su mayoría son servicios fijos para una región determinada. La efectividad de estos sistemas para proveer servicios móviles ó comunicaciones con Equipos Terminales pequeños se había visto limitada debido a las grandes dimensiones de las antenas y la alta potencia requerida, pero últimamente se han desarrollado satélites de alta potencia cuya huella es concentrada en una región determinada, permitiendo una mejor distribución de la potencia y son capaces de proveer los servicios móviles mencionados.

Los Satélites contienen Transpondedores que básicamente son repetidores de Microondas en el cielo, y radian la señal a todo el territorio comprendido en la Huella Satelital.

El tener varios Transpondedores ó un arreglo especial de ellos en un Satélite, permite una mayor capacidad de canales en la transmisión. El número de programas en cada Transpondedor depende de la compresión usada por los operadores, así con 50 Transpondedores se pueden transmitir hasta 500 canales digitales.

Los sistemas GEO cuentan con gran confiabilidad, pues debido a que su posición es estática en el cielo respecto a la Tierra, las Estaciones Terrestres no requieren de sistemas de rastreo tan complejos como los requeridos por otros sistemas de satélites no estacionarios y con diseños de orbitas muy sofisticados, para mantener la línea de vista entre el satélite y las antenas terrestres.

La mayor desventaja de los sistemas satelitales Geoestacionarios es el retardo que sufren las señales debido a la gran distancia que deben recorrer, este es entre 250 y 260 ms aproximadamente, cerca de 0.5 s en "viaje redondo", lo que reduce la calidad del servicio (QoS) en las comunicaciones. En la transmisión de voz para llamadas intercontinentales el retardo es molesto para los usuarios e incluso totalmente inaceptable para aplicaciones en tiempo real como videoconferencias, pero existen tecnologías sofisticadas, como la cancelación de ecos, mediante las cuales es posible brindar estos servicios.

Con respecto a la transmisión de datos a alta velocidad, la mayoría de los Protocolos de comunicaciones deben ser modificados con la finalidad de soportar este retraso entre el envío de paquetes y la recepción del correspondiente "acknowledgment" o aviso de recepción y el envío de un nuevo grupo de paquetes. Por ejemplo, de acuerdo con los estudios realizados por la NASA, un sistema de comunicaciones diseñado para transmitir datos a una Tasa de Transferencia de 155 Mbps utilizando protocolo TCP/IP, reduce su tasa de Transmisión hasta 1 Mbps al transmitir a través de Satélites con retardo de 0.5 s.

Además del retardo, estos satélites requieren de una alta potencia de transmisión y recepción, ya que las señales deben superar la alta atenuación del medio debido a las distancias, incrementando con esto los costos y complejidad de las estaciones terrestres.

Satélites de Orbita Terrestre Media (MEOS) ó Satélites de Orbita Circular Intermedia (ICOS)

Los Satélites de Orbita Terrestre Media mantienen orbitas circulares alrededor de 10,000 Km, con un período Terrestre de 6 horas aproximadamente.



Figura 2.15 Huella de un satélite MEO

Estos pueden ser descritos como híbridos entre satélites GEO y LEO, pues combinan características de ambos sistemas, y sus orbitas permaneces intermedias entre las de sistemas LEO y GEO.

Los satélites MEO, en comparación con los satélites LEO, pueden proveer comunicación global con un número mucho menor de satélites, ya que debido a su altitud la huella satelital es mayor, y se requiere de un número menor de "Handover", sin embargo presentan una pérdida en espacio libre y un retardo (cercano a 100 ms) mayores a los que presentan los sistemas LEO, pero aún así requieren menor potencia que los sistemas GEO.

Una Constelación típica de satélites MEO contiene entre 10 y 17 satélites distribuidos en dos o tres planos orbitales y el tiempo de vida promedio esperado para estos satélites es de 12 años.

No existen muchos proyectos que utilicen esta tecnología, sin embargo se planea proveer servicios de Voz y Datos. Unos ejemplos de estos sistemas son, "ICO Global Communications" y el proyecto "Orbilink de Orbital Sciences".

Satélites de Orbita Elíptica Alta (HEOS)

Estos sistemas operan de manera muy diferente a los GEO, MEO y LEO, ya que estos orbitan la Tierra con una ruta elíptica en lugar de circular como los anteriores. Esta órbita no es centrada en la Tierra y causa que la velocidad del satélite sea distinta en diferentes puntos del trayecto, muy rápido a medida que se acerca al planeta y lento cuando se aleja.

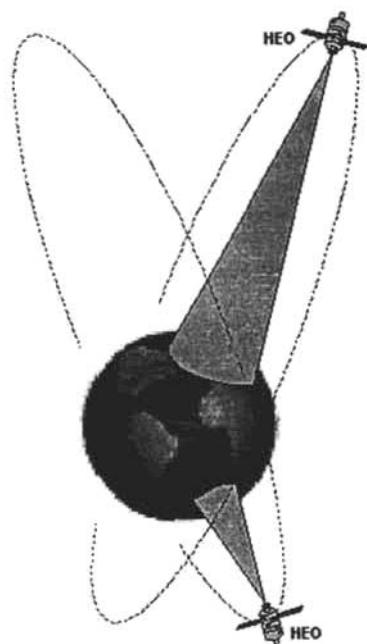


Figura 2.16 Satélites HEOS

Además, esto origina que el área de cobertura sea mayor mientras más alejado se encuentre el satélite, pero requiere de potencia de transmisión mayor a esta distancia.

Estas órbitas son diseñadas de esta forma para proveer comunicaciones de tal manera que se maximice el tiempo que un satélite permanece a la vista de zonas altamente pobladas y no permanezca demasiado tiempo en zonas geográficas distantes y deshabitadas, especialmente cerca del polo sur. Ejemplos de esta tecnología son los proyectos "Ellipso" y "Pentriad".

Satélites de Orbita Terrestre Baja (LEOS)

Otro tipo de Satélites son los Satélites de Orbita Terrestre Baja. Aún cuando la Tasa de Transmisión en estos sistemas no excede de 1 ó 2 Mbps, su potencial en redes de acceso de Banda Ancha consiste en proveer una ruta de bajada para sistemas de tecnología unidireccional que puede ser situada en cualquier punto.

Los satélites LEO orbitan el planeta a altitudes muy bajas con respecto a los anteriores. Dependiendo del sistema, la altitud varía entre 780 y 1400 Km, esta zona se ubica apenas afuera de la atmósfera pero antes del cinturón de Radiación Van Allen. A esta distancia un satélite LEO cubre de un 2 a 4% de la superficie terrestre, lo que significa que una Huella Satelital de cualquiera de ellos está entre 4000 y 6000 Km de diámetro.

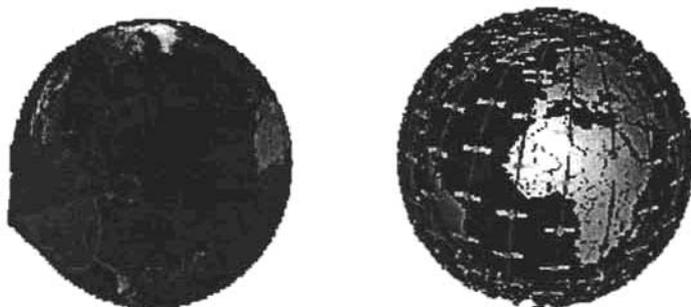


Figura 2.17 Huella y constelación de satélites LEO

Como estos satélites no se encuentran en un mismo punto con respecto a la superficie terrestre, se encuentran dispuestos en Constelaciones estratégicamente diseñadas, de tal manera que cada parte del mundo es cubierta al menos por un satélite.

Los satélites LEO presentan ventajas debido a su baja altitud:

La primera de ellas consiste en un reducido tiempo de espera, las llamadas telefónicas ocurren con un retardo de 6 ms en un solo sentido, es decir, 12 ms para el enlace completo, mientras que mediante satélites geoestacionarios el retardo es cercano a 500 ms. Esta ventaja elimina las molestas pausas en las conversaciones. Videoconferencias pueden ser llevadas a cabo en tiempo real y la transmisión de datos en protocolos como TCP/IP no requiere modificación.

La segunda ventaja es el bajo consumo de energía, pues la potencia requerida para transmitir una señal de RF a un satélite LEO es mucho menor que en el caso de un GEO, ya que la atenuación que sufre la señal por la distancia recorrida en espacio libre es mucho menor, además se simplifican los arreglos de antenas en los satélites y los equipos terminales.

Otra gran ventaja es una mayor eficiencia en el uso del Espectro Radioeléctrico, pues sus coberturas pueden ser enfocadas en zonas más concretas. En el caso de Teledesic, la misma banda de 1 GHz puede ser reutilizada hasta 20,000 veces sobre la superficie terrestre.

Debido a estas ventajas y a los avances en la tecnología espacial, en específico al lanzamiento de satélites, algunas compañías iniciaron varios programas para brindar servicios de Comunicaciones satelitales, por ejemplo Globalstar e Iridium con servicios de voz global, Skybridge y Teledesic en servicio de datos de 2 Mbps.

Teledesic pretende utilizar dos secciones del espectro radioeléctrico, la primera para brindar sus servicios en la banda de 28.6 a 29.1 GHz para el enlace de subida y la banda de 18.8 a 19.3 GHz para el enlace de bajada; y para sus enlaces "Gigalink" en sus terminales de entrada (Gateway), la banda de 27.6 a 28.4 GHz de subida y la banda de 17.8 a 18.6 GHz como enlace de bajada. Además, propone operar los enlaces inter-satelitales en las bandas 59.5 a 60.5 GHz y 62.5 a 63.5 GHz, para interconectar cada satélite con ocho satélites en los planos adyacentes.

Arquitectura y Funcionamiento de sistemas LEOS

Debido a su característica de Órbita Baja, los Satélites de los sistemas LEO orbitan el planeta a una velocidad promedio de 20,000 Km/h, a diferencia de los Satélites GEO, los cuales permanecen fijos con respecto a la Tierra. El periodo de un Satélite LEO dura aproximadamente entre 4 y 6 horas y depende de la órbita utilizada, de tal manera que el satélite puede pasar entre 4 y 6 veces sobre un mismo punto en un día y la duración de la línea de vista con el satélite es en promedio entre 10 y 18 minutos, lo que origina serias afectaciones por el efecto Doppler.

Cuando se realiza un enlace desde la Tierra y un satélite LEO, la comunicación sería interrumpida en el momento en que el satélite pasa el horizonte; para mantener la sesión, el satélite con el que se realizó originalmente el enlace, realiza un procedimiento de "Hand Off" con el siguiente satélite. Debido a esta razón, los sistemas LEO utilizan enlaces inter-satelitales. La frecuencia con la que el procedimiento de Handoff se realiza depende de la distancia de la Tierra al satélite, esto es, depende del tamaño de la huella satelital. A medida que la órbita es más baja, la velocidad del satélite con respecto a la Tierra aumenta y con ello la cantidad de operaciones de Handoff que deben realizarse. Órbitas más lejanas a la Tierra reducen la cantidad de Satélites, lo que tiene un gran impacto en el costo del sistema.

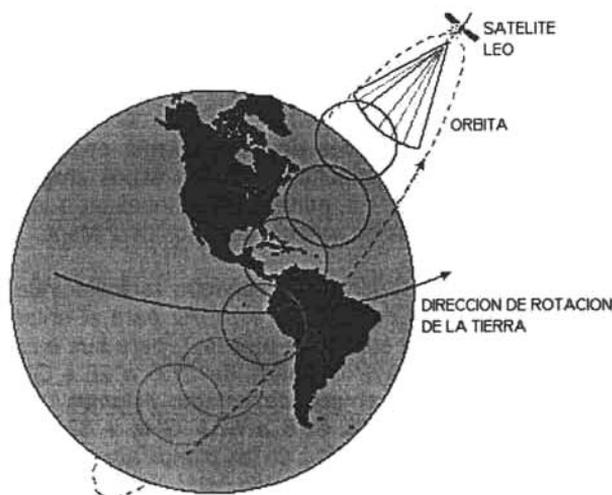


Figura 2.18 Periodo de un satélite LEO

Clasificación de Satélites LEO

Existen tres tipos de satélites dentro de la clasificación LEO: Little-LEO, Big-LEO y "Mega-LEO". Estos sistemas se distinguen por características como el número de orbitas, el numero de satélites por orbita, capacidad en los Transpondedores, la banda de Radiofrecuencia en las que operan, el método de acceso, etc. Estos sistemas no son excluyentes entre sí, sino que se complementan proveyendo diferentes tipos de servicios.

Satélites Little LEO

Los satélites Little LEO se distinguen en principio por sus reducidas dimensiones y peso. Ocupan un Ancho de Banda pequeño, transmitiendo en frecuencias debajo de 1 GHz (Bandas VHF y UHF), con lo que pueden aprovechar una favorable propagación de la señal optimizando los costos de los equipos de comunicaciones. Los satélites LEO proveen servicios en los que se requiere transmisión de datos con poco ancho de Banda. Aplicaciones típicas de estos sistemas son GPS, Rastreo de Carga, Telemetría, uso meteorológico, instrumentación geológica y marítima, sistemas de radiolocalización y mensajes de Correo Electrónico y Fax. Esta Tecnología ha sido implementada por compañías como Orbcomm, Final Análisis y LEO-One.

Satélites Big LEO

Los sistemas implementados mediante satélites Big LEO son diseñados para proveer servicios de Voz y Datos con cobertura global. La mayor importancia de estos sistemas consiste en proveer servicios de Telefonía en regiones donde no se cuenta con infraestructura telefónica terrestre. Estos satélites utilizan las bandas L y S, en el rango de 1.6 a 2.4 GHz.

Ejemplos de sistemas Big LEO son Iridium, Globalstar y los sistemas de Constelación Regional ECO-8.

Satélites Mega LEO

La más reciente tecnología de la familia LEO son los satélites Super LEO ó Mega LEO, los cuales pueden proveer servicios de banda angosta como los anteriores, sin embargo estos sistemas están enfocados a proveer servicios de banda ancha como transmisión de datos de alta velocidad, video conferencias, video-telefonía, acceso a Internet y aplicaciones Multimedia. Estos satélites soportan en su red interna altas tasas de transferencia, cercanas a 150-200 Gbps, por lo que se considera un servicio de "fibra en el cielo". El ejemplo más claro de esta tecnología son los sistemas Teledesic y Skybridge, optimizados para transmisión de datos mediante Conmutación de Paquetes.

Conmutación y servicios satelitales en Sistemas LEO

Con respecto a la conmutación, se han presentado dos diferentes criterios:

Globalstar y Skybridge utilizan el criterio "Bent Pipe" ó Conducto curvo, en el que el tráfico es enviado desde el usuario en la Tierra y el satélite realiza un mínimo de Procesamiento a la señal y regresa lo antes posible el tráfico a la Tierra, todas las decisiones de conmutación son realizadas en la Tierra.

El segundo criterio, utilizado por Teledesic e Iridium, consiste en conmutar el tráfico directamente en el satélite; esto es porque cada satélite contiene un Conmutador de paquetes (comúnmente ATM) que reenvía el tráfico a otros satélites. De esta manera, cuando el último satélite es alcanzado, el tráfico es dirigido hacia el usuario final o bien a la estación terrena. El realizar la conmutación en los satélites minimiza la inversión en estaciones terrenas, equipos de conmutación en ellas y además facilita la coordinación con compañías de telefonía local, sin embargo se requiere de software muy complejo.

Tabla 2.2 Características de los principales competidores en sistemas LEO.

	Globalstar	Iridium	Sky Bridge	Teledesic
Servicios	Telefonía	Telefonía	Datos	Datos
Ancho de Banda de bajada	2.483 a 2.5 GHz en Banda S	1.61 a 1.62 GHz en Banda L	Banda Ku (12GHz)	Banda Ka (19.3 a 19.6 GHz)
Ancho de Banda de subida	1.61 a 1.62 GHz en Banda L	1.61 a 1.62 GHz en Banda L	Banda Ku (14 GHz)	Banda Ka (29.1 a 29.4 GHz)
Esquema de Modulación	QPSK	QPSK/CDMA	N/A	N/A
Conmutación	En Tierra	Satelital	En Tierra	Satelital
Satélites	56	72	80	288
Tasa máx. de Transmisión	9600 bps	4800 bps	TBD	16 Kbps (Voz) 2 Mbps (Datos)

Retos para sistemas LEOs

Conexión Telefónica mediante LEOs

Para brindar un adecuado servicio se requiere de cooperación entre las compañías de sistemas LEO y compañías telefónicas locales, donde el problema radica en que LEO es un sistema global y esto implica acuerdos con compañías telefónicas alrededor del mundo.

Uso del Espectro

Existen algunos problemas en el uso del espectro en la banda Ka entre sistemas LEO y sistemas como LMDS, por ejemplo Teledesic y operadores de LMDS compiten por la banda de 29.1 GHz.

Este problema puede repetirse en otras partes del planeta; aún cuando el uso de la banda Ka es limitado, se requieren de convenios para las bandas S, L y Ku para servicios de cobertura global.

Por otra parte, el servicio LEO interfiere notablemente con los trabajos de Radio-Astrónomos en cuanto a las mediciones realizadas.

Capacidad de Lanzamiento

Los sistemas LEO requieren el lanzamiento de alrededor de 400 satélites en los próximos años, y en la industria espacial se tienen planeados 1700 lanzamientos de satélites para el año 2010, por lo que se requiere ampliar esta capacidad de lanzamiento, con el agravante del 10% de los lanzamientos fallidos.

Costos

Algunas consideraciones deben hacerse con respecto a los costos que implica un sistema global satelital. La estimación original de Teledesic fue de 9 Billones de Dólares para una constelación de 840 satélites, sin embargo se alejó la órbita de operación para reducir el número de satélites a 288.

Los costos en desarrollo, construcción y lanzamiento de los satélites se incrementan ya que los equipos de comunicaciones deben ser modificados por factores como el ambiental, debido a temperaturas y radiación.

Se requiere del desarrollo de nuevas tecnologías como la comunicación inter-satelital a mayor tasa de transmisión y conmutación directamente entre satélites.

Deben construirse Estaciones terrenas que satisfagan las necesidades del sistema.

Los satélites sufren daños debido a actividad solar y partículas espaciales con las que se tienen colisiones.

Las terminales y equipos de usuarios deben ser rediseñadas para cumplir con las características deseadas, como potencia de transmisión, tamaño de las antenas, etc.

La vida útil de un satélite LEO es mucho menor que la de un GEO, por lo que es necesario el relanzamiento de satélites para mantener la constelación funcional.

Los precios de estos servicios son muy elevados y los Equipos Terminales son robustos e incómodos, los costos de los satélites y su puesta en operación son increíblemente elevados, sin embargo promete "roaming" a nivel mundial, un plan de marcación mundial estandarizado, infraestructura de Telecomunicaciones inmediata para países en subdesarrollo, servicio de datos y acceso a redes en cualquier punto del planeta con un mínimo retardo.

Comparación entre sistemas GEO, LEO y MEO.

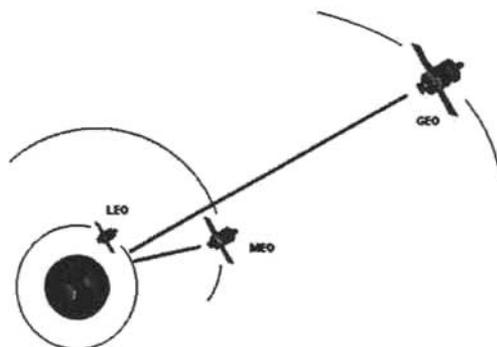


Figura 2.19 Órbitas de satélites LEO, MEO y GEO. (No a escala)

Tabla 2.3 Comparativo de las Capacidades de Sistemas Satelitales

		Little LEOS	Big y Mega LEOS / MEOS	GEOS
Satélites	Altitud (Km)	750 a 1,500	750 a 11,000	36,000
	Bandas	VHF y UHF	L y S, 25 y 28 GHz	K, 19 y 29 GHz
	Peso (Kg)	40 a 165	350 a 500	Hasta 1200
	Núm. de Satélites	2 a 28	12 hasta 288	1 a 12
	Complejidad	Baja	Alta y muy alta	Baja hasta alta
	Costos de construcción, operación y mantenimiento	Baja	Muy alta	Alta y muy alta
Terminales	Potencia	Baja	Baja	Alta
	Tipo	Terminal de mano	Terminal de mano, fija y portátil	Fija y portátil
	Antena	Látigo, Helicoidal ó Dipolo	Helicoidal	Plato o Arreglo en fase
	Limites de ubicación y operación	Medio	Alto	Muy Alto
Propagación	Atenuación por Lluvia	Baja	Medio	Alta
	Penetración en Follaje	Alta	Baja	Baja
	Penetración en edificios	Media	Baja	Muy Baja
	Interferencia por Multiruta	Media	Alta	Alta
	Ruido	Alto	Medio	Medio

		Little LEOS	Big y Mega LEOS / MEOS	GEOS
Servicios	Localización de Posición	Si	Si	Si
	Terminales Fijas	Si	Si	Si
	Terminales Móviles	Si	Si	Si
	Servicios de Voz	Si	Si	Si
	Servicios de Datos	No	Si	Si
Costo	Terminales	Bajo	Alto	Alto
	Renta de Servicios	Bajo	Alto	Alto

II.2 Transmisión de señales

Básicamente, existen dos formas de enviar señales por una línea de transmisión. Podemos optar por enviar la información directamente, sin ningún tipo de modificación, o bien pueden componerse con una onda de frecuencia más alta que sirve de transporte.

En el primer caso se habla de transmisión en banda base. La principal ventaja que ofrece es la sencillez y economía del proceso. Su principal inconveniente es la atenuación introducida por la línea a este tipo de señales que provoca importantes distorsiones.

El segundo se refiere a la modificación de la señal para poder enviarla a través de un medio en particular, de acuerdo a los tipos de medios mencionados anteriormente existen características óptimas para su uso. El adaptar la información para el uso eficiente de los medio es a lo que llamamos modulación.

Las modulaciones describen un grupo de técnicas para codificar la información, de acuerdo a la naturaleza de la información podemos tener modulaciones analógicas y digitales. Para el caso actual de los accesos en banda ancha, la información que se codifica y por consiguiente las modulaciones son digitales. Existe una gran cantidad de técnicas de modulación digital, sin embargo sólo describiremos los más usados en los sistemas de acceso de banda ancha actuales.

II.3 Técnicas de Modulación

Las técnicas de modulación son permutaciones de varias propiedades de una forma de onda constante, tales como: amplitud, frecuencia y fase; para codificar unicidad, que es, después de todo, información. La transmisión digital a través de cualquier medio (par de cobre, fibra óptica, aire) requiere del uso de esquemas de modulación para introducir esta en el medio. Los esquemas de modulación difieren en cuanto al la velocidad del servicio que proporcionan, la calidad del medio que requiere, inmunidad al ruido, complejidad que son básicamente las variantes que definen el costo. Incluso después de décadas de desarrollo, la modulación se mantiene como uno de los puntos de

debate entre expertos. Se han desarrollado muchos esquemas incompatibles y la investigación continua en proceso.

Algunos de los esquemas de modulación más importantes en uso por sistemas existentes se listan a continuación:

- On/Off Keying (OOK)
- 2B1Q
- Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
- Discrete Multitone (DMT)

A continuación describiremos estas técnicas con más detalle.

II.3.1 On/Off Keying (OOK)

Esta es un esquema de modulación simple e intuitiva usada en la transmisión a través de fibra óptica. Cuando el emisor quiere transmitir un uno binario, el láser se enciende. Para un cero binario el láser se apaga. Entonces, para transmitir una secuencia binaria el transmisor simplemente enciende o apaga el láser, claro que este proceso se lleva a cabo a una gran velocidad. El tiempo durante el cual el láser permanece encendido o apagado se denomina tiempo de símbolo. El número de símbolos por unidad de tiempo se llama tasa de símbolo. Cuando la tasa de símbolo es muy rápida (del orden de miles de millones por segundo), surge un problema de ingeniería muy importante al tratar de mantener sincronizados al transmisor y al receptor, la recuperación del reloj. Sin embargo para tasas relativamente bajas (medidas en cientos o millones por segundo) el actual estado de la tecnología óptica desarrollada permite una transmisión confiable.

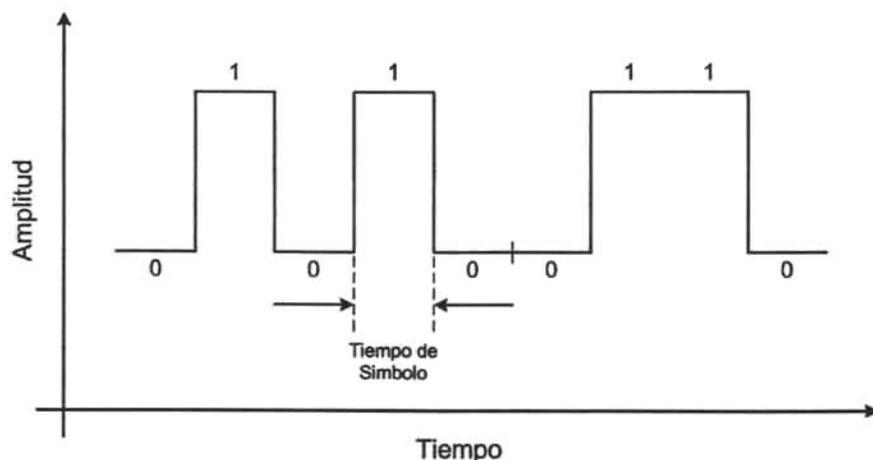


Figura 2.20 Modulación On/Off

II.3.2 2B1Q

En la modulación OOK sólo se transporta un símbolo por tiempo. Sin embargo, es posible llevar más bits por símbolo con variaciones en el símbolo. Por ejemplo 2B1Q (2 binary, 1 Quaternary) tiene cuatro niveles de de amplitud (voltaje) para codificar 2 bits. Debido a que hay 4 niveles de voltaje cada nivel puede llevar 2 bits por símbolo.

Tabla 2.4 Relación de bits con niveles de voltaje en 2B1Q

Bits	Nivel de Voltaje (Amplitud) [V]
00	+3
01	+1
10	-1
11	-3

En la figura siguiente se puede ver un ejemplo de cómo transportar los 12 bits de 110110001101 en seis tiempos de símbolo. Esto debido a que cada símbolo puede llevar dos bits. Por lo tanto es posible incrementar la tasa de bits en un alambre o un canal inalámbrico al incrementar la tasa de símbolo de la transmisión (al hacer las cosas más rápido) o bien al incrementar el número de bits por símbolo (haciendo las cosas más inteligentemente). Los esquemas de modulación se pueden comparar de acuerdo a su eficiencia espectral o bien por cuantos bits pueden ser transmitidos en un ancho de banda determinado.

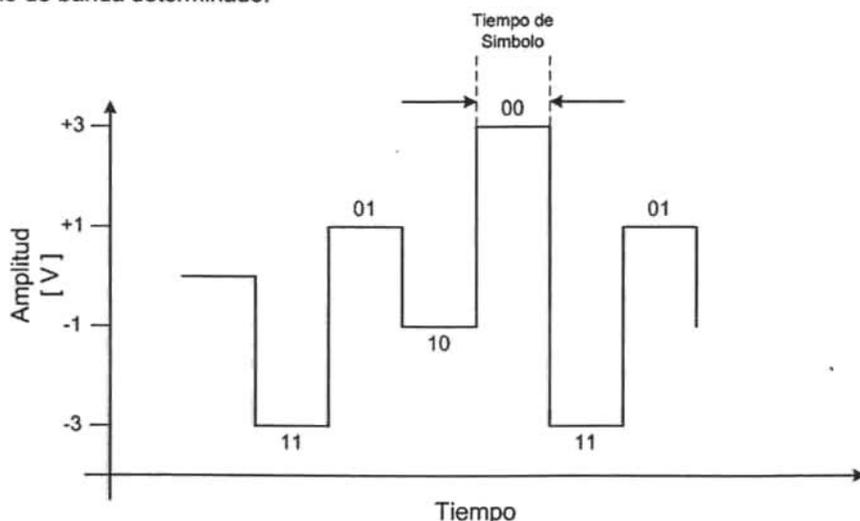


Figura 2.21 Ejemplo de modulación 2B1Q

2B1Q es una técnica de modulación en amplitud y puede transmitir el doble de datos que cualquier otro esquema que transmita un bit lógico por segundo. Si se requiriera

transmitir más bits por símbolo, más niveles serían requeridos. Por ejemplo, para codificar 3 bits por símbolo requeriríamos de 8 niveles de voltaje. Entonces, para codificar K bits por símbolo necesitaríamos 2^K niveles de voltaje. Sin embargo al incrementar los requerimientos de velocidad se hace más difícil para el receptor el discriminar entre varios niveles de voltaje con una precisión consistente

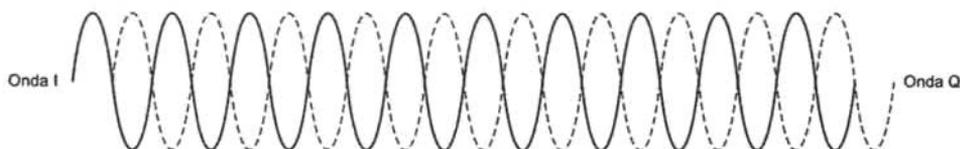
II.3.3 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Otro aspecto de la forma de onda que puede ser modulado para codificar información es la fase. La forma más simple de modulación en fase que no usa ningún tipo de modulación en amplitud es la PSK sin embargo esta técnica no es comúnmente usada debido a su baja eficiencia espectral.

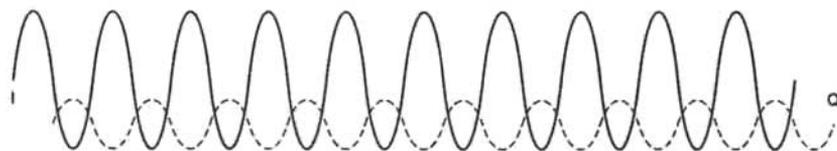
La QPSK transmite dos ondas con la misma frecuencia, pero con un desplazamiento de 90° , cada una de las cuales se modula en amplitud. QPSK tiene una eficiencia espectral modesta de dos bits por tiempo de símbolo y puede operar en los peores ambientes de transmisión aérea. También se recomienda para su uso en las rutas de retorno de en los sistemas de cable módem.

II.3.4 Quadrature Amplitude Modulation

QPSK es un caso especial de una técnica de modulación más especial llamada Quadrature Amplitude Modulation (QAM). En esta técnica de modulación la información se codifica en una onda portadora al hacer variar la amplitud de esta y la "cuadratura" de otra portadora que se encuentra desfasada 90° con respecto a la portadora principal, de acuerdo con dos señales de entrada.



Ejemplo de Modulación QAM



3 bits por símbolo en I

3 bits por símbolo en Q

Figura. 2.22 Modulación QAM

La modulación QAM también puede verse como una modulación en amplitud de una portadora compleja, por otra señal compleja. Esto quiere decir que la amplitud y la fase de la onda portadora cambian simultáneamente conforme a la información que se desea transmitir.

Así, la modulación en fase QPSK puede verse como un caso especial de la QAM donde la Amplitud permanece constante y la fase es lo que varía.

En QAM se puede tener una muy alta eficiencia espectral en comparación con la 2B1Q. Por ejemplo en Modulación 64-QAM se codifican 3 bits en cada portadora lo que nos da un total de 6 bits por símbolo. En medios más limpios se pueden usar modulaciones más agresivas como 256-QAM donde se pueden codificar 4 bits por portadora para un total de 8 por símbolo.

La modulación QAM tiene un uso extensivo en módems y otro tipo de formas de comunicación digital sobre canales analógicos. En la aplicaciones digitales la señal modulada se cuantifica en sus señales componentes (fase y cuadratura). La cantidad de posibles combinaciones de amplitudes graficadas en un diagrama x-y genera un patrón de puntos conocidos como constelación QAM.

Este número total de puntos nos indica el total de estados por símbolo n . El número de bits por símbolo es k donde $2^k=n$. Así al codificar 4 bits por símbolo el resultado es 16-QAM; seis bits por símbolo produce 64-QAM.

16-QAM se propone como un esquema de modulación para la el retorno de datos en sistemas de cable. La Sociedad de Ingenieros de Televisión por Cable, SCTE por sus siglas en inglés, especifica las modulaciones 64-QAM y 256-QAM para transmisiones de video digital sobre sistemas de TV por cable.

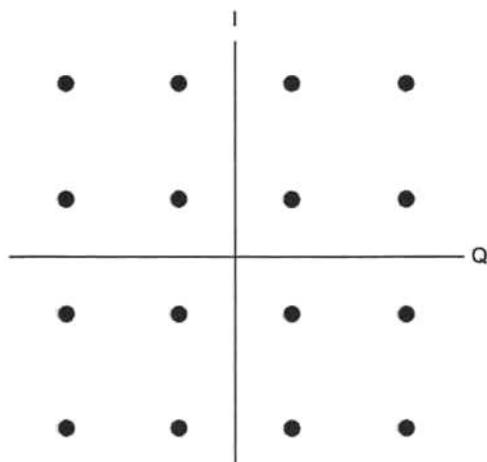


Figura 2.22 Constelación 16-QAM

II.3.5 Discrete Multitone

QPSK, QAM y CAP son ejemplos de técnicas de modulación que permitan sobre una sola portadora. Estas son llamadas técnicas de una sola portadora. Para codificar la información se pueden modular la frecuencia, amplitud y fase de la portadora. Estas son técnicas muy conocidas con muchas aplicaciones y experiencia acumuladas detrás de ellas.

Pero con el desarrollo del procesamiento digital de señales, DSP por sus siglas en inglés, las técnicas multiportadoras son posibles. Las técnicas multiportadoras utilizan una cantidad de ancho de banda que se subdivide en sub-bandas dentro de las cuales se llevan canales múltiples, paralelos y de banda angosta. Cada sub-banda se codifica usando una técnica de una sola portadora (como QAM) estos datos que se envían por separado se consolidan usando el proceso inverso en el receptor. Ejemplos importantes de modulación por multiportadora son Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) y Multitono discreto (DMT).

OFDM y DMT difieren en que OFDM usa un esquema de modulación común para cada sub-banda. DMT mejora el modelo del OFDM al permitir una eficiencia espectral variable entre las sub-bandas. Así, algunas sub-bandas pueden usar esquemas de modulación más agresivos. El uso de un esquema de modulación uniforme tiene sentido en el caso de que se presuma que todas la sub-bandas tienen características de ruido uniformes.

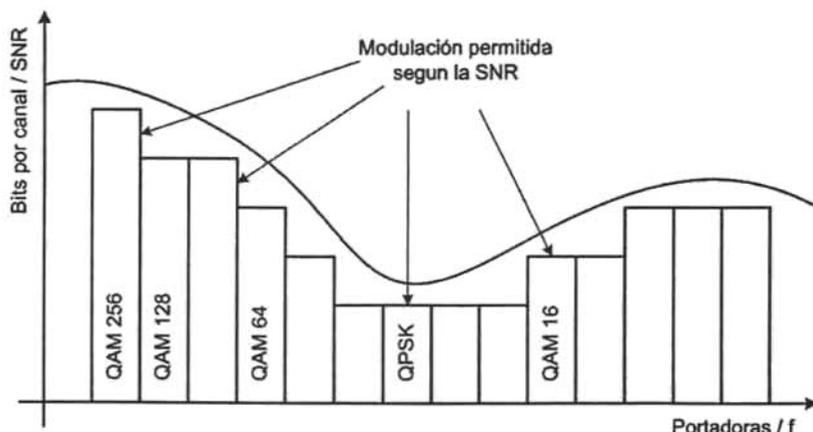


Figura 2.23 Ejemplo de Modulación Multiportadora DMT

Sin embargo las técnicas de multiportadora tienen una desventaja comparado con las técnicas de una sola portadora, esto es la latencia. La latencia es un retraso en el tiempo al transmitir un bit digital. Por ejemplo para el caso de DMT en ADSL, que tiene 256 sub-bandas de 4 KHz cada una, ningún bit puede viajar más rápido de lo permitido por 4 KHz, y esto en el caso de que la línea estuviera limpia.

Referencias

NERI VELA, RODOLFO. "Líneas de transmisión", México. McGraw-Hill 1999

ABE GEORGE, "Residential Broadband", Cisco Press 2000, p.213.

RODDY DENNIS, "Satellite Communications", McGraw Hill, tercera edición, 2001, p.p. 569.

LEE, BYEONG GI. "Broadband telecommunications technology". Boston, Ed. Artech, 1993. 579 p.

KEISER, BERNHARD E. "Broadband coding, modulation, and transmission engineering". New Jersey. Ed. Prentice Hall, 1989. 477p.

III

SISTEMAS ALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA

Una segunda oportunidad

La demanda de los usuarios por un mayor ancho de banda ha hecho necesario exprimir los sistemas de comunicación existentes en lugar de invertir en el desarrollo de nuevos. Lo primero fue empezar con lo que tenemos más a la mano como la red pública telefónica conmutada y la red de televisión por cable debido a la gran base de usuarios con la que cuentan estas redes.

III.1 Familia xDSL

Los sistemas actuales de DSL tanto simétricos como asimétricos tienen mucho puntos a favor; precios más bajos que una línea dedicada, operación sofisticada del lazo de abonado, administración, mantenimiento, alta disponibilidad y una enorme base de pares de cobre telefónicos instalados alrededor del mundo. Estos sistemas se encuentran en un estado temprano de desarrollo por parte de los ISP's y algunas compañías de telecomunicaciones. Por todo lo anterior, estos sistemas tienen un costo efectivo que va de los 30 a los 500 dólares por línea.

La terminología xDSL representa una variedad de tecnologías de acceso DSL, estas tecnologías están sujetas a diferentes iniciativas de desarrollo comercial y técnico. Estas tecnologías son las siguientes: ADSL, ADSL (G.Lite), HDSL, SDLS y la VDSL

ADSL

La tecnología ADSL se basa en una modulación para banda simple que codifica los paquetes de bits de información sobre el par de cobre regular del lazo de abonado de los sistemas telefónicos, usando esquemas de modulación de dos dimensiones como CAP o DMT, esta última tiene su estándar en el ANSI T1.413. Los módems disponibles de ADSL son capaces de transmitir hasta 8 Mbps en el downstream o el sentido de bajada en la banda de frecuencias que va de los 240 KHz a los 2 MHz y de hasta 1 Mbps en el sentido de subida o upstream en la banda que va de los 25 a los 200 KHz, simultáneamente con el servicio de la red pública telefónica conmutada en la banda que va de los 300 a los 3400 Hz. Además, los módems tienen una tasa de adaptación¹ discreta para incrementar o disminuir la tasa de transmisión automáticamente en respuesta a las variaciones de las condiciones de ruido y longitud del cable.

ADSL (G.Lite)

El grupo universal de trabajo ADSL esta trabajando junto con la Unión Internacional de Telecomunicaciones en una recomendación llamada oficialmente G.299.2 o comúnmente G.Lite la cual puede ofrecer tasas de transmisión en el downstream de hasta 1.5 Mbps y de hasta 512 Kbps en el upstream, también cuenta con divisores baratos y el módem es compatible con un bus PCI por lo cual puede conectarse

¹ 32 Kbps para DMT y 320 Kbps para CAP

directamente a una computadora abatiendo costos. También se puede conectar de manera externa en el puerto serial. Esta tecnología por su arquitectura sencilla esta dirigida hacia clientes residenciales o pequeños negocios para circuitos combinados de voz y datos sobre un solo par de cobre.

HDSL

Esta es una tecnología de acceso de 4 hilos para lograr tasas simétricas de transmisión de datos conforme a los estándares T1 o E1 (1.544 Mbps y 2048 Mbps respectivamente), usando esquemas de modulación 2B1Q o CAP. También soporta tasas fraccionarias tanto de T1 como de E1 usando técnicas de reloj $nx64$ Kbps. El espectro de frecuencias sobre el alambre de cobre para los sistemas HDSL se encuentra entre los 0 y los 300 KHz para la transmisión modulada y entre 0 y 425 KHz para la transmisión de los datos en banda base. En la práctica, los módems disponibles de HDSL no soportan la transmisión simultanea de telefonía analógica, sin embargo, recientemente se ha desarrollado el estándar ANSI HDSL 2 que tiene por objetivo tasas de transmisión simétrica de 1.5 Mbps sobre un solo par de cobre usando 16PAM.

SDSL

Una tecnología de 2 alambres con implementación de esquemas de modulación 2BQ1 o CAP, con técnicas de cancelación de eco y ecualización adaptable para lograr una transmisión simétrica a tasas de 384 Kbps, 768 Kbps, 1 Mbps, 1.5 Mbps o 2Mbps. Al igual que en HDSL también se pueden lograr submúltiplos de T1 o E1 al utilizar técnicas de reloj en $nx64$ Kbps. Con los continuos avances en el desempeño de los algoritmos de procesamiento y su implementación, procesadores más rápidos y la posibilidad de aplicarlos a las comunicaciones harán que la tecnología HDSL de 4 hilos se vuelva obsoleta en un futuro cercano. Es así que los esquemas de modulación y las tasas de transmisión para los sistemas SDSL aún no han sido oficialmente estandarizados por un órgano regulador. Éstas son las razones por las cuales la comunidad técnica está trabajando en el estándar del HDSL2, el cual puede manejar tasas de transmisión simétricas de 1.5 Mbps sobre un solo par de cobre.

VDSL

Una alternativa para alcanzar altas velocidades de transmisión de datos, es la combinación de cables de fibra óptica alimentando a las unidades ópticas de red ONU en los sectores residenciales y la conexión final a través de la red telefónica de cobre. Esta topología es denominada FTTN.

Una de las tecnologías FTTN disponibles es la VDSL, la cual transmite datos a alta velocidad sobre distancias cortas de pares trenzados de líneas de cobre con un rango de velocidad que depende de la longitud de la línea. La máxima velocidad de transmisión de la red al cliente está entre 51 y 55 Mbps sobre líneas de 300 metros de longitud.

Tabla 3.1 Comparativa de las tecnologías de acceso por cobre

Nombre	Significado	Tasa de Transmisión [Kbps]	Modo	Aplicaciones
V.221 V.32 V.34 V.90,95	Módems en la banda de Voz (Voice Band)	1.2 - 56	Duplex	Comunicaciones de Datos
DSL	Digital Subscriber Line	160	Duplex	ISDN, Voz y Datos
HDSL	High data rate Digital Subscriber Line	1,544 – 42,048	Duplex Duplex	T1/E1, WAN, acceso a redes LAN, Servicio de acceso en general
SDSL	Single Line Digital Subscriber Line	1,544 – 2,048	Duplex Duplex	Igual que el anterior
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	1,500 – 9,000 16 – 640	Down Up	Acceso a Internet , video on demand, video sencillo, acceso remoto a redes LAN, multimedia
VDSL	Very high data rate Digital Subscriber Line	13,000 – 52,000 1,500 – 2,3000	Down Up	Igual a ADSL pero con capacidad para HDTV ²

III.1.1 El ADSL

En esencia, el ADSL no es más que una tecnología que permite, usando la infraestructura telefónica actual, proveer servicios de banda ancha. Algo por lo que está siendo usado por varias compañías alrededor del mundo que actualmente está comenzando a comercializarse en nuestro país.

Anteriormente, las redes telefónicas convencionales fueron diseñadas únicamente para la transmisión de voz. Pero con el tiempo comenzaron a surgir nuevas complicaciones cuando los datos entraron en escena. Es así que tanto voz y datos en forma de bits comenzaron a compartir un canal que, aunque en principio soporta esta convivencia, con el desarrollo de las telecomunicaciones y, sobre todo, con su popularización, simplemente se ha saturado. La inmediata consecuencia de esto es la lentitud con que viajan estos datos.

Fue requerido un dispositivo con mayor velocidad; pensemos en una autopista que de repente, ve multiplicar por cuatro o cinco el número de automóviles que la utilizan ¿Qué

² Formato 9/16 con barrido de 1180 líneas

ocurriría? los coches no podrían ir a gran velocidad debido al exceso de tráfico; la solución más conveniente en este caso sería ampliar los carriles. El ADSL es eso, el carril extra o bien un segundo piso; con la particularidad de que este carril sólo puede ser utilizado por los usuarios más privilegiados, concretamente, los que cuenten con esa tecnología.

Utilizando el cable telefónico normal, la mayor velocidad que se alcanza con el módem más rápido es en teoría, de 56 Kbps. Incluso usando ISDN/RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), la máxima velocidad de transmisión que se logra es de 128 Kbps. Con el ADSL, ésta velocidad puede llegar hasta poco más de 9 Mbps en dirección de la central al usuario (downstream) y 1 Mbps en el sentido opuesto (upstream).

Como puede observarse, la velocidad de penderá del sentido en que viajen los datos. Esta es precisamente una de las características del ADSL, que además le da nombre: su asimetría. Pero esto no es ningún problema, porque el sentido que se usa con más frecuencia es el que va hacia el usuario.

Tal incremento de velocidad se logra por medio de dos módems especiales ubicados a ambos lados de cada línea. Estos aparatos se comunican entre sí abrazando las interferencias propias del cobre y evitándolas cambiando de frecuencia cuando se producen. Para que esto se lleve a cabo, el ADSL exige que la distancia entre ambos módems no deba superar los 18,000 pies (5 Km aprox.), ya que cuanto más largo es el cable de cobre, mayores interferencias serán producidas.

Otra de las principales características del ADSL es que no hay que efectuar una llamada para que se active, porque lo hace automáticamente, ya que siempre permanece activo o disponible; al no estar basado en un sistema de circuitos como la Red Pública Telefónica Conmutada o PSTN.

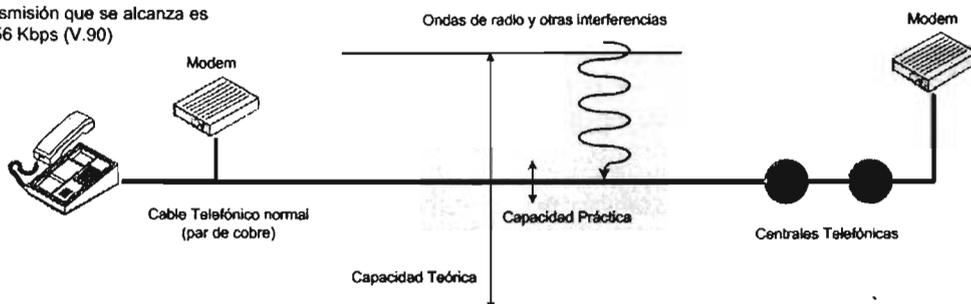
Esto significa que se puede comercializar; no por el tiempo que se use o las llamadas que sean necesarias para establecer la conexión (línea telefónica normal), sino por los servicios contratados; esto es, la tarifa plana para el acceso a Internet. El ADSL eliminaría el argumento de la incompatibilidad entre la red telefónica actual y la tarifa plana. Un ejemplo muy ilustrativo es la televisión digital: no se cobra por el tiempo de uso sino por los canales contratados que, mediante una cuota fija, se pueden consumir el tiempo que se desee.

Dos ventajas más a favor del ADSL es que no requiere un cambio de instalación de la línea del usuario, basta con cambiar el módem. Por otro lado también permite separar el tránsito simultáneo de voz y datos, de manera que esto se pueda reflejar en la factura de consumo.

La figura 3.1 muestra la diferencia en el modo de transmisión de datos entre la tecnología ADSL y la línea telefónica convencional.

Línea Telefónica Convencional

La máxima velocidad de transmisión que se alcanza es de 56 Kbps (V.90)



Tecnología ADSL

Máxima velocidad de transmisión: 8Mbps
Máxima velocidad de Recepción: 1Mbps

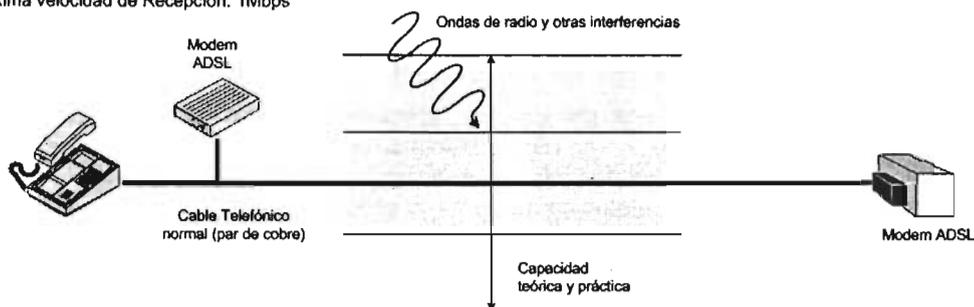


Figura 3.1 Diferencia entre el ADSL y la línea telefónica

III.1.1.1 Características del ADSL

El ADSL es una tecnología de módem que transforma las líneas telefónicas o el par del abonado en líneas de alta velocidad que pueden ser utilizadas para acceso a Internet, teletrabajo y aplicaciones multimedia e interactivas como juegos en red, video bajo demanda (VOD), videocatálogos, etc. Basado en dicha tecnología el servicio ADSL le proporciona unas velocidades de acceso revolucionarias respecto a la de los módems convencionales. Están disponibles tres modalidades de acceso según la velocidad que se desee contratar. Observémoslas en el siguiente cuadro:

Tabla 3.2 Modos de Acceso ADSL

Modalidad	Velocidad [Kbps]
256	256/128
512	512/256
2000	2048/512

Ventajas para el cliente

Alta velocidad

Como podemos ver en el Tabla 3.3 el ADSL en su modo de menor velocidad supera por mucho a un módem de 56 Kbps. Esto es en teoría, sin embargo la realidad es muy diferente, ya que la velocidad que se llega a alcanzar con un módem de este tipo es de alrededor de 40 Kbps.

Tabla 3.3 Comparativa de velocidad con un módem de 28 Kbps

Módem 56 Kbps (normas V.90,95)	2 veces más rápido
ADSL 256	9 veces más rápido
ADSL 512	18 veces más rápido
ADSL 2000	71 veces más rápido

Simultaneidad con el uso telefónico habitual

El ADSL al usuario le permite utilizar de forma simultánea su línea telefónica tanto para comunicaciones de voz y fax, como para conectarse a Internet. Por lo tanto, se pueden realizar o recibir llamadas telefónicas mientras se está navegando por Internet; sin necesidad de ninguna línea telefónica adicional, ni complemento de software alguno.

Conexión permanente

Con el ADSL no hay que esperar tiempos de conexión ni llamadas fallidas, pues el servicio está siempre activo, esperando para ser usado, no es necesaria la marcación, el módem de usuario está permanentemente conectado con el módem de central y el usuario tiene disponible el acceso 24 horas al día.

Tarifa plana

La conexión permanente ofrecida por el servicio ADSL disfruta de una Tarifa Plana, es decir, es independiente del número de horas que el usuario pase navegando.

Ancho de banda dedicado

El ancho de banda que se ofrece en el sentido red-usuario y usuario-red no es compartido, sino que cada usuario disfrutará de un ancho de banda dedicado en el acceso. Cuando el acceso es compartido, como ocurre en otras tecnologías, las prestaciones se degradan a medida que el número de usuarios que acceden simultáneamente sobre ese medio compartido aumenta, cuestión que no ocurre en ADSL donde el ancho de banda en el acceso es proporcionado a cada usuario en exclusividad.

Aplicaciones

Acceso a Internet a alta velocidad

En Internet están apareciendo nuevas aplicaciones que necesitan permanentemente más velocidad, algunas de éstas son:

- Navegación por sitios Web multimedia con gran contenido de gráficos y movimiento.
- Audio y video en tiempo real.
- Información bajo demanda.
- Actualización de versiones software.
- Catálogo y librerías multimedia.
- Videoconferencia.
- Juegos multiusuario en red.
- Difusión de acontecimientos deportivos, musicales o socioculturales.
- Difusión de información de noticias, económico/financieras, deportivas, etc.
- Visitas virtuales por museos, tiendas, inmobiliarias, etc.

Teletrabajo

Entre los beneficios que aporta el teletrabajo tanto a los propios trabajadores como a las empresas para las cuales trabajan podemos citar:

- Flexibilidad para trabajar a cualquier hora según necesidades o preferencias
- Incremento de la productividad. Eliminación de horas no productivas en cuestión de transporte y jornadas partidas
- Reducción de costos por reducción de espacio en las oficinas
- Mayor satisfacción del trabajador. Pues tanto éste como la sociedad en general, están cada día más preocupados por mejorar su relación familiar, su alimentación, o su contacto con la naturaleza.

Educación a distancia

La formación a través de Internet está dando un nuevo impulso a la educación a distancia. La utilización de la tecnología Web, el desarrollo de la distribución y difusión de audio y video que permita mantener aulas virtuales en tiempo real, la posibilidad de compartir documentos y el trabajo en grupo; todas estas nuevas herramientas facilitan la implantación de la teleformación. Como se puede apreciar, todas estas aplicaciones requieren disponer de un importante ancho de banda, por lo tanto es necesario disponer de comunicaciones rápidas y fiables. Estas necesidades de comunicaciones son perfectamente cubiertas por ADSL.

III.1.1.2 Arquitectura ADSL

Modelo de Referencia del ADSL Forum

El foro del ADSL desarrolla las pautas técnicas para las arquitecturas, los interfaces, y los protocolos para las redes de telecomunicaciones que incorporan transmisores y receptores ADSL. El diagrama de la red correspondiente a la Figura 2, describe los elementos de la red incorporados en comunicaciones multimedia, demuestra el alcance del trabajo del foro y lo sugiere como un grupo de configuraciones ADSL.

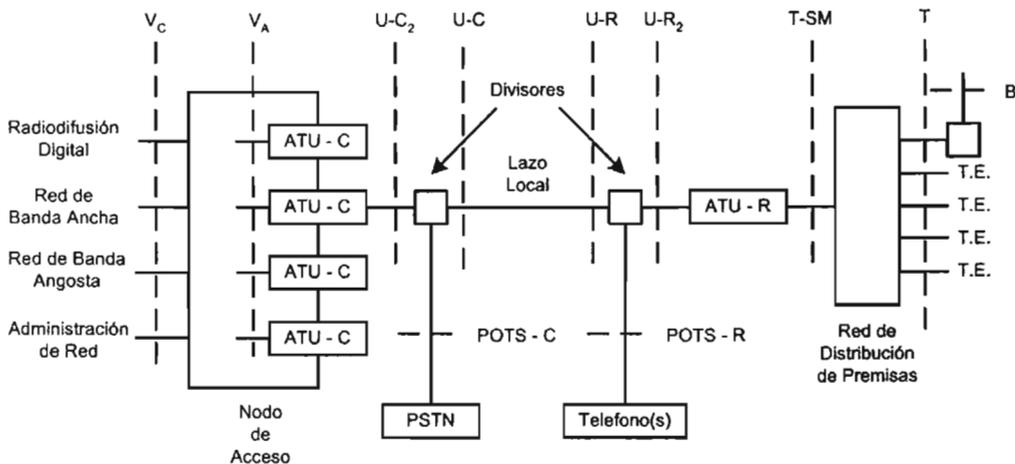


Figura 3.2. Modelo de Referencia del ADSL Forum

Los elementos de la figura 2 se explican como sigue:

ATU-C: Unidad de transmisión ADSL al final de la red. La ATU-C tiene que estar integrada dentro del nodo de acceso.

ATU-R: Unidad de transmisión ADSL al final de las premisas del usuario; ésta tiene que estar integrada dentro del módulo de servicio.

B: Entrada de Datos Auxiliar (como una conexión satelital) al módulo de servicio (como una Set Top box).

Divisor: Filtros, los cuales separan señales de alta frecuencia (ADSL) y de baja frecuencia (POTS) tanto al final de la red como al de las premisas. El divisor puede estar integrado en la ATU, físicamente separado de la ATU, o bien, dividido entre paso altas y paso bajas, con la función de paso bajas físicamente separada de la ATU. La implementación de divisores de POTS o funciones relacionadas a éste es opcional.

Lazo Local: Par de cobre de la línea telefónica. Los lazos pueden diferir en distancia, diámetro, antigüedad y características de transmisión dependiendo de la red.

Nodo de Acceso: Punto de concentración para los datos de banda ancha y los de banda angosta. Se debe encontrar en la oficina central o en algún sitio remoto. Además, un nodo de acceso remoto debe de ser una extensión un nodo de acceso central.

POTS: Plain Old Telephone Service – Antiguo Servicio Telefónico Plano.

POTS-C: Interfase entre el los divisores PSTN y POTS y el final de la red.

POTS-R: Interfase entre los teléfonos y los divisores POTS al final de las premisas.

PSTN: Public Switched Telephone Network – Red Pública Telefónica Conmutada.

Radiodifusión: Entrada de datos en modo simple (típicamente una señal de video).

Red de Banda Ancha: Sistema de conmutación para tasas de transmisión por arriba de 1.5/2.0 Mbps.

Red de Banda Angosta: (Red de Banda Angosta) Sistema de conmutación para tasas de transmisión por abajo de 1.5/2.0 Mbps.

Red de Distribución de Premisas: Sistema para conectar la ATU-R al Módulo de Servicio. Puede ser punto a punto o multipunto; puede ser cableado pasivo o bien una red activa. Para el caso de multipunto, este puede ser un bus o bien una estrella.

SM: Service Module – Módulo de servicio: Desempeña funciones de adaptación terminal. Algunos ejemplos son: set top boxes, Interfaces PC o ruteadores LAN.

T-SM: Interfase entre la ATU-R y la red de distribución de premisas. Puede ser igual a T cuando la red es un cableado pasivo punto a punto. Un ATU-R puede tener más de un tipo de interfase T-SM implementada (ejemplo, una conexión T1/E1 y una conexión Ethernet). La interfase T-SM puede estar integrada dentro del módulo de servicio.

T: Interfase entre la red de distribución de premisas y los módulos de servicio. Puede ser igual a la T-SM cuando la red es un cableado pasivo punto a punto. Hay que notar que la interfase T puede desaparecer del nivel físico cuando la ATU-R esta integrada dentro del módulo de servicio.

U-C: Interfase entre el lazo local y el divisor POTS del lado de la red. Definiendo ambas terminaciones de la interfase del lazo como aristas separadas, debido a la asimetría de las señales en la línea.

U-C2: Interfase entre el divisor POTS y la ATU-C. Hay que notar que la presente norma ANSI T1.413 no lo define como una interfase y al separar el divisor de POTS de la ATU-C se presentan algunas dificultades técnicas para estandarizar la interfase.

U-R: Interfase entre el lazo local y el divisor POTS del lado de las premisas.

U-R2: Interfase entre el divisor POTS y la ATU-R. Hay que notar que la presente norma ANSI T1.413 no lo define como una interfase y al separar el divisor de POTS de la ATU-R se presentan algunas dificultades técnicas para estandarizar la interfase.

VA: Interfase lógica entre la ATU-C y el nodo de acceso. Como esta interfase podría estar dentro de circuitos en una tarjeta común, el ADSL forum no considera interfases VA físicas. La interfase V puede llevar módulos de transferencia STM (síncrona), ATM (asíncrona) o ambos. En los casos más primitivos de conexiones punto a punto entre el puerto de un conmutador y una ATU-C. (Esto es, en un caso sin concentración o multicanalización), entonces las interfases VA y VC tienden a ser idénticas (alternativamente la interfase VA desaparece).

VC: Interfase entre el nodo de acceso y la red. Se pueden tener múltiples conexiones físicas como se muestra en la figura 3 a pesar de que todas las señales se pueden llevar sobre una sola conexión física. Una portadora digital, por ejemplo, una extensión SONET o SDH, se puede interponer entre la interfase VC cuando el nodo de acceso y las ATU-Cs se localizan en un sitio remoto. La interfase hacia la PSTN puede ser una interfase universal tip-ring o una interfase telefónica multicanalizada como la especificada en Bellcore TR-08 o TR-303. El segmento de banda ancha de la interfase VC puede ser conmutación STM, conmutación ATM, o conexiones del tipo de líneas privadas.

III.1.1.3 Arquitectura de provisión de servicios extremo a extremo de banda ancha sobre ADSL

Modelo end-to-end sobre ADSL

Antes de explicar el modelo de referencia específico end-to-end en sistemas basados en el ADSL. Será necesario observar su arquitectura

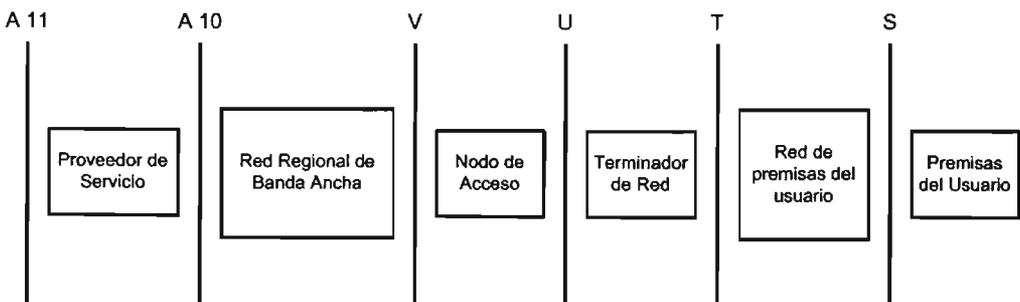


Figura 3.3 Modelo end-to-end sobre ADSL

Esta arquitectura de red por convenio puede descomponerse en diferentes subredes:

- Red de premisas del usuario (Customer Premise Network).
- Red de acceso (Access Network).
- Red regional de banda ancha (Regional Broadband Network).
- Red del proveedor de servicios (Service Provider Network).

Como podemos ver en el siguiente ejemplo:

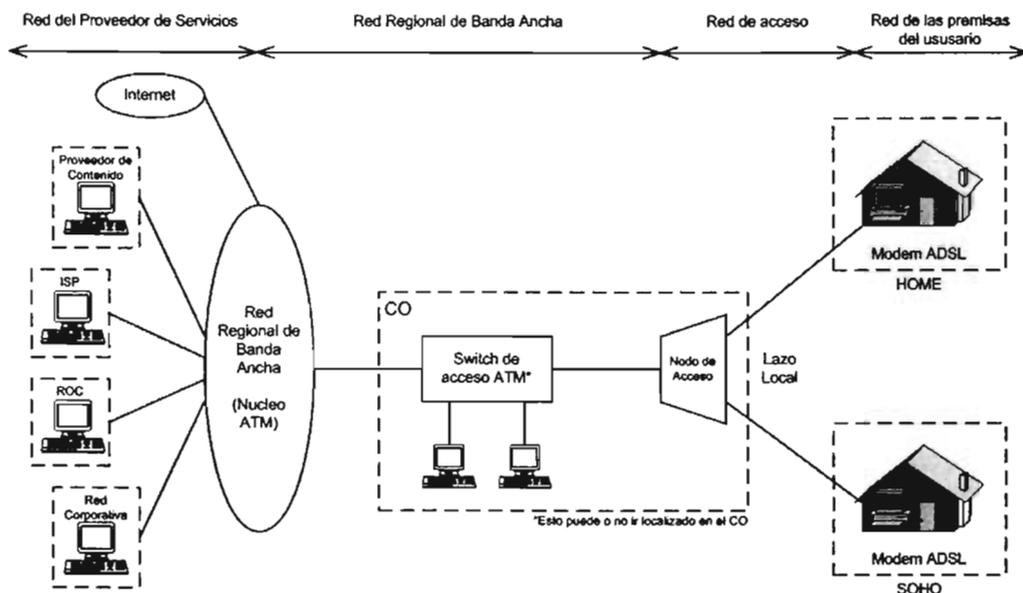


Figura 3.4. Modelo end-to-end sobre ADSL en Bloques

Usuarios

Como usuarios entendemos residencias, hogares o pequeñas oficinas, que pueden contener uno o más terminales (PC's, estaciones de trabajo, servidores, etc.) posiblemente conectados a una red de usuarios.

El usuario puede encontrarse en lugares muy diversos, tales como su casa, en grandes oficinas o pequeñas oficinas de negocios. El módem ADSL (o G.Lite) que se encuentra en las dependencias del consumidor se conoce como la ATU-R, y es donde termina la capa física del bucle digital de abonado (DSL). La ATU-R puede ofrecer funciones correspondientes a capas superiores, tales como la adaptación de ADSL a la configuración que tenga cada abonado (LANs, tarjeta de PC, etc.). Si hay más de un PC formando una red de área local, todos comparten una misma puerta de acceso, que puede ser un hardware dedicado (módem DSL o un router) o un PC actuando como router o servidor. Un PC o un router tienen dos tarjetas de red (NIC: Network Interface Card), una para conectarse al módem ADSL (o ser utilizada como tal) y la otra para la

red de área local que puede trabajar a través de línea telefónica, cable o radiofrecuencia.

Red de acceso

Contiene tanto los modems ADSL del sistema de usuario y el sistema de acceso multiplexado conectado a la central local. Las funciones del nodo y la conexión de acceso son:

- Proporcionar concentración en un puerto físico.
- Proporcionar concentración de ancho de banda.
- Proporcionar un puerto lógico para funciones de servicio de interconexión.
- Posibilidad de ofrecer servicios diferenciados en la red.

La red de acceso de ADSL comunica el módem con el sistema de multiplexado de la central local. El módem de la central local o ATU-C es donde termina la capa física del bucle digital de abonado. El sistema de multiplexado y el módem ADSL de la central local están habitualmente integrados en una única unidad llamada DSLAM (DSL Access Multiplexer) o nodo de acceso. Es importante concentrar tantas líneas de abonado como sea posible en una misma interfaz de red, ya que el acceso a una red de área extendida (WAN) es muy caro. Un sistema de multiplexado que proporcione un alto grado de concentración y que a la vez garantice una calidad de servicio (QoS) negociada individualmente constituirá una pieza clave para los operadores de red, ya que permitirá ofrecer servicios muy diferentes con un costo razonable.

Para ATM sobre DSL, el DSLAM actúa como un multicanalizador de ATM. Para proveer un mecanismo estándar que soporte conmutación de circuitos virtuales (SVC), el DSLAM adaptará la señalización ATM a cada usuario de ADSL y generará una única interfaz usuario-red (UNI).

Para los sistemas G.Lite la ATU-C se puede integrar en la central local de POTS, mediante la ampliación de la tarjeta de cada línea de voz sustituyéndola por una tarjeta de módem G.Lite y voz (con un splitter interno). En este caso, no hay un DSLAM separado, ya que los dos servicios se integran en un mismo conmutador.

Red regional de banda ancha

La red regional de banda ancha interconecta centrales locales en un área geográfica. Su función es combinar transporte y conexión.

Una red de banda ancha regional, típicamente basada sobre red óptica síncrona (SONET/ EEUU o SDH/Europa) para el transporte interconecta las centrales oficiales en un área geográfica. La ATM está siendo implementada sobre dicha infraestructura para proveer conectividad entre las distintas centrales locales.

La red de los proveedores de servicios incluye los puntos de presencia de los ISPs, las redes de los proveedores de contenidos y las redes corporativas. Un punto de presencia de un ISP conecta a Internet, y provee servicios tales como e-mail o web hosting (hospedaje de páginas web). Un proveedor de contenidos es un servidor que distribuye servicios como video o audio bajo demanda. Las redes corporativas están conectadas a la red regional de banda ancha para permitir el acceso remoto desde casa u oficinas sucursales. El operador de acceso a la red utiliza el ROC (Regional Operation Center) para gestionar toda la red de acceso y posibilitar la provisión de servicios de valor agregado.

Red del proveedor de servicio

La red del proveedor incluye un ISP POPs para conexiones a Internet y proporcionar ISP servicios, como e-mail y Web hosting, incorpora redes y el centro de operaciones regional (ROC). El ROC es un operador de acceso a red que maneja la red global de acceso, proporcionando servicios de valor agregado.

Requisitos del servicio end-to-end

Los requisitos de los servicios de banda ancha pueden ser clasificados en: requisitos de configuraciones de acceso y requisitos funcionales.

Configuraciones de acceso

Para un desarrollo con éxito del ADSL, el proveedor de acceso debe dar soporte a las siguientes configuraciones: Internet, redes de corporaciones, contenidos locales y conectividad punto a punto. Estas redes ya existían antiguamente utilizando tecnología LAN o de paquetes. Podemos ver las configuraciones de acceso en la siguiente figura:

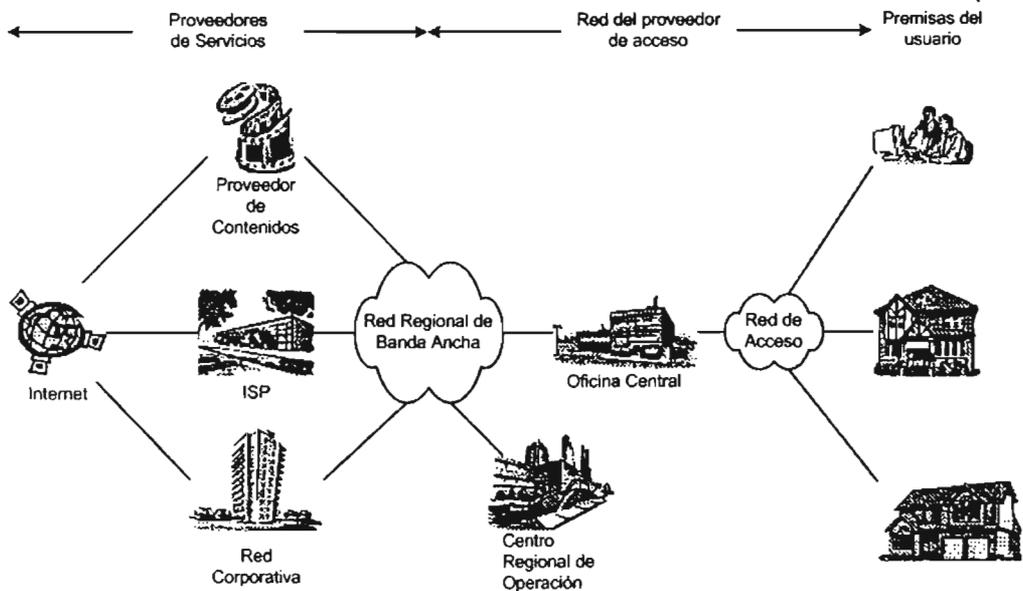


Figura 3.5. Modelo end-to-end sobre ADSL

Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales del sistema son:

- El sistema debe tener la habilidad de transportar y distinguir entre uno o más protocolos.
- El sistema podría proporcionar conexiones a servicios simultáneos.
- El sistema debería tener una clase de servicio múltiple simultáneo.

III.1.1.4 Esquema del módem ADSL

Hay varios factores que permiten a los modems DSL conseguir velocidades de transmisión mayores que las de los modems tradicionales (V.xx).

- Un par de modems analógicos se comunican a través de la red de telefonía pública conmutada (PTSN) con lo que las entidades comunicantes pueden estar emplazadas a distancia arbitrariamente elevadas. En cambio, los modems DSL están diseñados para trabajar desde el usuario a la central local (CO), lo que limita la distancia de la comunicación a unos 4-6 [Km] como máximo.
- La señal del módem analógico está limitada al ancho de banda que se utiliza en las conversaciones telefónicas (300-3400 Hz.) ya que ha de adaptarse a su red

de transporte. Por contra, los modems DSL pueden utilizar un ancho de banda mucho mayor (1Mhz o incluso más) al operar únicamente en el bucle de abonado, que es una línea dedicada a la comunicación.

- Los modems DSL se aprovechan de los últimos avances en el procesado de la señal y en los circuitos CMOS VLSI (Very Large Scale of Integration). De este modo, se consigue adaptar dinámicamente la transmisión a las características individuales del bucle de abonado optimizando la velocidad de transmisión.

Por otro lado, existen gran variedad de tecnologías DSL. Centraremos nuestro estudio básicamente, por ahora, en ADSL y G.Lite.

ADSL basado en el estándar T1.413 de la ANSI puede trabajar a una velocidad de 8 Mbps en el enlace de bajada (red - usuario) y 1.5 Mbps en el enlace de subida (usuario - red) para distancias de 3-4 Km. Para distancias de 6 Km aproximadamente las velocidades que se pueden conseguir son de 1.5 Mbps de bajada y 64 Kbps de subida.

Como ADSL utiliza las bandas de frecuencia que se encuentran por encima de las utilizadas por el sistema telefónico tradicional, es capaz de transportar voz y datos simultáneamente sobre el mismo medio físico. Esto representa una gran ventaja ya que el usuario no necesita otra interfase de red, además puede mantener una conversación telefónica y un acceso a Internet simultáneamente.

Diseño de un módem ADSL

Un esquema detallado de un módem DMT es:

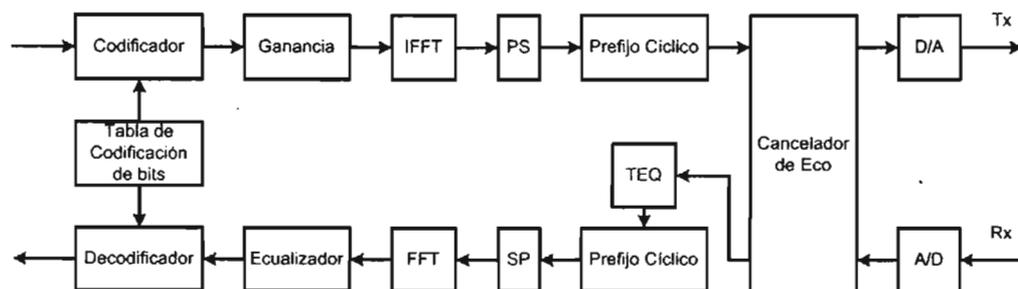


Figura 3.6. Esquema de un MODEM DMT

Codificador/decodificador

Este bloque toma el flujo de bits y los codifica en N símbolos de la constelación QAM. Esta codificación se hace de acuerdo a una tabla de codificación de bits que define el número de bits transmitidos en cada tono, dependiendo de la SNR para ese canal. Claramente, una SNR alta permitirá transportar más bits que una SNR baja, y por ello la

tabla de codificación de bits refleja la variación de la SNR en función de la frecuencia. Un ejemplo de esto sería:

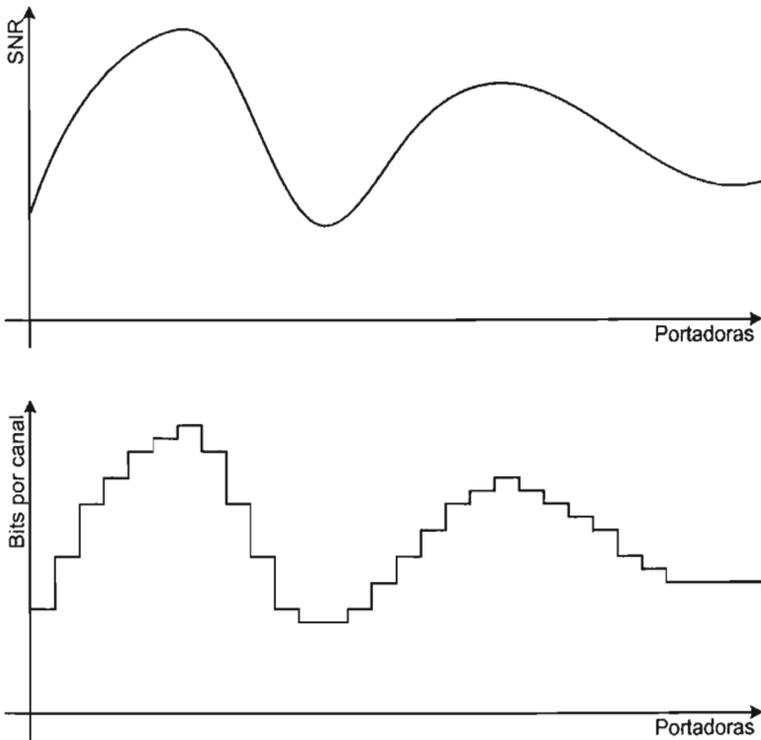


Figura 3.7 Codificación de bits por canal de acuerdo a la SNR

La tabla de codificación de bits es calculada durante la inicialización de la conexión, de acuerdo con la SNR real medida para permitir un óptimo uso de la capacidad del canal. La carga de cada canal está limitada de 2 a 15 bits por tono.

Cuando queremos servir al usuario con una tasa de bit específica, colocamos los bits en cada una de las portadoras (teniendo en cuenta la tabla) de tal manera que la suma de los bits en todos los canales sumen la tasa deseada y la probabilidad de error en cada portadora sea más o menos la misma. Cuando queremos servir al usuario a la tasa máxima, colocamos el máximo número de bits permitidos por la tabla para que no tengamos errores en cada uno de los canales, basado en la medida del SNR en cada canal. Este método se utiliza de un modo de adaptación, es decir, se va midiendo constantemente la SNR y cada cierto tiempo se señalizan estos datos entre el usuario (ATU-R) y el módem de la central telefónica (ATU-C).

De esta manera, los usuarios que vivan cerca de la central telefónica tendrán una SNR mejor y podrán conseguir velocidades de transmisión más elevadas que aquellos que vivan lejos de la central y tienen, por tanto, una SNR peor.

Ganancia

Este bloque implementa las siguientes funciones:

- Normalizar todas las constelaciones a una unidad constante de potencia. Una constelación con más bits transportados necesita más potencia.
- Compensación de las interferencias FEXT.
- Ecuación fina de la BER través de los distintos canales, mediante ajuste de ganancia en cada uno de ellos.

Prefijo cíclico

Cada símbolo tiene un prefijo de longitud $1/16$ de símbolo. Sirve para separar en tiempo los símbolos y poder disminuir la interferencia intersimbólica (ISI). Cuando la señal pasa a través de la línea, se convoluciona linealmente con la respuesta al impulso de la misma. Si la respuesta al impulso es más corta que la duración del prefijo cíclico, cada símbolo puede ser procesado por separado, y no habrá interferencia intersimbólica. Esto sirve para que al hacer la FFT en recepción tengamos mayor ortogonalidad entre las portadoras.

Cancelador de eco

Para soportar canales bidireccionales en un solo par de hilos, se debe utilizar el cancelador de ecos cuando hay un solapamiento de frecuencias entre el canal de bajada y el de subida. Es útil solapar estos dos canales porque en el canal de bajada, que es el que reside en las altas frecuencias y el que transporta mayor flujo de datos, puede soportar mejor su tasa si utilizamos el margen de separación que existe inicialmente entre ambos. Este margen de separación se encuentra a bajas frecuencias, que presentan una atenuación menor que a altas frecuencias, y por tanto pueden soportar un mayor flujo de bits.

La cancelación de eco se consigue generando una réplica exacta de la señal transmitida que incide sobre el receptor. Una vez restadas estas dos señales, la señal recibida puede ser procesada como si sólo se hubiera sido introducido ruido por el canal. En ADSL, se debe de tener en cuenta también la asimetría de la transmisión, y por lo tanto, la diferente tasa de transmisión en los dos canales. Todo esto se puede implementar mediante técnicas de filtrado de multi-tasa.

Ecualizador de tiempo (TEQ)

Es un filtro lineal diseñado para minimizar la interferencia intersimbólica y cocanal. Esto se consigue encogiendo la respuesta al impulso total de la línea hasta la longitud del prefijo cíclico. De esta manera, cada uno de los símbolos dejará de interferir con el siguiente y la ISI quedará eliminada.

Ecualizador de frecuencia (FEQ)

La línea de cobre distorsiona la amplitud y la fase de la señal, y esta distorsión es diferente para cada una de las portadoras. El ecualizador se encarga de corregir esta atenuación y desplazamiento de fase. El FEQ rota la constelación recibida en cada tono por compensación de fase e incrementa la amplitud recibida para corregir la atenuación del bucle de abonado.

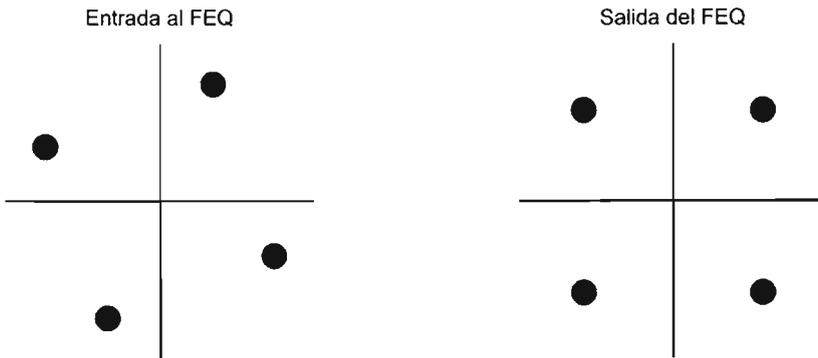


Figura 3.8. Entrada y salida del ecualizador de frecuencia

Filtro POTS (splitter)

Los módems ADSL incluyen usualmente, dependiendo del estándar utilizado, un filtro separador del canal telefónico vocal y los canales ADSL. Así se consigue el acceso simultáneo al servicio de telefonía vocal y a la transferencia de datos a alta velocidad. Algunos fabricantes proveen splitters POTS activos, que permiten simultáneamente teléfono y accesos de datos; no obstante, si hay un fallo de potencia o el módem falla, el teléfono lo hará también. Un splitter POTS pasivo permite mantener el acceso telefónico aunque el módem falle, ya que el teléfono no se alimenta con electricidad externa. El acceso telefónico en el caso de un splitter POTS pasivo continúa siendo un canal analógico de voz, el mismo que los usuarios reciben actualmente en sus casas.

El splitter es un dispositivo de tres puertos, que permite que las señales telefónicas y las ADSL viajen en el mismo hilo de cobre, sin interferir la una con la otra. La señal telefónica está localizada en la parte baja del espectro. Todas señales ADSL residen en las altas frecuencias, empezando aproximadamente en los 25 KHz o más. El splitter

dispone de un filtro paso bajo entre la línea de cobre y el nodo telefónico y un filtro paso alto entre la línea y el módem ADSL, de tal modo que entre el nodo ADSL y el nodo telefónico el splitter atenúa todas las señales.

Uno de los principales puntos que se deben tener en cuenta cuando se diseña el filtro es bloquear el ruido impulsivo proveniente de la línea telefónica o de los conmutadores de la central. Algunos de los impulsos más nocivos son generados por la señal de timbre. El filtro también bloquea las señales provenientes de ADSL hacia la banda de frecuencias del teléfono, reduciendo la calidad del servicio vocal POTS.

La impedancia de los cables telefónicos varía significativamente entre diferentes líneas. Ésta presenta una fuerte dependencia con la longitud y la sección del cable, y también del mismo teléfono cuando la línea es corta. La suma del filtro de la central telefónica y el del hogar no es trivial, especialmente cuando intentamos ajustar un diseño a todos los casos. Las pérdidas de retorno causadas por el eco, que afectan la calidad de servicio de la banda vocal, no pueden ser comprometidas.

La mayoría de los diseños de splitter son pasivos. Las ventajas del filtrado pasivo están en su fiabilidad, no requieren alimentación y su mayor protección ante interferencias eléctricas que se puedan acoplar a la línea. En algunos países, debido a las características técnicas del bucle de abonado, se requieren filtros activos.

La tecnología ADSL mide la atenuación y la potencia de ruido en cada portadora. Esto se hace para medir y monitorizar la relación señal ruido en cada tono. Podemos ver que sin complejidad extra, tenemos un analizador de espectros que opera continuamente midiendo la señal y el ruido. Como no utilizamos ventanas extra (Barlett, Hamming, etc.) en nuestro procesado FFT, el analizador de espectros presenta unos grandes lóbulos laterales, pero esta solución es suficientemente buena en el típico escenario sobre línea de cobre. Esta capacidad puede ser utilizada para grabar e informar sobre las condiciones de ruido del bucle. Al ser analizadas estas informaciones por el operador (para el que son extremadamente útiles), de tal modo que podemos identificar fuentes de interferencia, planificar la calidad de los bucles y continuamente reducir el costo de instalación de los modems ADSL.

III.1.1.5 El sistema G.Lite

Motivación

Uno de los mayores inconvenientes para la implantación a gran escala del servicio de ADSL, es la necesidad de instalar en casa del usuario un splitter que separe la señal telefónica (POTS) del nuevo servicio de datos, con lo que sería necesario un técnico de la operadora para realizar la instalación.

El modelo ideal del módem ADSL conllevaría que el usuario pudiera comprarlo e instalarlo él mismo, tal y como ocurre con los módems analógicos. Esto motivó el desarrollo de una nueva versión de la ADSL que no necesita splitter para funcionar. El

estándar de ADSL sin splitter (splitterless) se conoce como ADSL universal (UADSL), y se reguló en el ITU-T de Octubre de 1998 en la especificación G.992.2, conocida como G.Lite.

Requisitos de G.LITE

Para conseguir llegar al máximo número de usuarios y una rápida implantación, el diseño de G.Lite debe cumplir los siguientes requisitos:

No sólo debe funcionar sin splitter a una tasa razonable sino que además ha de funcionar para distancias de hasta 6 Km aproximadamente para conseguir la máxima cobertura posible; además, el módem ha de ser más barato que el utilizado en la versión completa de ADSL.

Características de G.LITE

El G.Lite se parece a la ADSL en que es de tasa adaptiva. De todas formas, el G.Lite no tiene splitter para prevenir la interferencia entre los dispositivos del servicio telefónico tradicional (teléfono, fax, módem analógico) y los modems G.Lite. Las velocidades de transmisión alcanzables dependen no sólo de la longitud del bucle de abonado, sino que también dependen de las condiciones del cableado interno del abonado así como de los dispositivos del servicio telefónico tradicional. Suponiendo condiciones favorables, en caso del abonado y en su bucle se pueden conseguir tasas de 1.5 Mbps en sentido red - usuario y 512 Kbps en el sentido usuario - red, para una longitud del bucle de abonado de 6 Km.

Para evitar las interferencias del módem G.Lite sobre los dispositivos del sistema telefónico tradicional (a partir de ahora POTS) el módem G.Lite reducirá su potencia tan pronto como detecte un dispositivos POTS en funcionamiento. Esta disminución de potencia conlleva un descenso de la velocidad de transmisión soportada por el sistema. Este descenso depende del nivel de interferencia con el dispositivo POTS en cuestión. Por ello nos recomienda ofrecer servicios de tasa garantizada haciendo uso de modems G.Lite.

El procedimiento de reducción drástica de tasa tiene como resultado una interrupción (no hay transmisión de datos) de unos 1.5 segundos, hasta que se adopta la nueva tasa. Esto se lleva a cabo cada vez que se cuelga o descuelga algún elemento de POTS. Después se recupera la tasa de transmisión habitual. Todo esto tiene implicaciones en los niveles superiores de la arquitectura de los protocolos utilizados para la provisión de servicios.

El sistema G.Lite vs otros sistemas xDSL

Tabla 3.4. Comparación del sistema G.lite con otros sistemas DSL

Acrónimo	Standard	Pares de cobre	Modulación	Tasa de Transmisión (Mbps)	Modo	Distancia máxima	Aplicaciones	Uso de divisor
HDSL	G.991.1	1-3	2B1Q/CAP	1.544 - 2.048	Simétrico	≤ 5 Km; ≤ 12 Km con repetidores	Acceso T1 o E1	No
HDSL	T1E1.4 Techreport 28	2	2B1Q/CAP	1.544 - 2.048	Simétrico	5 Km; 12 Km con repetidores	Acceso T1 o E1	No
SDSL	G.shdsl	1	TC-PAM	0.192 - 2.32	Simétrico	2 Km a la máx. vel. de transmisión	LAN, WAN y acceso para servidores	No
SDSL	T1E1.4 HDSL2	1	TC-PAM	1.544 - 2.048	Simétrico	5 Km	LAN, WAN y acceso a servidores	No
ADSL	G.992.1	1	DMT	Bajada ≤ 6.144 Subida ≤ 0.640	Asimétrico	3.6 Km a la máx. vel. de transmisión	Acceso a Internet, video bajo demanda, video simple, acceso LAN, multimedia interactivo	A la entrada
ADSL	T1.413 Issue 2	1	DMT	Bajada: 6.144 Subida: 0.640	Asimétrico	3.6 Km a la máx. vel. de transmisión	Acceso a Internet, video bajo demanda, video simple, acceso LAN, multimedia interactivo	A la entrada
ADSL Lite	G.992.2 G.Lite	1	DMT	Bajada: 1.5 Subida: 0.512	Asimétrico	Servicio de mejor esfuerzo	Acceso a Internet	No, pero se usa un micro filtro a la entrada
VDSL	G.vdsl	1	No disponible	26 ó 52	Simétrico o Asimétrico	300 m a la máx. vel. de transmisión	Como ADSL, y además HDTV	No decidido

III.1.2 VDSL

Una alternativa para alcanzar altas velocidades de transmisión de datos, es la combinación de cables de fibra óptica alimentando a las unidades ópticas de red ONU en los sectores residenciales y la conexión final a través de la red telefónica de cobre. Esta topología es denominada FTTN.

Una de las tecnologías FTTN disponibles es VDSL, la cual transmite datos a alta velocidad sobre distancias cortas de pares trenzados de líneas de cobre con un rango de velocidad que depende de la longitud de la línea. La máxima velocidad de transmisión de la red al cliente está entre 51 y 55 Mbps sobre líneas de 300 metros de longitud. Las velocidades del cliente a la red son similares a las obtenidas con ADSL, desde 1,6 a 2,3 Mbps.

En la figura 10 se presenta un gráfico que permite visualizar la idea básica de la tecnología VDSL.

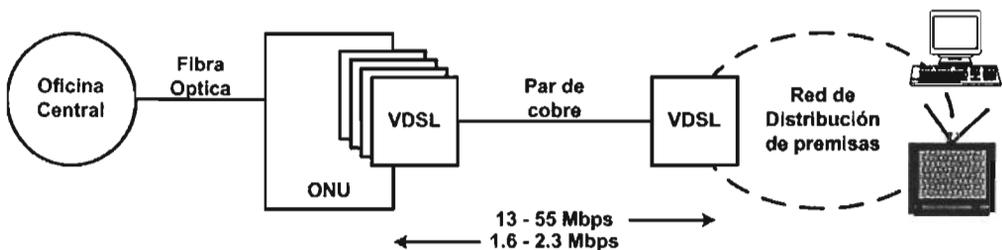


Figura 3.9. Diagrama conceptual del VDSL

Aunque el estándar VDSL aún no ha sido concluido, se estima que esta tecnología proporcionará "la última milla" en las conexiones desde la red de fibra óptica y los clientes. Las velocidades (desde la red al cliente) proyectadas alcanzarán 1/12, 1/6 y 1/3 de la tasa de transmisión de un STM-1 (155.52 Mbps). En el cuadro 5 se pueden observar las velocidades (de la red al cliente) que alcanza VDSL de acuerdo con la distancia de las líneas.

Tabla 3.5. Tasa de transmisión con relación a la distancia

Longitud [m]	Velocidad [Mbps]
1500	12.96 - 13.8
1000	25.92 - 27.6
300	51.84 - 55.2

Al igual que la ADSL, el VDSL puede transmitir video comprimido, una señal en tiempo real nada común en los esquemas de retransmisión de error usados en las comunicaciones de datos. Para lograr una tasa de error compatible con video comprimido, el VDSL tendrá que incorporar la Corrección de Errores hacia adelante (FEC) lo suficientemente intercalado para corregir todos los errores creados debido al ruido con alguna duración específica.

Los datos en la dirección de la red al cliente serán emitidos a cada equipo local del cliente CPE y transmitidos a puertos lógicamente separados que distribuyen los datos a la dirección CPE que se desea acceder utilizando TDM.

La multicanalización en la dirección del cliente a la red es más difícil. Los sistemas que utilizan terminaciones de red pasivas NT deben insertar datos al medio compartido mediante el TDMA o por FDM. Los sistemas que utilizan terminaciones de red activas transfieren los datos (del cliente a la red) a un puerto lógicamente separado que usaría protocolos Ethernet o ATM para realizar el multiplexaje.

La migración y las consideraciones del inventario dictadas por las unidades de VDSL establecen que pueden operar a varias velocidades con el reconocimiento automático de un dispositivo recientemente conectado a una línea o un cambio en velocidad. Las interfaces de la red pasivas necesitan tener inserción caliente, donde un nuevo VDSL establece como premisas que la unidad puede ponerse en la línea sin interferir con el funcionamiento de otros módems.

La tecnología VDSL tiene un grado alto de parecido con la ADSL, aunque esta última debe enfrentar rangos dinámicos mucho más grandes y como resultado, es considerablemente más compleja. VDSL es más bajo en costo y en poder, y las unidades de VDSL locales pueden llegar a implementar un control de acceso al medio en un nivel físico, mediante el multiplexaje de los datos en la dirección del cliente a la red.

Es importante considerar los siguientes aspectos para relacionados con la tecnología VDSL: los posibles códigos de línea, el control del error FEC, la separación de canal y el multiplexaje en la dirección del cliente a la red.

III.1.2.1 Posibles códigos de línea

CAP (Carrierless AM/PM)

El sistema sin portadora AM/PM, es una versión del sistema de portadora suprimida QAM (Quadrature Amplitud Modulation). Para las configuraciones de NT pasivas, el CAP utilizaría la velocidad, del cliente a la red, de QPSK y un tipo de TDMA para el multiplexaje (aunque el CAP no impide un esquema de FDM para el multiplexaje en la dirección del cliente a la red).

DMT (Discrete Multitone)

El Sistema Multitono Discreto utiliza la Transformada de Fourier Discreta para crear y demodular a las portadoras individuales. Para las configuraciones de NT pasivas, DMT usa FDM para el multiplexaje en la dirección del cliente a la red que también permite TDMA.

DWMT (Discrete Wavelet Multitone)

Es un sistema Multitono Discreto que utiliza la transformada Wavelet para crear y demodular a las portadoras individuales. El DWMT también usa un FDM para el multiplexaje en la dirección del cliente a la red, pero también permite un TDMA.

SLC (Simple Line Code)

El sistema de Código de Línea Simple, es una versión de señalización de la banda base de cuatro niveles, la cual filtra la banda base y la restaura en el receptor. Para las configuraciones de NT pasivas, SLC usaría probablemente un TDMA para el multiplexaje en la dirección del cliente a la red, aunque también podría usarse un FDM.

III.1.2.2 Separación de Canal

Las primeras versiones del VDSL podrían emplear el Multiplexaje por División de Frecuencia para separar el canal que va de la red al cliente, del cliente a la red, y estos dos de los POTS (Plain Old Telephone System) e ISDN.

La cancelación del eco puede ser requerida para versiones posteriores de VDSL, caracterizando a una tasa asimétrica de datos.

III.1.2.3 FEC

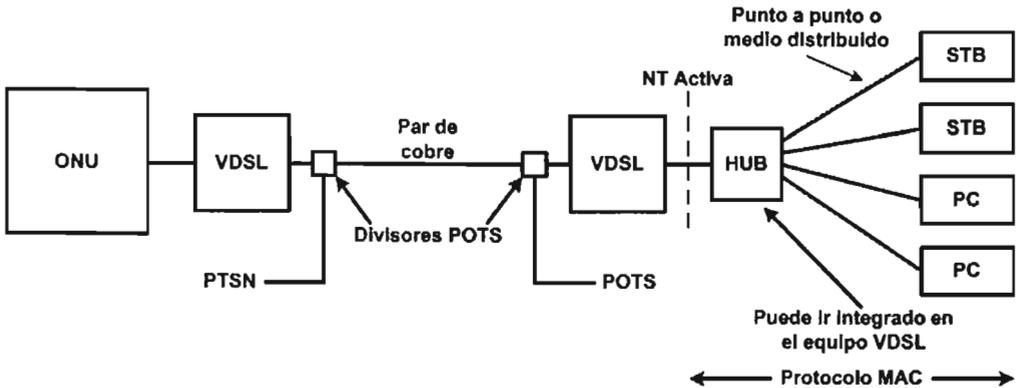
Sin duda, utilizará una especie de código Reed Solomon para corregir la ráfaga de errores causados por la introducción de ruido. El tratamiento del ruido será muy similar al implementado para la ADSL.

III.1.2.4 Multiplexaje en la Dirección del Cliente a la Red.

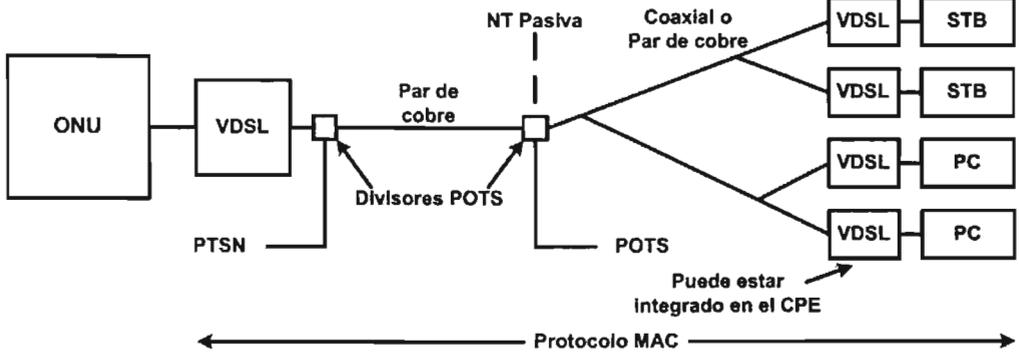
Si las unidades locales del VDSL comprenden terminaciones de red activas, el multiplexaje de más de un CPE a uno simple es responsabilidad de la red local. Las unidades VDSL presentan un flujo de datos en ambas direcciones. Un tipo de red local involucra una estrella que conecta cada CPE a un interruptor o borne de multiplexaje.

En una configuración de NT pasiva, cada CPE tiene una unidad de VDSL asociada. El canal (en la dirección del cliente a la red) para cada CPE debe compartir un cable común.

Si se utiliza un sistema de detección de colisión se pudiera dividir el canal en bandas de frecuencia y asignar una banda a cada CPE, esto con el fin de garantizar el ancho de banda requerido. En la figura siguiente se puede observar las configuraciones para NT activo y pasivo.



Terminación Activa de Red



Terminación Pasiva de Red

Figura 3.10. Configuraciones para terminación de Red

III.1.2.5 Aspectos pendientes en el desarrollo de VDSL

Como ya se ha mencionado, la tecnología VDSL aún no está completa, ya que existen ciertos aspectos que todavía requieren de una definición clara. Estos aspectos se mencionan a continuación.

TDD vs FDD

El tipo de división duplex que se usará en VDSL está discutiéndose en la actualidad. El FDD parece ser una mejor opción ya que los servicios existentes son típicamente canceladores de eco o FDD. La sincronización de los canales (en la dirección de la red al cliente y viceversa) es más fácil con el FDD, porque todos los sistemas necesitan

tener las mismas frecuencias del bandsplit. Por el contrario, con el TDD la sincronización puede ser más compleja.

Modelo de Referencia

La característica del ruido en la línea no sólo variará con el tipo de línea, sino también con la base instalada de la red local. No hay ningún acuerdo hasta la fecha, aunque es necesario que se propongan varios modelos antes de que la tecnología sea comercializada masivamente. El Comité Europeo (TM6) está a favor de esperar por los resultados de los estudios de los operadores de la red y separar el modelo del ruido de los códigos de línea.

Interferencia del Sistema de Radio de Onda Corta

En el caso de antena de área local, la señal VDSL sobre el cable generará un campo eléctrico capaz de interferir con bandas de la radio de onda corta. Por otra parte, las bandas de frecuencia de radio de onda corta que coinciden con la frecuencia de VDSL dañarán la señal VDSL.

Radiación Producida por Cables Aéreos

Utilizando TDD, un transmisor de VDSL produce una emisión de radiación no deseada que interfiere con los receptores de radio-aficionados. Se determinó que el máximo PSD de 60 dBm/Hz, permitido para la tecnología VDSL puede generar interferencia potencial en algunas bandas de alta frecuencia del espectro de radio.

Operación Simétrica o Asimétrica.

Es posible que el VDSL soporte tanto sistemas simétricos como asimétricos. El VDSL simétrico es adecuado para distancias cortas ya que puede simplificar la interfaz con la red conjuntamente con las redes LAN. Para distancias largas el VDSL asimétrico es apropiado, ya que simplifica los equipos electrónicos requeridos por los usuarios residenciales.

La tecnología VDSL permitirá en un futuro la transmisión de datos a altas velocidades utilizando una combinación de cables de fibra óptica y la red telefónica de cobre existente. Esta tecnología proporcionará un acceso a Internet más rápido, así como la transmisión de video interactivo y mayor velocidad para los servicios de comunicación de datos. Sin embargo, aún es necesario definir ciertos aspectos como lo son, el modelo adecuado del ruido, la interferencia con señales de radio y cables aéreos y los códigos de línea que serán utilizados.

III.2 HFC

III.2.1 El cable como opción para servicios de banda ancha residencial

El ampliar el cable de su condición anterior, como sólo distribución de canales de TV analógica a los nuevos servicios de banda ancha tiene muchos puntos a favor, tomando en cuenta que tiene una gran base de capital la cual puede usarse como influencia para incrementar aplicaciones. En adición al comienzo de esta transformación, el cable tiene avances técnicos y comerciales específicos con los cuales el puede tener éxito al proveer un amplio rango de servicios de alta velocidad al hogar, entre estos avances tenemos:

- Ubicación
- Velocidad
- Señalización reducida
- Tarifas
- Conservación del puerto
- Integración vertical

Ubicación

El servicio de cable está disponible, cerca de 157 millones de suscriptores alrededor del mundo, esta amplia extensión de cobertura ayuda atrayendo publicidad, tan sólo en EEUU el cable gana 6 mil millones de dólares al año en publicidad por comerciales locales y nacionales.

Velocidad

El cable tiene mayor ancho de banda que el actual acceso telefónico a la red y las redes inalámbricas. La velocidad es tan alta que los proveedores de contenido que trabajan sobre cable están considerando cambiar su contenido específicamente para explotar la velocidad del mismo, por ejemplo, agregando más audio y contenido visual a las páginas web.

Señalización reducida.

El cable esta siempre encendido; un proceso de llamada, tal como el timbrado en un teléfono no es necesario. El suscriptor de cable no tiene que pedir al operador de cable la transmisión de un contenido específico, el simplemente llega. El cable esta básicamente en transmisión, como una radiodifusora de TV. Reducir la señalización es un prerrequisito para una amplia extensión de aplicaciones residenciales.

Conservación del puerto

Debido a que el cable coaxial es un medio común, el operador sólo necesita un único puerto físico para soportar a cientos o miles de usuarios. Esto en contraste con las compañías telefónicas, las cuales tienen que colocar un puerto por cada suscriptor. La conservación del puerto es una ventaja de costo importante en relación al servicio telefónico.

Integración Vertical

Finalmente, a la cabeza de los operadores de cable encontramos también importantes proveedores de contenido. Cuando los proveedores de contenido poseen propiedades del cable, ellos tienen garantías de alta velocidad de salida para su contenido visual y contenido abundante para ocupar la mayoría de los canales que el cable puede soportar.

III.2.1.1 Arquitectura

La figura 3.11 muestra un esquema de un sistema de cable que no ha sido mejorado con fibra. La programación de video para los sistemas de cable es obtenida por medio de satélite o microonda en lugares llamados head end's. Los head end's tienen facilidades para hacer lo siguiente:

- Recibir programación, por ejemplo de NBC, CBS, y redes de cable como MTV y ESPN.
- Convertir cada canal a la frecuencia designada para tantos canales como sea necesario.
- Combinar todas las frecuencias hacia una sola canalización analógica (multicanalización por división de frecuencia).
- Transmitir el flujo de bajada (downstream) analógico combinado hacia los suscriptores.

El término downstream es usado porque la antena tiene que ser lo suficientemente alta para obtener una clara recepción, y las señales son enviadas en descenso hacia los espectadores abajo. El downstream se refiere entonces al tráfico enviado del head end hacia los suscriptores.

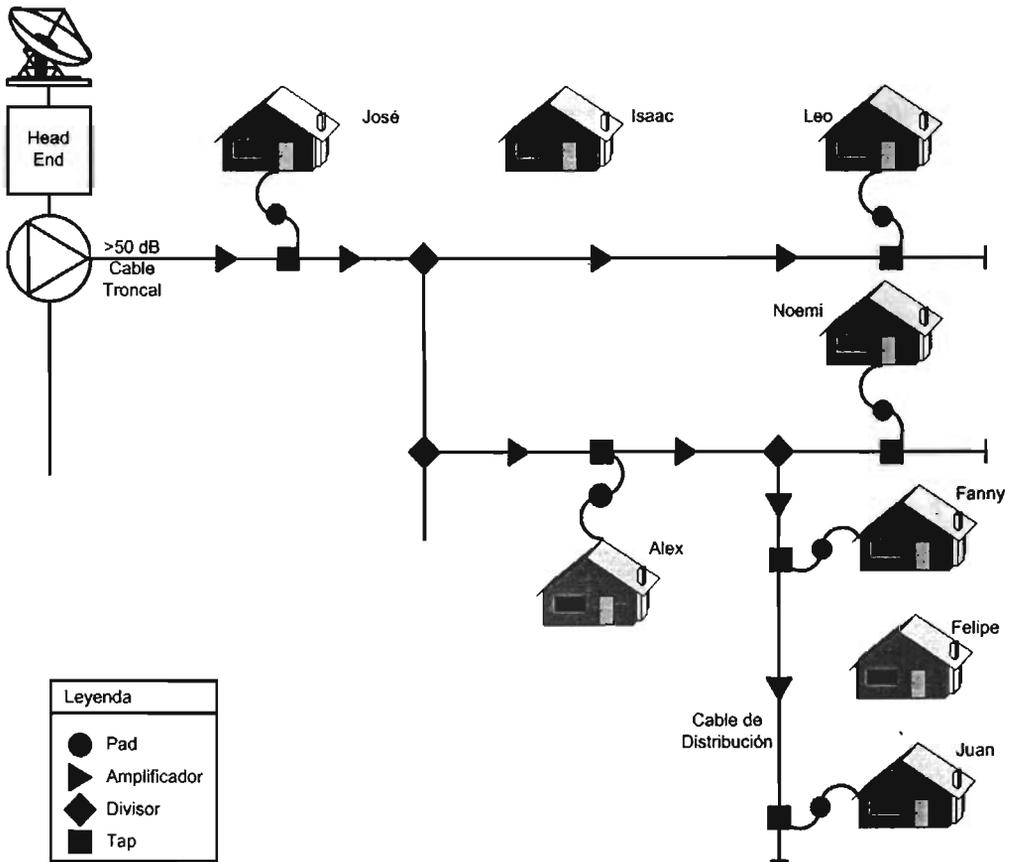


Figura 3.11. Diagrama de un sistema de cable

El tráfico de video emana del head end y es inyectado dentro del cable troncal, en una señal con energía por encima de 50 dB. Dispositivos pasivos llamados splitters o divisores, dividen el tráfico en puntos de bifurcación para proveer una cobertura geográfica. Los Feeder cables o cables de distribución emanan de los troncales.

Los cables coaxiales conectados y abonados del head end componen un sistema de cable. A quien mantienen y maneja el sistema se le llama operador. Las grandes compañías son establecidas para operar múltiples sistemas de cable; ellas son llamadas MSOs. Los MSOs tienen sus sistemas geográficamente contiguos o ampliamente dispersos.

La energía de la señal se atenúa la raíz cuadrada de la frecuencia al moverse a través de los cables, ya sean troncales o de distribución. Así pues, las señales de alta frecuencia pierden energía más rápido que las de baja frecuencia, además la señal también es atenuada por los divisores y cualquier otro dispositivo pasivo en el sistema.

Para mantener la Potencia de la señal, ésta es levantada con amplificadores, aproximadamente cada kilómetro o cada medio Kilómetro si se tienen muchos suscriptores. Debido a que los canales más altos se atenúan con mayor rapidez y las distancias que tienen que viajar pueden ser muy largas, la amplificación para las altas frecuencias puede producir niveles de potencia excesivamente altos para los canales de baja frecuencia. Entonces, aquí es necesario ecualizar la potencia sobre la banda de frecuencia transmitida en los puntos finales para reducir la distorsión.

Los suscriptores son conectados a los cables de distribución con la adición de un drop cable (300 pies de cable o menos) o cable de abonado y un conector entre el cable de distribución y el de abonado llamado tap.

Otra manera de acercar la conexión a los usuarios es mediante el uso de largos cables de abonado de bajas pérdidas, más caros que los cables normales, a un tap central, eliminando de esta manera parte del cableado de distribución del sistema. Con esto se mejora la fiabilidad y reduce el robo del servicio. Esto además reduce sustancialmente el número de dispositivos limitantes de frecuencia requeridos como TAPS o divisores. El inconveniente es un gran potencial de pérdida de señal, cuando debido a la posibilidad de que el amplificador falle.

En el hogar, es familiar el uso del conector F, un conector cilíndrico con un alambre al centro; con el cual conectamos el VCR, televisión o el set-top box que es el dispositivo con el que el operador provee al suscriptor para tener acceso a las señales en el cable.

Para cubrir un sitio distante un amplificador tiene que ser encendido, resultando en mucha fuerza y distorsión en la señal. Por esto los suscriptores cercanos necesitan un pad o atenuador, éste, como su nombre lo indica induce atenuación.

El resultado es una topología de árbol y ramas donde el head end es la raíz y los suscriptores las hojas. Es posible que el abonado mas lejano pueda estar entre 80 y 100 Km de distancia del head end. Los divisores y los taps son necesarios para distribuir la señal de televisión, pero también tienen un doble efecto al debilitar la potencia de la señal introduciendo pérdidas en cada dispositivo.

En la figura 3.11 ocho hogares pueden tener acceso al cable, sin embargo, sólo 6 son suscriptores. Todos los hogares que pueden ser suscriptores con la adición de un cable de abonado son usuarios potenciales. Así surge una medida llamada relación de aceptación que es el número de suscriptores entre el número de usuarios potenciales; en el ejemplo de la figura la relación de aceptación es de 6/8 ó 75 %.

III.2.2 HFC

Los sistemas de cable coaxial proveen grandes mejoras en la recepción de TV en muchas partes del mundo. En algunas áreas donde la recepción de la televisión normal

fue buena, la CATV (Cable Television / Televisión por cable) se popularizó debido al incremento de las opciones de programación como nuevos canales premium o de pago por evento, esto permitió a los proveedores de cable nuevas fuentes de ingresos y creadores de contenido con salidas para su trabajo.

¿Porqué usar fibra?

Los sistemas de cable coaxial son insuficientes en varias vías para el servicio residencial de banda ancha de alta velocidad. Primero, la capacidad del canal aún es insuficiente para competir con los sistemas de Direct Broadcast Satellite (DBS). Los sistemas coaxiales pueden proveer aproximadamente 40 canales, pero los suscriptores de DBS pueden recibir más del doble dándoles mayor número de opciones innovadoras de programación, por lo cual las redes de cable requieren una capacidad adicional para ser competitivas.

Segundo, a los sistemas de cable les hace falta ser más robustos, si un amplificador falla cerca del head end, perdiendo potencia por ejemplo, todos los suscriptores pierden el servicio debido al mal amplificador.

Tercero, la calidad de la señal es insuficiente para un gran número de usuarios, el número de amplificadores entre el head end y el último suscriptor es llamado profundidad de cascada, una profundidad de cascada de 40 a 50 es posible en algunos sistemas, sin embargo, amplificar una señal 40 veces es como copiar un cassette de audio analógico 40 veces. La última señal no es igual a la original.

Finalmente, los sistemas de cable coaxial son muy complicados tanto para diseñar como para operar; por ejemplo, si tuviéramos una gran cantidad de nuevos usuarios, es posible que los tap necesarios para agregarlos al sistema puedan causar suficiente atenuación como para requerir un nuevo amplificador. Pero aunque no hubiera ningún cambio en la suscripción, en el sistema hay docenas de amplificadores, divisores, atenuadores, taps, cables de varias impedancias, cambios térmicos en la temperatura ambiente y claro también piratas, distribuidos en un radio de 80 a 100 Km; debido a esto, mantener la potencia equilibrada para todos los suscriptores es un gran problema.

Continuando el diseño operacional de la red, se complica más por la oxidación de los componentes, ésta se debe a la filtración por perforaciones en el aislante, gradientes de temperatura, perdidas de montajes y cualquier otra causa. Encontrar estas imperfecciones es muy difícil, y cuando se encuentran, típicamente se requiere de mantenimiento en el lugar, además de la reparación de la falla. Existen programas de software para asistir a los técnicos, pero la mayor parte usa manuales de procedimiento, además de mucha intuición y experiencia.

Para combatir esos problemas a los operadores se les ocurrió la idea de usar cable de fibra óptica en lugar de los cables troncales de cable coaxial. El sistema total tendría tanto fibra como cable coaxial de ahí el término de redes híbridas fibra-coaxial (Hybrid Fiber-Coax / HFC). Con la invención de la fuente de luz lineal y los sistemas de fibra

analógica hizo práctica la introducción de fibra en las troncales. La razón por la que los sistemas de fibra eran análogos era para mantener la compatibilidad con la planta metálica analógica existente. Además el uso de fibra analógica era más barata y confiable que la conversión a y de fibra digital.

Con el uso de la fibra, la profundidad de cascada puede reducirse a unos cuantos amplificadores, digamos 4 o 5. Confiabilidad y problemas de equalización asociados a la profundidad de cascada se redujeron. El sistema podía ofrecer más ancho de banda y diseñarse más fácilmente. La figura 3.12 nos muestra el diagrama con la introducción de la fibra.

El diagrama muestra que cada troncal de cable coaxial ha sido remplazado por cables de fibra múltiple. Si un enlace de fibra se rompe sólo algunas casas pierden el servicio. Los cables de fibra terminan en transductores llamados nodos de la fibra, que convierten la señal óptica en eléctrica. Por esto, el sistema de cable se segmenta en partes más pequeñas llamadas clusters, cada uno de los cuales se compone por los hogares que se pueden cubrir con un solo nodo. Los MSOs limitan los clusters entre 500 y 2000 hogares potenciales.

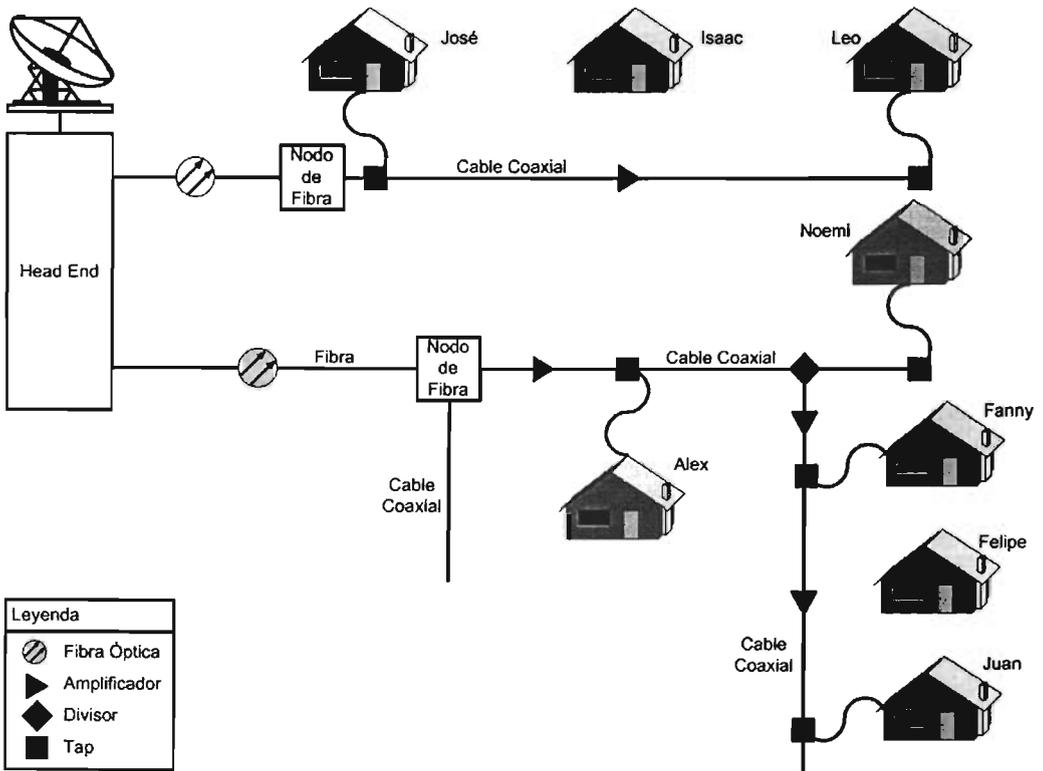


Figura 3.12. Diagrama de un sistema HFC

En el nodo de la fibra se conectan de uno a seis cables coaxiales. El nodo divide la señal analógica en la dirección de envío, de manera que la misma señal sea transmitida en cada cable coaxial. En la ruta de regreso, el tráfico es recibido del cable coaxial y multiplexado en el dominio de la frecuencia dentro de la fibra.

El ensamble del sistema entre el nodo y el suscriptor, es decir, los cables coaxiales, amplificadores, divisores y taps es el mismo que en un escenario de cable coaxial puro. Así el HFC reduce el número de amplificadores, a la vez que incrementa el ancho de banda disponible y reduce el mantenimiento.

Una llave de la innovación detrás de la expansión del HFC fue la del desarrollo de la transmisión en amplitud modulada sobre fibra óptica. Esto no fue posible sino hasta la invención de la fuente óptica lineal en los años 80's y sin AM óptico no era posible tener una transmisión analógica sobre fibra. Sin la transmisión analógica sobre fibra, él tendría que desempeñar la conversión analógico-digital y la digital analógica, por esto el AM óptico fue clave para la evolución de los sistemas HFC.

Mapeando el modelo de referencia DAVIC

La figura 3.13 muestra como se hace el mapeo de una red de cable HFC con el modelo de referencia DAVIC. Los proveedores de contenido se conectan en la interfase A9 a la red de transporte. La red de transporte se conecta a la red de acceso mediante la interfase A4, la cual normalmente es ATM. Un ejemplo del nodo de acceso del modelo DAVIC es el Cable Modem Terminal Server / Servidor Terminal de Cable Módem (CMTS) para datos y sistemas de cable. La unidad óptica de red u Optical Terminal Unit (ONU) se encuentra en el nodo de la fibra. El CMTS se comunica con el cable módem para reforzar el protocolo MAC (Media Access Control) y las funciones de control de RF; tales como saltos de frecuencia (frequency hopping) o control automático de ganancia.

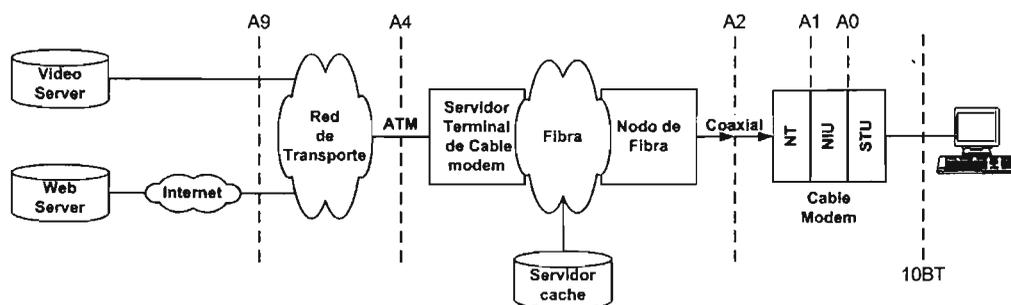


Figura 3.13. Modelo de Referencia DAVIC

Transmisión de subida (Upstream Transmission)

La introducción de la fibra es el primer paso en la evolución de las redes de TV por cable hacia las redes de acceso de banda ancha. El segundo paso importante es la creación de un canal de transmisión para que los suscriptores puedan enviar datos, así como recibirlos. Los términos upstream, reverse y return path son usados indistintamente para describir el tráfico y las rutas que van del consumidor hacia el head end.

Construyendo sobre las rutas de retorno existentes

Previamente, se instalan algunos amplificadores de retorno por los operadores de cable, para recavar las peticiones de pago por evento o impulse pay per view (IPPV) por parte de los usuarios. Esta información es retenida por el set-top y enviada periódicamente por el MSO para obtener información necesaria para la facturación. El return path es además una manera de monitorear la red. El IPPV y el monitoreos usan una tasa muy baja transmisión, por lo cual requieren de un ancho de banda muy pequeño. Hoy con las altas tasas de transmisión requeridas para datos, se requiere de más ancho de banda y de esquemas de modulación más agresivos que los necesarios para la simple colección de datos de facturación.

La mayoría de los sistemas actuales asignan frecuencias de upstream en un rango de 5 – 42 MHz, por debajo de las frecuencias usadas para la difusión de TV. Los sistemas que dividen las frecuencias de subida y bajada por debajo de los 54 MHz son llamadas "low split".

Se les llama "mid split" a los sistemas que separan el upstream del downstream alrededor de los 100 Mhz. La frecuencia donde se separan el return y el forward path es decidida por los operadores. Frecuencias representativas del mid split son por ejemplo, el rango de subida de 5 – 108 MHz y el de bajada de 174 – 450 MHz, denotado como 5 – 108 / 174 – 450. Un sistema de high split de 5 – 150 / 175 – 750 provee un mayor return path.

Mid y high split son usados para comunicaciones de dos vías, pero infringe en frecuencias legalmente usadas para la radiodifusión de TV. Al empezar la bajada a 174 MHz, se pierden los canales 2 al 6. Dado que a ningún operador le gustaría perder su asignación natural de canales; el low split se enfoca al acceso residencial de banda ancha, mientras que los sistemas con mid y high split están siendo consideradas para redes instaladas por operadores específicamente para usos industriales o gubernamentales.

Para proveer el upstream o reverse path, se necesita de amplificadores en el cable coaxial en la dirección del upstream además de trasmisores ópticos en el nodo de fibra para transmitir hacia el head end. Debido a que las frecuencias de regreso son bajas, se tienen menos pérdidas de señal en la ruta de regreso que en la de envío, sin embargo se requiere de algunos amplificadores. El costo de los amplificadores para la señal de regreso es muy bajo en comparación con los necesarios para los de ida.

III.2.3 Servicios de video digital sobre HFC de dos vías

Los sistemas HFC pueden ser construidos con un ancho de banda de bajada de 750 MHz, en el cual tenemos capacidad para 125 canales de 6 MHz cada uno; sin embargo, si cada canal se codificara en MPEG-2 entonces, tendríamos capacidad para 4 ó 6 canales digitales por cada canal analógico.

Ahora, tomando los 6 MHz y quitando 500 KHz a cada lado del canal para la banda de guarda, nos quedan 5 MHz. Usando modulación QAM 64 en estos 5 MHz; la cual nos codifica 6 bits por Hz, quedándonos una salida bruta de 30 Mb. Si además incluimos Reed – Solomon como FEC, el cual consume un 10 % de la salida bruta para la detección y corrección de errores, la capacidad no queda en 27 Mb los cuales son suficientes para soportar de 4 a 6 canales codificados en MPEG-2.

Dividiendo este ancho de banda de 750 MHz entre 500 a 2000 casas, es posible satisfacer los requerimientos necesarios de ancho de banda para servicios tales como televisión analógica, VOD (Video On Demand), acceso a Internet y docenas de nuevas redes locales públicas o privadas.

Principios de operación

Los operadores de cable pueden distribuir su programas a través de las redes HFC, sin embargo, la distribución digital es necesaria para empezar el periodo de transición de la distribución analógica a la digital, esto debido a que no siempre se cuenta con la cantidad suficiente de programación para cubrir tan basta cantidad de canales. La capacidad de canales puede dividirse entre analógicos y digitales de acuerdo a cantidad de programación digital o las preferencias de cada MSO. Los canales analógicos pueden colocarse desde los 54 MHz hasta los 350 ó 400 MHz, y los digitales empezarán desde esta frecuencia de corte hasta los 550 – 750 MHz.

En el sitio de cada consumidor, un equipo decodificador MPEG-2 transforma el flujo de información digital en analógico para que un televisor normal presentara la imagen y el sonido, mientras tanto los programas analógicos pasan directamente al televisor.

Las funciones básicas del dispositivo decodificador (Set Top box) son:

- Separar el tráfico upstream del downstream.
- Demodular el tráfico de downstream que llega de la red HFC.
- Modular el trafico de upstream para la red HFC
- Desplegar por medio de algún software las opciones de programación, incluyendo canales virtuales.
- Decodificación MPEG-2
- Interfaces analógicas para conectar el televisor analógico.
- Descripción de las trasmisiones analógicas.

- Controles infrarrojos (para control remoto)
- Transmisión de señales de retorno
- De-criptación del tráfico de downstream.
- Encriptación de tráfico de upstream
- Autenticación

Los equipos de televisión digital requieren de el uso de un ruta de retorno de datos para propósitos del usuario, tales como selección de canales, ordenes de pago por ver además de monitoreo por parte del operador.

III.2.4 Cambios necesarios para la implementación de video digital

Hasta 1997 la industria del cable estaba desarrollando la visión del servicio de video digital sobre el HFC de dos vías. Mientras tanto la industria DBS o DTH había adquirido alrededor de 5 millones de suscriptores para junio del mismo año.

III.2.4.1 Servicios de datos en los sistemas HFC

El segundo mayor mercado para el HFC de dos vías son los datos, como el acceso a Internet. La idea de llevar datos sobre las redes de cable no es nueva; los cables módem ya eran comerciables a principios de 1987 por compañías como Fairchild Electronics. El Fairchild M505 de banda ancha modulaba en QPSK y QAM, con una capacidad de hasta 10 Mb con servicio full duplex. La mayoría de estas características son sorprendentemente similares a los modems que están siendo desarrollados hoy en día. La idea de entonces era el uso de las redes primarias de cable como una intranet. Sin embargo, la generación de módems de los 80's carecía de las propiedades necesaria para el uso público.

Con el crecimiento del Internet, los operadores de cable habían empezado a pensar en sus redes HFC como el vehículo lógico para desarrollar el servicio de datos. El acceso a Internet es inherentemente un servicio asimétrico, esto quiere decir que hay un mayor flujo de datos del head end que hacia el mismo, una característica que concuerda perfectamente las redes de cable que utilizan el low split. Además, las redes de cable tienen una buena ubicación para ofrecer rápidamente el servicio a un gran segmento de la población. Finalmente, ofrecer el servicio de datos hizo necesaria la convergencia del acceso a Internet con la TV digital.

Principios de operación

La arquitectura de referencia descrita en esta parte se deriva del grupo de trabajo Multimedia Cable Network System (MCNS), un grupo de operadores de Norteamérica que escribió las especificaciones para los sistemas de cable módem.

Los componentes del cable módem que se muestran en la figura 3.14, los cuales son muy similares a los de un Set Top box digital, pero sin los elementos de compresión de MPEG; debido a lo cual el cable módem es más barato.

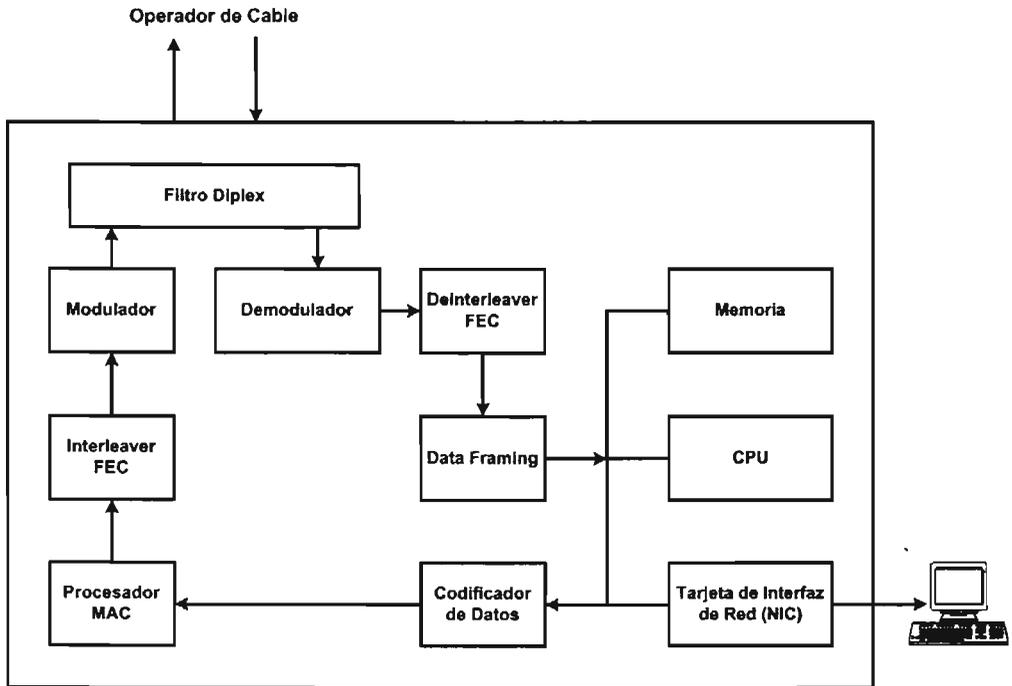


Figura 3.14. Diagrama de un cable módem

Las operaciones del servicio de datos sobre HFC pueden enumerarse en dos pasos básicos:

- Inicio – ¿Qué es lo que pasa cuando se agrega un nuevo cable módem a la red?
- Intercambio de Datos – como el envío y la recepción de datos

Inicio

Cuando se instala un nuevo cable módem en una red de cable debe de haber un proceso de instalación muy amigable para el usuario. Básicamente todo necesita suceder automáticamente. El módem necesita saber en cuales frecuencias escuchar y en cuales transmitir los datos de subida y de bajada respectivamente, además necesita manejar información de red como direccionamiento IP y filtrado de paquetes.

El proceso de inicio comienza cuando el módem examina todas las frecuencias de bajada y reconocer el control estándar de paquete. Los paquetes contienen mensajes broadcast en el sentido de bajada o downstream, expresamente para los nuevos modems que se van agregando; estos mensajes provienen del CMTS. Dentro de este

broadcast hay un comando que especifica la frecuencia a la que el módem debe transmitir.

Los paquetes de control, como sistema de inicialización de paquetes, no van encriptados dado que para un nuevo módem es imposible darse de alta en el sistema sin las llaves de encriptación.

Después de que el módem conoce cuales son las frecuencias de subida o upstream que puede usar comienza el ranging; proceso mediante el cual el cable módem determina la distancia a la que se encuentra del head end. Esto es necesario para la información de retardo, como por ejemplo, para propósitos de sincronización.

Todos los protocolos MAC tienen una vista en tiempo del tamaño del sistema, así, cada módem sabe cuando transmitir. El ranging se lleva a cabo por medio de un pequeño mensaje que el módem envía al head end. Midiendo el intervalo de tiempo hasta que se recibe el mensaje, el módem determina la distancia.

El ranging es un proceso continuo, porque los cambios térmicos causan que el cable se expanda y contraiga durante el día. El problema térmico puede volverse particularmente agudo, en ocasiones puede ocurrir una desconexión debido a la contracción del conductor central.

Restablecimientos del sistema

El CTMS requiere de un mecanismo para soportar el número de cable módem que accedan al sistema durante el ranging inicial para prevenir una saturación al recibir los upstream. Una saturación puede ocurrir después de una caída total del sistema debido a un apagón o a la falla de un nodo de fibra. Si no se tiene un proceso ordenado del reinicio, el ranging puede tomar varios minutos después de un restablecimiento del sistema.

Adquisición de una dirección IP

Una vez concluido el proceso de ranking, el cable módem está listo para obtener una dirección IP u otro parámetro de red. Esto debe ser difícil para el usuario, ya que puede crear problemas de seguridad si éste pudiera configurar su propia dirección IP.

El módem adquiere una dirección por medio del DHCP, el cual es el protocolo estándar de Internet para asignación dinámica de direcciones IP y se describe en los RFC's 1531 (Protocolo DHCP), 1533 (Opciones DHCP) y 1534 (Interoperabilidad DHCP/BOOTP, BOOTP es el predecesor del DHCP). Cuando un suscriptor requiere una dirección IP, el cable módem lanza un tipo particular de paquete broadcast, llamado DHCP request, sobre la ruta de retorno. Un ruteador en el head end recibe la petición y la envía hacia el servidor DHCP de direcciones, el cual es conocido por el ruteador del head end por configuración. El servidor regresa una dirección IP al ruteador el cual la agrega a su tabla de direcciones y la entrega al usuario. Además de agregar la dirección IP

asignada al usuario el ruteador tratara de identificar y agregar la dirección MAC y posiblemente el número de serie del módem. Así el ruteador obtiene una base de datos con todas las direcciones necesarias, ligadas a un usuario en particular.

Intercambio de datos

Después del ranging, la determinación de las frecuencias de subida y bajada y la adquisición de una dirección IP, el cable módem esta listo para el intercambio de datos, la figura 3.15 muestra un esquema de las rutas y los procesos que siguen los datos.

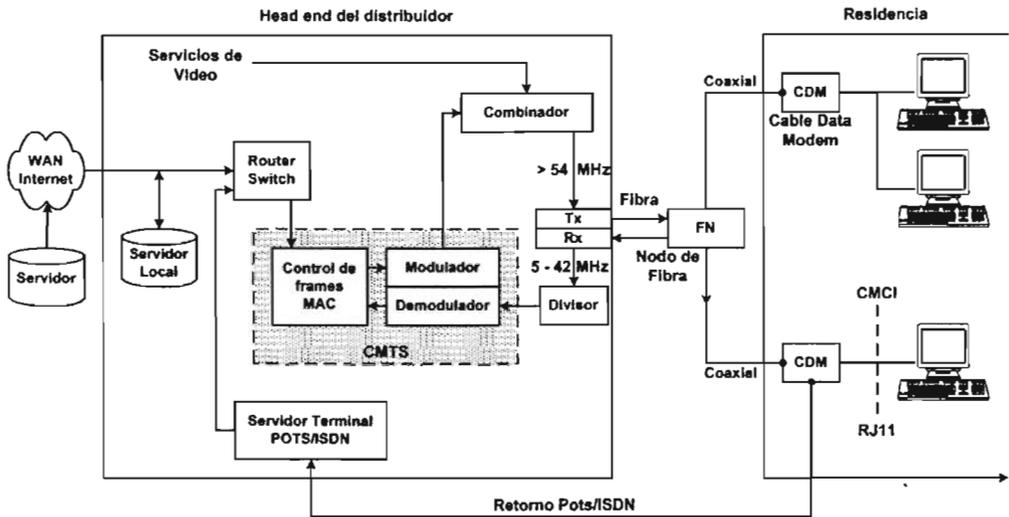


Figura 3.15. Datos en un sistema HFC

Empezando por la casa (lado derecho de la figura), la PC genera el tráfico de subida y lo envía a través de la tarjeta de red o NIC (Network Interface Card) hacia el cable módem, la ruta de retorno se activa para que los datos se muevan del cable módem hacia el nodo de la fibra que se encuentra en el vecindario.

El problema en el nodo de la fibra es que hay múltiples enlaces coaxiales alimentándolo. Si ahí se genera una potencia eléctrica excesiva proveniente del coaxial, como pasa con las colisiones de paquetes de información o con el simple alineamiento de las formas de onda de múltiples fuentes, la suma de potencia puede ser inmanejable para los transmisores láser, causando un corte en la transmisión sobre la fibra.

Eventualmente, el tráfico es recibido en el head end. Parte del tráfico de subida se usa para otros propósitos, como pay per view, telefonía y monitoreo. El tráfico de datos que queda se manda a un demodulador, el cual envía los bits resultantes hacia el CMTS, entonces, el tráfico va hacia un ruteador local o switch para transmitirse a un servidor local, Internet u otro suscriptor de cable.

En la ruta de bajada los datos son recibidos en el ruteador/switch y se envía al CMTS. El tráfico se modula, se manda a un sintonizador para que los datos sean transmitidos en la frecuencia usada por el usuario del módem, además, esta señal se multiplexa con la señal estándar de video (en el combinador), y se transmite a la planta de distribución. Cuando el cable módem quiere enviar datos de subida, el cable módem cumple con el protocolo MAC, el cual decide por contención la ruta de subida entre varios cables módems.

La mayoría de la banda de frecuencias que va de los 5 a los 42 MHz para el uso de las señales de retorno no está estandarizada. Motorola usa poco menos de 600 KHz, Zenith y Lan City usan alrededor de 6 MHz, la ventaja de usar un retorno angosto es que se tiene una respuesta en frecuencia relativamente plana. Además si el ingreso excesivo de ruido se vuelve un problema, la ruta de retorno se puede cambiar donde sea dentro de la banda de los 5 a los 42 MHz. El problema es que se tiene una baja tasa de transmisión, que ocupa una modulación bastante compleja.

En la ruta de retorno, la mayoría de los fabricantes optan por usar modulación QPSK debido al bajo ruido en este esquema. Ahora, si la planta es relativamente buena, se puede usar QAM 16, que dobla la capacidad de transporte de datos de la modulación QPSK.

Los fabricantes del cable módem están de acuerdo en el uso de un canal entero de 6 MHz en la ruta de ida; lo cual permite a los MSOs el uso del mismo equipo de modulación en RF, tanto para datos como para video. Seis MHz de ancho de banda en el forward path permiten 27 Mb de datos por canal, usando QAM 16 y Reed Solomon FEC. Los 27 Mb son distribuidos entre todos los suscriptores de un sistema. Si hay 27 suscriptores en línea al mismo instante, cada uno puede esperar recibir 1 Mb de servicio, lo cual excede en gran medida la capacidad del módem telefónico y al servicio de ISDN.

A continuación se muestran las características del return path y el forward path:

Tabla 3.6. Características del return path y el forward path.

	Return Path	Forward Path
Otros nombres	Reverse path, upstream, flujo de subida, ruta de retorno	Dowstream, flujo de bajada, ruta de ida o de envío.
Canalización	Varia según el fabricante	6MHz
Esquema de Modulación	QPSK, QAM 16	QAM 64
Acceso	Por medio del protocolo MAC	Broadcast
Distribución del Ancho de banda	768 Kbps –10 Mbps, varia según el fabricante	27 Mbps

Debido al reciente interés en el acceso a Internet de alta velocidad varias compañías están desarrollando cable modems.

III.2.4.2 Cambios técnicos para la implementación de datos en el cable

Los desarrollos en la industria del cable para datos dependen de resolver algunos cambios técnicos

- Problemas de ruido en la ruta de retorno
- Problemas de aislamiento
- Protocolo MAC
- Protocolos de ultima milla
- Técnicas de ajuste
- Seguridad

Problemas en la ruta de retorno

El flujo de datos de retorno está permitido en el rango de frecuencias de los 5 a los 42 MHz, la cual es una banda de frecuencias baja, que tiene buenas propiedades de atenuación. Por otro lado debido a que se tiene un uso pesado de estas frecuencias por otros servicios el ingreso de ruido es un problema.

La naturaleza distribuida de la ruta de retorno crea un efecto de embudo, las Interferencias son recibidas por los cables coaxiales, los cuales actúan como antenas gigantes, sobre todo en el hogar, lo que hace que se envíen como señales de retorno. Estas señales se van agregado una a una al irse moviendo a través del sistema, que debido a su topología de árbol, hace que en sentido inverso actúe como un gran embudo captando todas las señales provenientes de los diversos hogares. Así, la captación de ruido se incrementa conforme se avanza en la ruta de retorno, haciendo que la señal se vuelva potencialmente indescifrable.

Fuentes de ingreso de ruido

El ruido ingresa al sistema al ser captado por el cable de fuentes externas, como filtraciones y bridge taps. La siguiente es una lista parcial de problemas que resultan en el ingreso de ruido al sistema:

- La radiodifusión en AM y la banda civil (CB) de radioaficionados están localizados dentro de las frecuencias de los 5 a los 42 MHz.
- Equipo pobremente aislado en el hogar; como hornos de microondas, televisores, radios y motores eléctricos (aspiradoras, lavadores, taladros, etc.). Si estos aparatos están operando cerca de un conector F, el ruido puede ser tomado por el cable y enviarse como señal de retorno.
- Emisiones fuera del hogar, como rayos, luces neón, ignición de vehículos e interferencia por parte de líneas de alta tensión.

- Salida de señales digitales desde la terminal en el hogar. Algunas veces la fuente de ruido puede ser el mismo cable módem o el Set Top box.
- Daños provocados por malicia.
- Conectores F mal acoplados, desconectados o perdidos en el hogar.
- Pérdida de la integridad en la óptica de retorno, imperfecciones en los cables troncales debido a la corrosión. Por lo regular los taps están diseñados para una vida de 15 años, pero los taps en las calles no duran más de cinco. Contenido ácido en la tierra, los conductos o el mismo aire, puede romper el material aislante entre los cables y los taps.

Sin importar las millas que posea un operador, los estudios de caracterización de ruido han determinado que la mayoría de los ingresos de ruido en la ruta de retorno de la plata de cable dentro de los hogares del consumidor; lo cual esta fuera de control de operador. De todas maneras, aunque el operador tuviera acceso a los hogares de los usuarios, seguiría siendo un problema el identificar el hogar que esta teniendo un ingreso importante de ruido, ya que el cable es un medio distribuido.

Distorsión de ruta común

Otro problema en la ruta de retorno, frecuentemente confundida como ingreso de ruido, es la distorsión de ruta común o Common Path Distortion (CPD). El CPD es la interferencia de las señales en la ruta retorno por parte de la ruta de envío. Una fuente específica del CPD es la corrosión en la línea de envío, el metal corroído actúa como diodo, lo cual crea radiación en la ruta de regreso a causa de las portadoras de ida. Otra causa posible es el aislamiento insuficiente entre el módulo amplificador del downstream y el módulo del upstream en el mismo lugar.

Administración de potencia

Además de estar sujeto al ingreso de ruido y a la distorsión por canal común, la ruta de retorno también presenta un problema de administración de energía.

La administración de energía en una planta de cable de dos vías es un nuevo problema técnico. Anteriormente con las plantas de una sola vía no había necesidad de tener control sobre la potencia de salida de las unidades del suscriptor. En una planta de dos vías hay que tener mucho cuidado con el control de la potencia con que transmiten los suscriptores, dado que si uno transmite con mucha potencia otro suscriptor no podría ser escuchado por el head end.

Técnicas de mitigación para los problemas de ruido en la ruta de retorno

Varias técnicas son utilizadas para combatir los problemas de ruido en la ruta de retorno, éstas incluyen:

- filtrado
- control automático de ganancia
- saltos de frecuencia (frequency hopping) y
- espectro distribuido (spread spectrum)

Filtrado

El ingreso de ruido en el cable de abonado es exacerbado debido a que la ruta de retorno es un medio distribuido. Si aquí se encontrara una fuerte fuente de interferencia de una casa, ésta podría contaminar todo el vecindario, de esta manera, un solo suscriptor puede cortar el servicio a todo un vecindario, incluso si el usuario se suscribe al servicio de una sola vía. Por lo tanto deben emplearse mecanismos para identificar y neutralizar este problema.

Una manera de proteger el flujo de subida es instalando un filtro de bloqueo completo cerca de cada tap en el vecindario. El filtro es económico y la mano de obra también es barata, dado que se instala incondicionalmente para todos los suscriptores de cable. El filtro inhabilita completamente todas las transmisiones en la ruta de retorno de cada suscriptor de cable. Así cuando algún cliente se suscribe al servicio de dos vías, se remueve el filtro y se instala en su lugar un filtro pasabajas (FPB) en el cable de abonado del cliente que requiere la ruta de retorno.

Por ejemplo, un cliente se suscribe al servicio de datos de cable, entonces el FPB puede colocarse en el cable de abonado del hogar, sin embargo, los filtros pueden distribuirse también en el hogar, poniendo un FPB en los cables que van hacia los dispositivos que requieran de la ruta de retorno como las PC's y filtros de bloqueo hacia los que no lo requieran como la TV.

Frequency hopping /Cambios de frecuencia

Al usar TDMA existe la posibilidad de interferencias de banda angosta que pueden volverse muy severas por intervalos largos, dejando inutilizable una frecuencia particular de la ruta de retorno. Algunas de estas interferencias incluyen el radio amateur, la radiodifusión en AM y otras fuentes estacionarias. Cuando esto sucede, los modems de los usuarios tienen que moverse hacia otra frecuencia de transmisión en la ruta de retorno. Esto se logra enviando un mensaje de control desde el CMTS hacia el cable módem que identifica la nueva frecuencia de transmisión.

El cambio de frecuencia es difícil cuando la canalización de la ruta de retorno está en un rango de frecuencias relativamente ancho. Por ejemplo si los modems de Lan City y de Zenith que usan 6 MHz como ruta de retorno, requirieran de un cambio de frecuencia, tendrían que encontrar otro espacio de ancho de banda de 6 MHz, lo cual a veces no es posible.

Otros modems usan bandas angostas. Motorola usa un ancho de banda de 600 KHz para su ruta de retorno. Esto hace fácil encontrar un espacio hacia donde moverse. Pero en cambio esto restringe la tasa de transmisión disponible para el suscriptor en la ruta de retorno. De esta manera se requiere de un balance fino entre la tasa de transmisión y la fiabilidad cuando se define el tamaño de la ruta de retorno.

El cambio de frecuencia trabaja bien en contra de interferencias de banda angosta, pero no es efectiva para combatir impulsos de ruido de banda amplia. Para este tipo de problemas, es necesario aplicar técnicas como FEC o espectro distribuido.

Spread Spectrum/Espectro Distribuido

Debido a que la ruta de retorno se parece a un medio con bloqueo hostil, el espectro distribuido está siendo considerado como una alternativa del cambio de frecuencia. Al usar el espectro distribuido y CDMA, los cables modems pueden operar con una importante degradación de la relación señal a ruido.

Otra ventaja del espectro distribuido es que tiende a disminuir los cortes de láser, debido a que con esta técnica ocurren menos coincidencias de picos de energía y fase al ocurrir múltiples transmisiones.

Sin embargo, el espectro distribuido no es apropiado para el tráfico de ida, debido al ruido en el medio es menos hostil, además de que es una tecnología compleja y cara.

Control Automático de Nivel

El control automático de nivel mitiga el problema de administración de energía que plantea la ruta de retorno. Éste es el proceso por el cual la potencia de transmisión del cable módem es regulada por el CTMS. El CAN difiere del Control Automático de ganancia en que este último normalmente no emplea una percepción remota. Cuando un cable módem esta transmitiendo a un nivel inapropiado de potencia, el CMTS lo percibe y envía un mensaje hacia el cable módem para incrementar o disminuir la potencia, según sea necesario. En casos extremos, puede ocurrir que un operador tenga que desactivar remotamente un módem con una potencia muy alta.

III.2.4.3 Control de Acceso al Medio (MAC)

Debido a que los sistemas de cable son un medio distribuido, se necesita de un mecanismo árbitro que decida quien puede usar el medio en un instante dado. Este

mecanismo, es el protocolo MAC. Dado que el flujo de bajada se hace por medio de broadcast, no hay necesidad de decidir quien lo va a usar. Por esto, el protocolo MAC sólo se utiliza en la ruta de retorno.

Si dos suscriptores necesitan transmitir casi al mismo tiempo y lo hicieran, ambas se mezclarían, volviéndose irreconocibles al llegar al head end. Se necesita alguna manera de decir quien va a transmitir primero, y por cuanto tiempo antes de dejar el medio libre al otro.

Los objetivos del protocolo MAC son hacer lo siguiente:

- Soportar el máximo número posible de usuarios por cluster.
- Minimizar la latencia en la transferencia de datos.
- Lograr el máximo uso posible del ancho de banda de la ruta de retorno.
- Evolucionar para usos futuros.
- Soportar múltiples clases de servicios.
- Optimizar costos.

Este último punto se logra al mover en lo más posible la complejidad del sistema del módem del suscriptor hacia el head end, manteniendo así la unidad del suscriptor más sencilla y barata. De esta manera, es que el protocolo MAC se evalúa.

Estructura del Control de Acceso al Medio para HFC

Los esquemas, también conocidos para redes LAN como Ethernet o Token Ring no están siendo consideradas en los sistemas de cable, por sus limitaciones de distancia; si un suscriptor estuviera a 10 millas del head end, el viaje de ida y vuelta tardaría 120 microsegundos, a 10 Mbps significaría que 1,200 bits estarían en el aire antes de que se detectara una colisión. Un mensaje corto podría ser enviado por otro usuario en ese intervalo de tiempo. En esquemas con Token Ring o Ethernet cualquier usuario tendría que esperar hasta que pase el paquete del usuario que esta ocupando el medio. Las técnicas de contención, como Token Ring, consumen cantidades excesivas de tiempo en las secuencias de contención. Por esto, la contención nunca ha sido considerada por lo fabricantes de equipos para datos por cable.

En lugar de usar técnicas entandar de LAN's, los fabricantes han convergido en los esquemas basados en crédito. Con los esquemas basados en crédito el CMTS expide créditos a los módems de los suscriptores, garantizándoles el acceso al medio por un periodo específico de tiempo. El intervalo de tiempo durante el cual el módem tiene permitido transmitir está limitado por sus concesiones. Cuando éstas han caducado, el módem tiene que detener su transmisión. Existen variaciones como la cantidad de datos a transmitir por concesión, el número de créditos otorgados por el CMTS por petición de concesión y los procedimientos de backbone cuando ocurre una colisión entre peticiones de concesión. Estas variaciones dan a entender que los módems de los diferentes fabricantes no sean compatibles. Las entidades reguladoras han

empezado a hacer consenso para poder discutir la dirección de los desarrollos del protocolo MAC para HFC.

Desempeño de las peticiones de concesión

Los mecanismos de crédito tienen que asegurar que el CMTS pueda proveer concesiones lo suficientemente rápidas, para mantener un uso alto del ancho de banda. Si las concesiones del head end hacia los suscriptores llegan muy lento, el módem del suscriptor, suspende su transmisión; el resultado es que la ruta de retorno es subutilizada. Debido a que la ruta de retorno contiene confirmación de recepción, lo cual permite también tráfico de envío, la ruta de envío también tiende a subutilizarse.

Normalmente, sólo puede atenderse una petición de un solo suscriptor a un tiempo, con 4 ms de retardo de enlace en la ruta de envío y 1.6 ms de retardo de propagación del viaje redondo y tiempo de procesamiento, pueden pasar hasta 6 ms desde que la petición es hecha por el suscriptor hasta que ésta es recibida. Se requieren de algoritmos MAC eficientes para asegurar que las peticiones de concesión sean despachadas.

Algoritmos para resolución de colisiones (CRA)

Los algoritmos para resolución de colisiones definen procedimientos para que los usuarios reenvíen peticiones de concesiones después de que ha ocurrido una colisión. Tomando en cuenta que las colisiones solo ocurren entre peticiones de concesiones de transmisión. Los paquetes de datos no pueden colisionar porque estos son transmitidos por los suscriptores bajo un orden estricto dado por el head end, lo cual previene las colisiones.

Cuando las peticiones colisionan, los suscriptores no saben del evento hasta que son informados por el head end. El head end detecta la colisión e informa al cable módem del suscriptor de que ésta ha ocurrido. Un método simple del CRA se basa en un algoritmo de retroceso binario exponencial truncado parecido a la técnica CSMA/CD que se usa en Ethernet y que evolucionó de la técnica ALOHA.

Cuando se informa de una colisión, el cable módem selecciona aleatoriamente dentro de un rango llamado backoff start window. El número aleatorio seleccionado es un intervalo de tiempo, durante el cual el cable módem tiene que esperar antes de enviar otra petición de concesión. Si la ventana es lo suficientemente larga, entonces será más difícil que los modems contendientes escojan el mismo número, y por lo tanto, que vuelvan a colisionar.

Si vuelve a ocurrir una colisión la ventana se incrementa en un factor de dos (de aquí el termino binario) y los modems contendientes repiten el proceso. Sin embargo, esto no puede continuar infinitamente, si las colisiones se repiten hasta llegar a un máximo, el cual es definido por el administrador de la red de datos, el envío de datos se descarta.

Protocolos de última milla

En esta parte hablaremos un poco de los protocolos que se pueden utilizar para el empaquetamiento y transmisión de datos que se usarán entre el consumidor y el head end. Aquí tenemos a candidatos como IP, ATM y MPEG.

Cada técnica de empaquetado tiene sus seguidores, pero debido a que el cable es un medio distribuido, el candidato natural sería ATM por su manejabilidad con respecto al ancho de banda. Las celdas de ATM son pequeñas, lo cual nos da menos probabilidades de colisiones.

Por otro lado, también podemos usar paquetes de transporte MPEG, los cuales se utilizan para video digital y últimamente se han extendido hacia el manejo de datos en combinación con IP.

III.2.4.4 Técnicas de Ajuste

Como hemos repetido anteriormente, el cable es un medio distribuido, por lo cual hay que tener cuidado para no tener congestiones como cuando el número de usuarios crece y el uso de cada uno también. En ambos casos necesitamos tener un plan para manejar el ajuste de video y ATM para el servicio de datos y funciones de control.

Rutas de retorno múltiples por canal de ida

Al mismo tiempo que el tráfico en la ruta de retorno crece, las colisiones en el mismo tienden también a incrementarse en forma proporcional. Cuando esto sucede, es necesario incrementar el número de canales de retorno para compensar el aumento en las colisiones. Cada canal que se agregue debe tener su propio puerto.

El agregar nuevos canales de retorno, no quiere decir que también se requiere de más canales en el flujo de ida, varios usuarios pueden tener diferente ruta de retorno, pero al mismo tiempo compartir la ruta de envío.

El responsable en este caso es el CMTS, ya que por medio de mensajes de control tiene que instruir a los modems acerca de sus frecuencias asignadas. De esta manera, el CMTS se encarga del balance de carga entre las diferentes rutas de retorno.

El tener múltiples rutas de retorno puede complicar el proceso de designación MAC. Los datos recibidos al mismo tiempo en diferentes puertos no son una colisión, sin embargo, si no se toman las medidas necesarias al configurar los puertos, el protocolo MAC puede pensar que si lo son.

Uso de canales de ida adicionales

Un solo canal de envío proporciona 27 Mbps de servicio distribuido a un vecindario. Pero una vez más, si el número de usuarios es elevado, la tasa de transmisión por usuario va decreciendo de manera exponencial, de tal forma que con 2 usuarios cada uno tendría 13.5 Mbps, con 27 Mbps, pero si hablamos de vecindarios, con una población de 500 a 2000 usuarios cada uno, la tasa puede bajar hasta 13.5 Kbps por usuario, que esta muy por debajo de lo que puede ofrecer un módem dialup y mucho más lejos de lo que otros servicios como los diferentes DSL pueden ofrecer. El agregar un canal más de envío significa perder un canal analógico de TV o hasta 6 de TV digital. El factor para definir la proporción de ancho de banda entre los datos y la transmisión de TV es puramente económico. Una vez más el encargado del desempeño del balance de la carga es el CMTS, esta vez en la ruta de envío.

Clusters pequeños

Una última técnica de ajuste es el extender más lejos la fibra dentro del vecindario, los primeros sistemas con servicio de dos vías limitaba sus clusters a 2000 hogares potenciales. En respuesta a la congestión fue necesario reducirlos a 1000 ó en último caso a 500 hogares potenciales. En lugar de usar múltiples canales de retorno o agregar canales de envío, este paso requiere inversión de capital. Debido a esto los MSOs no encargan clusters pequeños en un principio, sino conforme van siendo necesarios y no queda otra alternativa.

III.2.4.5 Seguridad

El HFC es un medio distribuido, cualquiera en el cluster puede, en principio, ver los datos de cualquier otro o en otro caso recibir programación sin pagar por ella. Entonces, los operadores de cable necesitan de un mecanismo de encriptación para prevenir recepción no autorizada o modificación de los datos del suscriptor. Las características principales de la seguridad en los sistemas HFC son las siguientes:

Tener un mecanismo propio de autenticación para asegurar que el cable módem está autorizado para el servicio y tiene sus propios perfiles de cuenta y filtrado.

El módem debe contar con sus respectivas llaves para la descriptación de los datos. Estas llaves tienen que cambiarse con frecuencia para evitar intrusiones.

Todos los cable modems deben tener una firma única (Dirección MAC) que pueda encriptarse y usarse para la autorización del módem.

EL retardo debido a la descriptación provoca que se evite la encriptación de los mensajes MAC, esto con el fin de asegurar que los mensajes MAC en tiempo real puedan manejarse lo más rápidamente posible. Esto significa que los mensajes de control están sin encriptar, lo cual puede causar riesgos en el medio distribuido.

III.3 TECNOLOGÍA FTTx PARA REDES DE ACCESO.

La utilización de la Fibra óptica en las Telecomunicaciones ha alcanzado, en la actualidad, un nivel que abarca hasta las redes de distribución, es decir, ha dejado de ser simplemente un medio de transporte de alta velocidad, para convertirse en un medio óptico de acceso, llevando así los servicios hasta el usuario final.

HFC y xDSL, son tecnologías que han acercado la fibra a las redes de distribución, sin embargo, el medio de acceso sigue siendo un medio alámbrico, con las limitantes que esto representa. El gran reto que existe para el desarrollo de las Telecomunicaciones de Banda Ancha, tanto en transporte como en acceso, es que a pesar de la alta velocidad del Backbone óptico, la transferencia de información entre el Hub o Concentrador y el usuario final está limitada a la velocidad máxima que permite el cable Coaxial, generándose congestión de datos. Es evidente entonces que la solución para incrementar ancho de banda y velocidad de transferencia hasta el usuario final consiste en sustituir el cableado metálico por Fibra Óptica, sin embargo, este proceso es costoso y por lo tanto de lenta implementación.

Debido a esto surge la tecnología FTTx, la cual logra un desarrollo notable de las Redes de Acceso mediante fibra, pues como su nombre lo indica, lleva la fibra hasta la ubicación del Equipo Terminal, es decir, se tiene la posibilidad de acceder a la Red de Distribución desde un medio óptico.

Esto se refiere a instalar la Fibra Óptica directamente hasta el Hogar o la Oficina, con lo cual se proveen servicios de Banda Ancha en tiempo real y gran confiabilidad.

La familia FTTx está compuesta por las siguientes variantes:

- FTTH (Fiber To The Home) – Fibra hasta el Hogar.
- FTTO (Fiber To The Office) – Fibra hasta la Oficina.
- FTTBs (Fiber To The Business) – Fibra hasta el Negocio.
- FTTB (Fiber To The Building) – Fibra hasta el Edificio.
- FTTF (Fiber To The Floor) – Fibra hasta Nivel o Piso.
- FTTN (Fiber To The Neighbourhood) – Fibra hasta el Vecindario.
- FTTA (Fiber To The Air) – Fibra hasta el Aire.
- FTTC (Fiber To The Curb) – Fibra hasta la Acera.
- FTTP (Fiber To The Pole) – Fibra hasta el Poste.
- FTTC (Fiber To The Cabinet) – Fibra hasta el Gabinete.
- FTTR (Fiber To The Remote Office) – Fibra hasta la Oficina Remota.

Esta tecnología no solamente provee el acceso mediante fibra, sino que en el caso de FTTH, pretende llevarla al interior de la casa, por lo que es considerada como el máximo logro en cuanto a redes de acceso con “servicios completos”, ya que proporciona gran ancho de banda, inmunidad a interferencia electromagnética e incluso bajos costos de operación.

III.3.1 Redes de Acceso de Servicio Completo - FSAN.

Las Redes de Acceso de Servicio Completo FSAN que FTTx promete, determinan que el consumidor o usuario final podrá recibir video, voz y servicios de Internet simultáneamente y en tiempo real a través de una señal portadora única y no como se realiza actualmente, obteniendo estos servicios de proveedores diferentes y con medios de acceso particulares a cada uno de ellos. De igual manera, se contará con servicios como telefonía digital, servicios de datos interactivos, Video Digital de Alta Definición y Video sobre Demanda (VoD).

Los sistemas FSAN teóricamente pueden proveer todos los servicios existentes y, también nuevos para satisfacer a suscriptores residenciales y a clientes empresariales. Estos servicios cubren las necesidades que se tienen en las redes de datos, como son la tasa de transferencia, simetría y asimetría o manejo de retardos, distribución de video interactivo, transferencia electrónica de datos, interconexión LAN, rutas virtuales transparentes, etc.

Los servicios ofrecidos por los proveedores dependen de las regulaciones particulares a su mercado. El potencial de estos servicios y como éstos serán dispuestos en relación a los costos, depende no solamente de condiciones legales, sino también de factores como la infraestructura existente en telecomunicaciones con respecto a la distribución tanto para clientes residenciales como para empresariales.

Los principales servicios que deberán ser soportados por los sistemas FSAN se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 3.7. Características de tráfico según servicios

SERVICIO OFRECIDO	CARACTERÍSTICAS DEL TRAFICO
Servicios de Broadcast Digital, VoD, Internet, Educación a distancia, telemedicina, etc.	Banda Ancha asimétrica: 2 – 25 Mbps (Downstream) 64 Kbps – 2 Mbps (Upstream)
Servicios de Telecomunicaciones para pequeña y mediana empresa, teleconsultoría, etc.	Banda Ancha simétrica, de 2 Mbps hasta por lo menos 4 x 2 Mbps.
Servicio Telefónico simple e ISDN.	El acceso a la red debe ser capaz de proveer de manera flexible servicios telefónicos de banda angosta.

Las redes de acceso FTTx ofrecen una gran velocidad, alta seguridad y formalidad en las redes, lo que estimula ampliamente su desarrollo, pero a pesar de su actual implementación, continúan siendo objeto de investigación, diseño y estandarización; siendo esta última supervisada en la Iniciativa FSAN por compañías o instituciones como: Bell Canada, Bell South, British Telecom, Deutsche Telekom, France Telecom, GTE, NT, Korea Telecom, Telestra, Telecom Italia, Bezaq Israel, U.S. West, las cuales son algunos de sus miembros.

El objetivo de la Iniciativa FSAN es obtener soluciones eficientes y la disminución de costos para acelerar la implementación de servicios de Banda Ancha en las redes públicas.

III.3.2 Características generales de FTTx

Ancho de banda

Una de las grandes ventajas de FTTx es que su Ancho de Banda es prácticamente ilimitado. En la realidad, este Ancho de Banda puede conservarse en la red sólo si se cuenta con filtros ópticos apropiados e insensibles a la tasa de transmisión (Bit-rate), como los amplificadores ópticos. Además, el Ancho de Banda está limitado por el costo de la optoelectrónica asociada requerida para la transmisión y recepción de alta velocidad. Actualmente se ofrecen servicios de hasta 1 GHz de Ancho de Banda. Aún cuando el Ancho de Banda de bajada es compartido con transmisión Broadcast e información de otros usuarios, la red todavía es capaz de proporcionar tasas de transferencia de datos de 200 Mbps que facilitan el uso de Internet.

Es posible obtener tasas de transferencia mayores mediante la asignación de una Longitud de Onda única, o bien, utilizando electrónica de alta velocidad, con lo cual se pueden obtener aproximadamente 2 GHz de Ancho de Banda.

Formato

Los sistemas FTTx operan básicamente en un formato de transmisión digital, pero se pueden tener algunas variantes, por ejemplo, la transmisión de Video de alta definición sin esquemas de compresión requiere de un gran Ancho de Banda, por lo que se puede optar por un formato de transmisión analógico de Ancho de Banda eficaz, donde la atenuación es compensada mediante el uso de "Amplificadores en Fibra Dopados con Erblio" (EDFAs). La calidad de una señal digital es superior a la de una señal analógica si esta última presenta ruido o distorsión, pues de otra manera, la información de las dos señales es prácticamente indistinguible, siendo que la señal analógica ocupa menos de 1/15 del Ancho de Banda de una señal digital.

El costo

El FTTx sólo es demasiado costoso cuando el diseño de la red contempla una fibra dedicada para cada casa (FTTH), análogo a la instalación de cableado mediante un par trenzado para servicio telefónico. Con el uso de transmisores analógicos y señales digitales comprimidas, una red de FTTx puede construirse virtualmente con el mismo costo de una red de HFC, pero ofrecerá mucho más por lo que se refiere a la flexibilidad y la viabilidad a largo plazo.

III.3.3 Familia FTTx

FTTC (Fiber To The Curb) – Fibra hasta la acera.

El FTTC describe arquitecturas de red en las cuales la fibra es instalada bajo las aceras, hasta la cercanía de las residencias, donde una “Unidad de Red Óptica” (ONU) acopla la fibra con algunos conductores metálicos que llevan la comunicación hasta los hogares. Esta arquitectura posee una capacidad de 4 a 96 suscriptores.

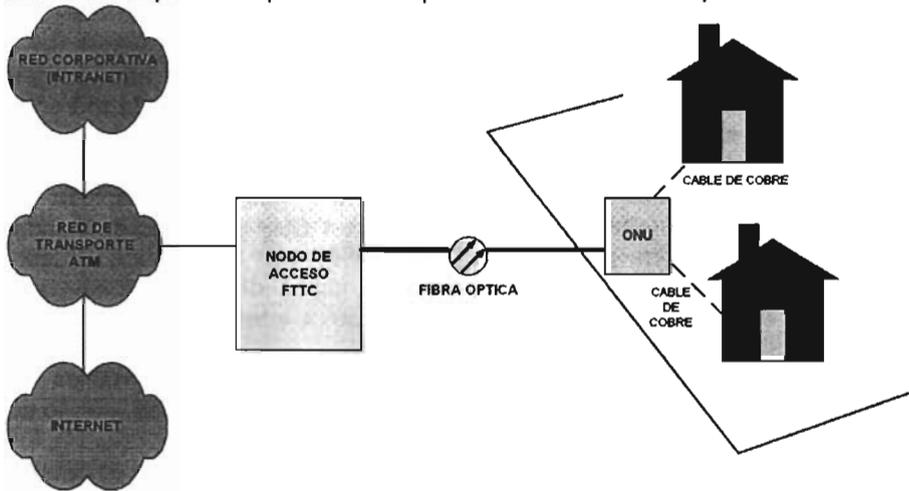


Figura 3.16. Arquitectura FTTC

FTTCab (Fiber To The Cabinet) – Fibra hasta el Gabinete.

De manera similar al caso anterior, FTTCab se refiere a la ubicación de la ONU en un registro o gabinete, desde el cual el cableado metálico pueda ser distribuido individualmente a cada una de las residencias. Pueden atenderse entre 300 y 400 usuarios, sin embargo, el ancho de banda destinado a cada usuario es menor que en el caso anterior.

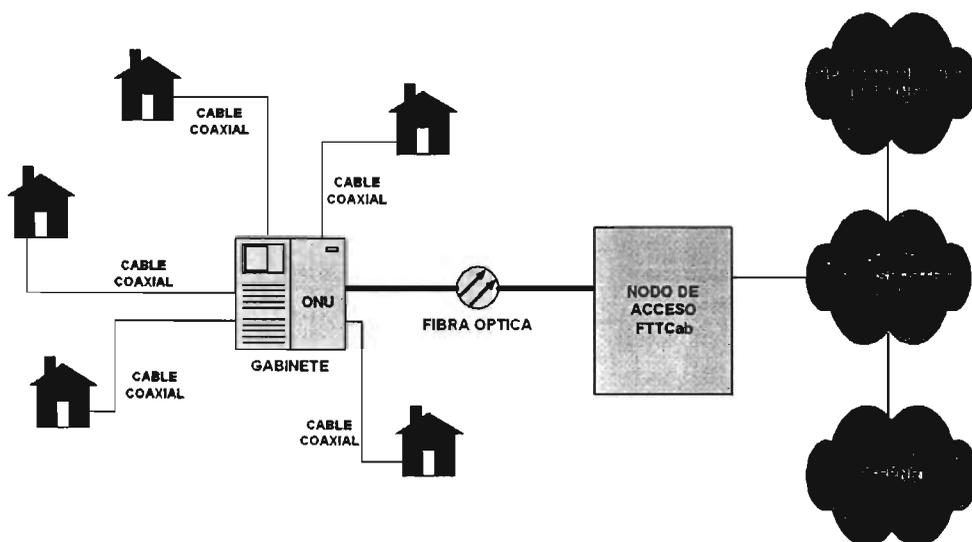


Figura 3.17. Arquitectura FTTCab

FTTB (Fiber To The Building) – Fibra hasta el Edificio.

Esta fue la primera aplicación de la tecnología FTTx, debido a las cortas distancias entre los niveles o habitaciones dentro de un edificio, además del costo de la ONU es fácilmente amortizado si se tiene un número mayor de usuarios.

La arquitectura de FTTB, similar a la de FTTC, consiste en llevar la fibra hasta la ONU instalada dentro de un edificio de departamentos, condominios o bien oficinas, donde el cableado interno de distribución entre los diferentes niveles del mismo es realizado mediante cable de cobre, el cual puede ser cable coaxial, cable telefónico o incluso par trenzado categoría 5, utilizado comúnmente en redes Fast Ethernet.

Según el tipo de cable usado, la ONU es conectada a equipos como un CMTS, o bien, a un DSLAM, logrando servicios locales de VoD y correo electrónico para los residentes.

La gran ventaja de FTTB es que representa la transición de ADSL a VDSL, para posteriormente convertirse en FTTF, FTTO o bien FTTH, de esta manera podemos tener servicios de baja velocidad que fácilmente serán escalables a servicios de alta velocidad de transferencia. Este esquema es particularmente aplicable para el concepto de "Oficina en el Hogar" (SOHO).

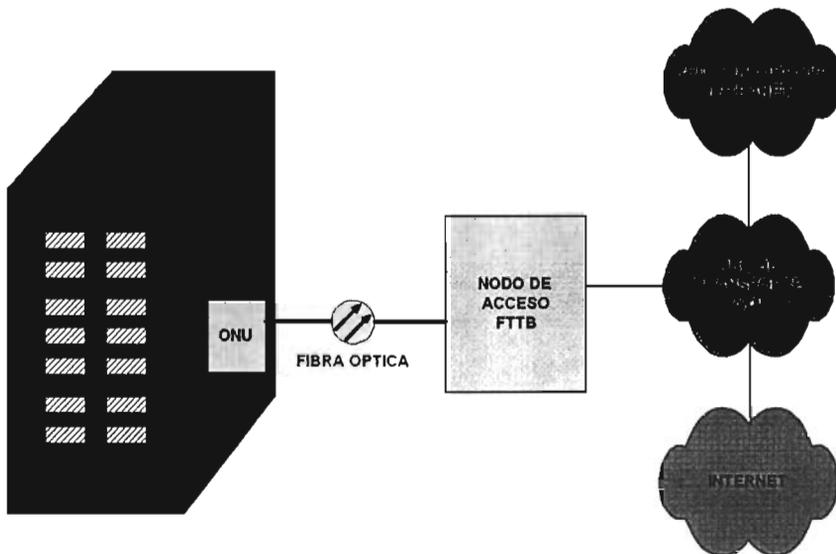


Figura 3.18. Arquitectura FTTB

III.3.3.1 Características de FTTC, FTTCab, FTTN y FTTB.

Actualmente, existen dos razones fundamentales para extender el uso de Fibra Óptica hasta las redes de distribución. La primera de ellas es instalar un sistema de comunicaciones mediante fibra que permita llevar los servicios de Banda Ancha, tanto las aplicaciones actuales como las futuras. La segunda razón consiste en instalar sistemas ópticos que soporten por el momento las aplicaciones actuales, cuyos requerimientos de ancho de banda no son excesivos, a costos comparables o menores a los que presentan los sistemas mediante cobre, y que posteriormente puedan ser actualizados para soportar la introducción de servicios de Banda Ancha para los usuarios que lo necesiten.

Con los sistemas FTTC, la fibra es llevada tan lejos como esté ubicado el Punto de Acceso a Servicios (SAP), donde el cableado por cobre lleva la comunicación hasta las residencias.

Podemos observar que FTTC, FTTCab, FTTN e incluso FTTB, cumplen con la misma arquitectura básica. El equipo ONU es montado a un máximo de 200 metros de distancia de los hogares, cubriendo este "Último Tramo" con cable de cobre. En caso de FTTB, la ONU es instalada en algún punto ubicado en el interior del edificio, y solamente el cableado interno es realizado con cobre.

Para FTTC se tienen cuatro estándares establecidos por el Consejo Audiovisual Digital (DAVIC):

Tabla 3.8. Estándares establecidos para FTTC por el DAVIC

Perfil DAVIC	Velocidad de Bajada [Mbps]	Velocidad de Subida [Mbps]	Ultimo Tramo (cable)
A	51.84	19.44	Coaxial
B	51.84	1.62	Coaxial o Telefónico
C	25.92	1.62	Coaxial o Telefónico
D	12.96	1.62	Coaxial o Telefónico

El perfil A especifica el uso de cable Coaxial como Último Tramo y es el que proporciona la mayor velocidad, 51.84 Mbps de bajada y alcanzando hasta 19.44 Mbps en subida.

Por otro lado, los perfiles B, C y D pueden utilizar cable telefónico (par trenzado de cobre), diferenciándose entre sí, solamente en la velocidad de transferencia; en este caso, la arquitectura es muy similar a la utilizada en VDSL. De hecho las compañías de comunicaciones han implementado soluciones con este último caso, aprovechando la gran cantidad de cableado de cobre ya existente.

Las variaciones del FTTC con respecto al VDSL son:

1. La estandarización para VDSL se lleva a cabo en el ADSL Forum, ETSI e ITU (G.993.1), mientras que para FTTC perfiles B, C y D, se realiza en DAVIC.
2. El VDSL tendrá una especificación para división en canales telefónicos que no estará especificada para el FTTC.

Finalmente, podemos asumir que FTTC es un término genérico referido a cualquier red de acceso que utiliza cobre como "Último Tramo" y que lleva la fibra a unos cientos de metros de las residencias. La mayoría de los trabajos de estandarización se encuentran enfocados a VDSL y HFC.

Actualmente se ofrecen servicios en FTTC tarifarios llamados PC/DNA, en los que el usuario es conectado, mediante par trenzado telefónico, a una troncal de Fibra basada en ATM. Esto es conocido como Fibra Integrada en el Circuito (IFITL). En los Estados Unidos de Norte América se encuentran instalados cerca de 100,000 servicios de este tipo, y se tienen proyectos para incrementarlos en 80,000 hogares por año.

Debido a que la fibra y optoelectrónica asociadas al sistema son compartidas por varios usuarios, los costos unitarios del sistema pueden ser disminuidos, e incluso puede aprovecharse la infraestructura de cobre ya existente.

Arquitectura de un sistema FTTC.

Configuración Estrella.

Este sistema es mostrado en la figura 3.19, en este caso, las señales conmutadas hacia los usuarios son multiplexadas mediante técnicas de división de tiempo (TDM). La señal multiplexada y los servicios de Broadcast son transmitidos ópticamente hasta llegar a los divisores de potencia ópticos de 3 dB, los cuales distribuyen una misma señal óptica a los diferentes equipos SAP.

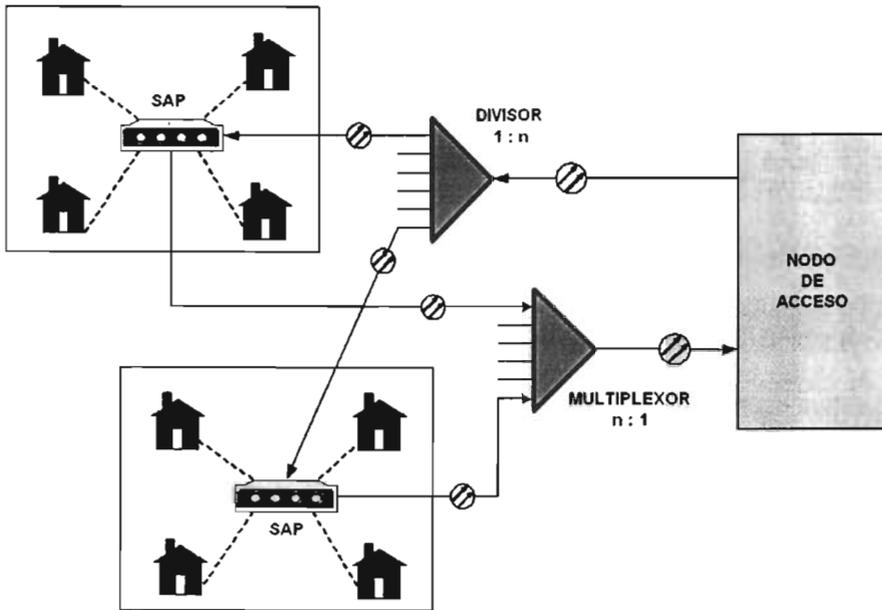


Figura 3.19. Configuración Estrella.

Configuración Estrella Distribuida.

La ventaja que presenta una arquitectura de este tipo con respecto a la anterior es que se reduce el uso de fibra y detectores ópticos, al mismo tiempo que aumenta el número de usuarios. Esto significa que una segunda etapa de división óptica es utilizada. Sin embargo, se tiene una desventaja, al incrementar la capacidad de usuarios en una estrella distribuida se presenta un "cuello de botella" en la transmisión de subida, ya que existe un solo canal compartido por todos los usuarios para este fin.

Configuración Bus.

La arquitectura de Bus para sistemas FTTC optimiza el uso de la fibra óptica hasta el grado en que todos los equipos SAP son servidos únicamente por un par de fibras, de las cuales una es para el flujo de datos de subida (Upstream) y otra para el flujo de bajada (Downstream). Las fibras son equipadas con "Taps" que distribuyen la comunicación a los diferentes equipos SAP.

Al igual que en la arquitectura de estrella distribuida, las señales de subida de los tributarios deben ser multiplexadas en tiempo para evitar congestión o traslapos.

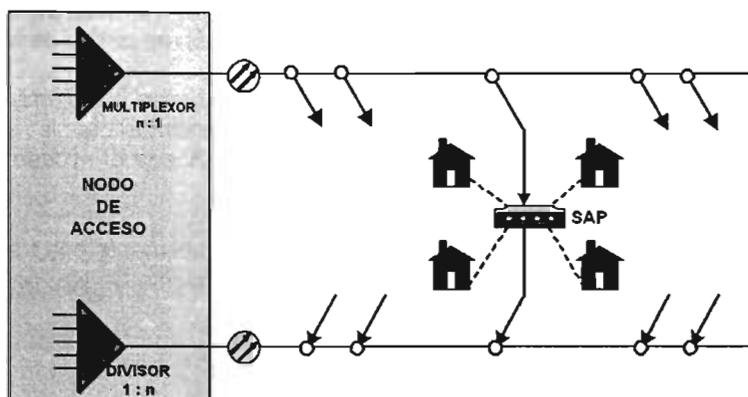


Figura 3.20. Configuración Bus.

III.3.3.2 FTTA (Fiber To The Air) – Fibra hasta el Aire.

Los sistemas de comunicaciones alámbricos, en específico los sistemas ópticos, y los sistemas de comunicaciones inalámbricos, como los radioenlaces por microondas, satélites, sistemas móviles, etc., han presentado un gran avance con un marco tecnológico sólido como respaldo. Sin embargo, actualmente un sistema de comunicaciones puede ser desarrollado utilizando varias de estas plataformas tecnológicas, aprovechando las grandes ventajas de cada una de ellas.

Hasta hace unos años, los sistemas de radio estaban destinados para comunicaciones de largo alcance, aprovechando la propagación de ondas electromagnéticas. Los sistemas de radioenlace actualmente, poseen la capacidad de confinar dicha onda electromagnética en zonas muy pequeñas llamadas "micro células" o "pico células", habilitando con esto la transmisión de un mayor número de canales, o bien, servicios de Banda Ancha. Por otra parte, la utilización de fibra óptica como medio de transmisión o Backbone, provee un extraordinario ancho de banda a un costo extremadamente bajo.

Actualmente en la fibra óptica se han alcanzado tasas de transmisión de 10 Gbps, 100 Gbps o incluso 1 Tbps, mediante el uso de "solitones ópticos".

Considerando una atenuación específica de 0.2 dB/Km, el ancho de banda útil en una fibra óptica es de unos 200 nm, que corresponde a 24,000 GHz en frecuencia. Es por esto que resulta muy atractivo el uso de la fibra como Backbone.

Por definición, el ancho de banda ocupado por las frecuencias de radio dentro del espectro electromagnético, van desde los 0 Hz hasta 3,000 GHz, lo cual corresponde apenas a una octava parte del ancho de banda útil de una fibra monomodo. Es por esto que más que un Backbone, se pretende transmitir las señales de radiofrecuencia a través de la fibra sin demodularlas a banda base, de esta manera, para las ondas electromagnéticas la fibra es como espacio libre, sin limitación en ancho de banda.

El FTTH es un sistema híbrido que combina medios alámbricos e inalámbricos, en el cual, cada Base de Radio (RBS) se encuentra interconectada con la Estación de Control mediante Fibra óptica y la interface aérea está destinada al acceso en la zona de servicio o microcélula.

Cada RBS debe ser lo más sencilla posible, debe contar únicamente con transceptores E/O (Eléctrico/Óptico) y O/E (Óptico/Eléctrico) y no con modems de RF, con lo que se asegura la posibilidad de un crecimiento a futuro.

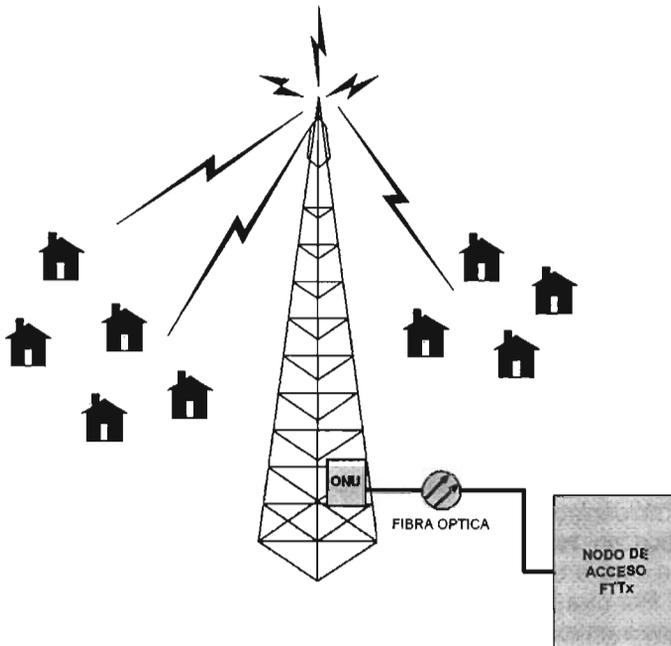


Figura 3.21. Arquitectura FTTH

Las ondas electromagnéticas, son directamente introducidas al Backbone de fibra a través de los convertidores E/O, donde el diodo láser trabaja con las señales sin ser demoduladas a banda base; de manera similar ocurre en sentido de recepción. Debido a esto, las tareas de modulación, demodulación, distribución y asignación de frecuencias, procesamiento, etc. son realizadas únicamente en la estación de control.

La transmisión inalámbrica en las microcélulas presenta algunos factores determinantes en la capacidad del sistema, y deben ser considerados en el desarrollo y diseño del mismo. Estos factores son: atenuación de la señal de microondas debido a lluvia, desvanecimiento de la señal en la interfaz aérea e interferencia entre canales adyacentes debida a la no-linealidad del Diodo Láser.

Como ejemplo, se muestra la capacidad de transmisión de un sistema FTTA, considerando modulación QAM con 150 MHz de ancho de banda por portadora, una tasa de lluvia de 10⁻⁴ y diodo láser no lineal.

Tabla 3.9. Capacidad transmisión de un sistema FTTA

Numero de portadoras	13		20		26		33	
Condiciones del medio	lluvia	bueno	lluvia	bueno	lluvia	bueno	lluvia	bueno
Número óptimo de niveles de modulación	16 QAM	64 QAM						
Capacidad máxima de transmisión [Gbps]	5.2	7.8	8.0	12.0	10.4	15.6	13.2	19.8

III.3.3.3 FTTH (Fiber To The Home) – Fibra hasta el Hogar.

Como se vio anteriormente, otras tecnologías como VDSL o incluso FTTC, llevan la fibra hasta aproximadamente 200 metros del hogar, mientras que en FTTH se tiene la fibra óptica en el interior de la casa, es por esto que FTTH es la variante más ambiciosa dentro de la tecnología FTTx, pues no esta limitada a un ser un acceso a una red de alta velocidad, sino que pretende integrar las necesidades y requerimientos del cliente dentro de esta red, mediante una Red LAN en el interior de la residencia.

Las variantes FTTF, FTTO y FTTBs presentan la misma arquitectura que FTTH, ya que la Red LAN y el acceso mediante fibra mantienen el mismo concepto.

Aún cuando se han presentado algunas dificultades para el desarrollo de esta tecnología, como son los costos de la instalación de la fibra hasta el hogar, alimentación eléctrica y la precisión con la que la fibra debe ser acoplada, entre otros, se prevén innovaciones técnicas que prometen una solución a dichos problemas; y por otro lado, se tienen como ventajas la elevada velocidad de transferencia, la total inmunidad a interferencia electromagnética y los bajos costos de operación y mantenimiento, ya que se evita la corrosión en el cableado de cobre. Por esto FTTH se presenta como una opción viable para un futuro cercano.

Para servicios de Banda Ancha, FTTH puede estar estructurado de dos maneras: PON y FTTH Dedicada.

Red Óptica Pasiva – PON.

Esta primera forma de configuración es muy similar a HFC, si se considera sustituir el cable coaxial por fibra óptica monomodo y reducir el acceso a través de una misma fibra (de último tramo) de 500 hogares a 1. FTTH-PON se compone de un canal de retorno común, es decir, un canal compartido por todos los usuarios y un canal de bajada punto-a-punto diferente para cada usuario. Es necesario entonces el protocolo MAC, utilizado para controlar el tráfico de subida y retorno.

Además, para el servicio de Internet y transmisión de datos se requiere un proceso de asignación de direcciones IP y filtros de paquetes.

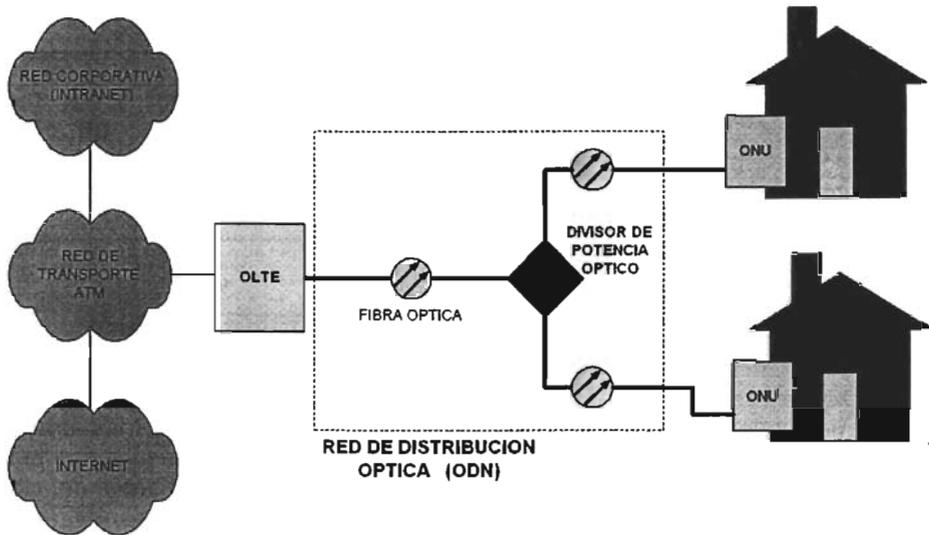


Figura 3.22. Arquitectura FTTH-PON

El estándar para PON es realizado por ITU SG-15, en la recomendación G.983 "Sistemas de Acceso Ópticos de alta velocidad basados en Técnicas de Red Óptica Pasiva".

La recomendación describe dos opciones para el servicio:

1. Servicio Simétrico de 155.520 Mbps (OC-3).
2. Servicio Asimétrico con velocidad de transferencia de subida de 155.520 Mbps (OC-3) y de bajada de 622.080 Mbps (OC-12).

El medio de transmisión consiste en una o dos fibras monomodo, de acuerdo a la recomendación G.652 del ITU-T. Esta establece que la Transmisión Bidireccional puede realizarse utilizando dos fibras con transmisión unidireccional, o bien, una sola fibra y técnica de multiplexaje WDM, siendo este último preferido por cuestiones económicas.

En el caso del sistema de una única fibra, la vía de retorno debe ser transmitida en una longitud de onda de 1480 a 1580 nm, mientras que el rango operativo para la longitud de onda en la vía de subida es de 1260 a 1360 nm.

El código de línea utilizado es "Conmutación encendido / apagado" (ON/OFF Keying). El láser encendido es un 1 lógico, y láser apagado es un 0 lógico, de esta manera, se reducen los costos de los componentes ópticos.

Características físicas de la fibra óptica.

Tabla 3.10. Características de la fibra óptica

Características	Valores
Tipo de Fibra	Fibra de cero dispersión, 1.3 μm (ITU-T G.652)
Pérdida de la vía óptica	10 a 25 dB (ITU-T G.982 Class B) 10 a 30 dB (ITU-T G.982 Class C)
Perdida de vía	15 dB
Alcance lógico Máximo	20 Km
Razón de divisiones mínimas soportadas	16 a 32 divisiones

Componentes de un sistema PON.

Un sistema PON esta básicamente formado por los siguientes elementos:

1. OLTE (Equipo Terminal de Línea Óptica).
2. ODN (Red de Distribución Óptica).
3. ONU (Puerta de Entrada Residencial o Gateway).

OLTE

Este dispositivo tiene como objetivo principal el acoplamiento de la red de transporte que usualmente es un backbone ATM, a la red de distribución óptica. Generalmente el OLTE reside en una central de las compañías de Telecomunicaciones.

Sus funciones son:

- Transmisión y recepción ópticas.
- Funciones de control en la red de distribución, control de la potencia de transmisión y corrección de errores desde la residencia hacia la red de transporte, así como evitar la redundancia de paquetes.

- Gestionar el protocolo MAC para controlar el ancho de banda del canal de subida.
- Realizar el acoplamiento a la red de transporte.
- Utilización de protocolos de alto nivel, como resolución y asignación de direcciones, bridging y control de acceso (Opcional).
- Realizar y/o agilizar funciones de Conmutación y Crossconection.

ODN

Dentro de la Arquitectura PON, la red de distribución está compuesta por fibra óptica monomodo y los componentes ópticos pasivos, principalmente divisores ópticos.

En la ODN se pueden ofrecer una o más trayectorias ópticas entre el OLTE y uno o más dispositivos ONU, pero debido a que una misma señal es distribuida a todos ellos, la ITU especifica que la atenuación máxima que debe haber entre residencias es de 15 dB; así, las distancias entre OLTE y ONU deben ser no mayores a 20 Km.

ONU

Este dispositivo posee las características necesarias para interconectar la fibra a la red LAN del hogar. Mientras que en HFC un dispositivo similar proporciona acceso a una cantidad de residencias que puede ir de 500 a 2000 casas, en el caso de FTTH es para una sola de ellas.

Sus funciones son:

- Transmisión y recepción ópticas.
- Cooperación con el OLTE en el control de la potencia de transmisión.
- Corrección de errores desde la residencia hacia la red de transporte, así como evitar la redundancia.
- Respalda el protocolo MAC del OLTE para controlar el ancho de banda del canal de subida.
- Realizar el acoplamiento entre la red de distribución y la red LAN del hogar, la cual puede estar conformada por Fibra plástica (POF) o cableado metálico Categoría 5 ó 6. Esta red LAN requiere también de un protocolo para controlar la velocidad de transferencia, Buffering y Framing.
- Realizar funciones de Multiplexaje entre los dispositivos que conforman la red LAN.

Existen algunas diferencias particulares en esta tecnología en el mercado, por ejemplo, Alcatel proporciona 2.4 Gbps de bajada y un canal compartido de subida de 311 Mbps para 2048 usuarios. El rango de distancia alcanza los 100 Km.

Principios de operación de FTTH-PON.

En la recepción, el tráfico de datos proveniente de una red de transporte ATM, es recibido por el OLTE, donde es retransmitido hacia el ONU a través de la red de distribución, en ella se ubican los divisores ópticos, los cuales permiten la comunicación con 16 ó 32 tributarios. De esta manera, un único transmisor láser envía una misma señal a todas las residencias.

Para el tráfico de subida, la ONU recaba información de los dispositivos de la red LAN, como pueden ser: la selección de un canal de audio, video o tramas de datos. La ONU solicita al OLTE permiso de transmisión (Upstream), y éste a su vez, garantiza el ancho de banda necesario para colocar la transmisión en la trama ATM.

La ONU y el OLTE deben cooperar para prevenir congestión de tráfico en el sentido de bajada; el proceso del control de acceso al medio (MAC) utiliza un esquema basado en créditos, que asignan los espacios de tiempo (time slots) que serán usados para la transmisión, esto significa que todos los tributarios de un mismo OLTE utilizan la misma frecuencia de transmisión, en un esquema TDM. Por otro lado, en la recepción, la señal es transmitida a todos los usuarios (Broadcast), pero controlada y dirigida por el protocolo MAC.

Cada uno de los ONU se encuentra a distancias diferentes del OLTE, y se tienen retardos diferentes en la transmisión de cada uno de ellos, y además las señales de estos difieren en cuanto a su potencia, así el receptor debe ajustarse para recibir correctamente cada uno de los time slots; por esto existe un tiempo de guarda en el que el receptor es capaz de diferenciar entre la transmisión de diferentes ONU, al igual que ajustarse para diferentes potencias ópticas.

FTTH Dedicada.

En el caso anterior, en una topología de red PON, hasta 32 tributarios pueden compartir 622 Mbps de ancho de banda, sufriendo saturación en caso de encontrarse todos estos activos.

La segunda forma de configuración de FTTH consta de un servicio óptico punto-a-punto, donde cada residente posee un canal óptico de transporte dedicado, que es compartido solamente por los dispositivos encontrados en el interior del hogar. Esta configuración es llamada "FTTH Dedicada". Esto es logrado mediante Multiplexaje por división de longitud de onda (WDM), por el cual es creado un canal óptico privado virtual hasta el hogar, asignando una longitud de onda diferente a cada usuario, para proveer un servicio simétrico con un ancho de banda dedicado de 155 Mbps (STM-1 u OC-3).

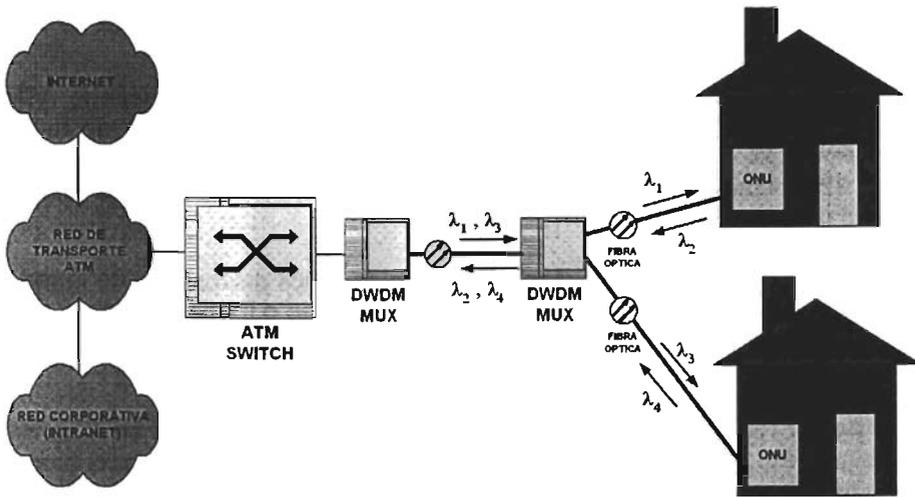


Figura 3.23. Arquitectura FTTH Dedicada.

Componentes de un Sistema Dedicado (Punto a Punto).

Un sistema de este tipo está conformado por los siguientes dispositivos:

1. Conmutador ATM (Switch).
2. Multiplexor DWDM.
3. ONU (Optical Network Unit).

Principios de operación de FTTH-Dedicado.

En esta Arquitectura, observamos que el tráfico de datos del usuario accede directamente al Switch ATM, lo cual es una ventaja ya que se reducen los tiempos en el protocolo.

El flujo de datos es enviado desde la Red de Transporte a cada usuario a través de la Red de Distribución (ODN) mediante técnicas de multiplexaje DWDM. Esta técnica permite que el flujo de datos para cada tributario, tanto de subida como de bajada, utilice una longitud de onda distinta y en este caso, la red de distribución óptica es un circuito sencillo de fibra (Fiber Local Loop).

Comparación entre FTTH-PON y FTTH-Dedicado.

Una ventaja que se tiene en FTTH-Dedicado con respecto a la variante PON, es que no se requiere de un protocolo para direccionamiento de paquetes, el protocolo MAC para distribución de datos necesario, desaparece de la Red de Distribución, ya que los canales para cada tributario son independientes; esto además garantiza la utilización de un canal con mayor privacidad, sin embargo, esto repercute drásticamente en los

costos de implementación, ya que cada una de las frecuencias requiere de un láser independiente y, además deben sustituirse los divisores ópticos por “conmutadores ópticos” inteligentes que aseguren a los usuarios la recepción de la correcta longitud de onda, lo cual requiere de una mayor inversión.

Por otra parte, en un sistema Dedicado, no presenta saturación en el sentido de subida ya que no se tiene un solo canal compartido por todos los usuarios para este fin, y en el sentido de bajada solamente se depende de la cantidad de tráfico existente en el Switch ATM, esto nos lleva a poseer un mayor ancho de banda para los usuarios. Las señales entran directamente a la Red de Transporte por el Switch ATM y no se requiere del OLTE, por lo que se evitan puntos de falla y retardos.

Para un sistema dedicado, en el sentido de subida no se presentan retardos entre los canales de los diferentes usuarios porque no se ocupa una técnica de multiplexaje TDM para combinar dichas señales, y de igual manera, tampoco es necesario un ajuste en los receptores ópticos para la potencia de entrada del láser.

III.3.4 Evolución de FTTx hasta FTTH.

El incrementar la capacidad de un sistema de comunicaciones óptico, encuentra su mayor reto cuando se pretende llevar la fibra hasta el interior de la residencia del usuario (FTTH), donde se tiene una transición entre los servicios prestados originalmente en FTTC que consistían únicamente en Servicio Telefónico Vocal (POTS) o ISDN, hasta servicios completos de banda ancha.

El primer acercamiento a FTTH consistió en una variante de FTTC conocida como “FTTC+Coax”, donde el primer paso fue la sustitución del par trenzado de cobre por cable coaxial, lo que significa un mayor ancho de banda y permitió la transmisión de video adicionalmente a los canales telefónicos ya existentes.

El costo de los equipos necesarios para este incremento en el sistema de comunicaciones, varía dependiendo del multiplexaje y formato de la señal utilizados.

Para llevar la señal de video al SAP, pueden utilizarse dos métodos: El primero de ellos, mostrado en la figura 3.24, utiliza la técnica WDM y un receptor óptico adicional en el SAP, que separa la señal de video, la amplifica y la divide para ser transmitida a todos los usuarios mediante un “último tramo” de cable coaxial por cada uno de ellos.

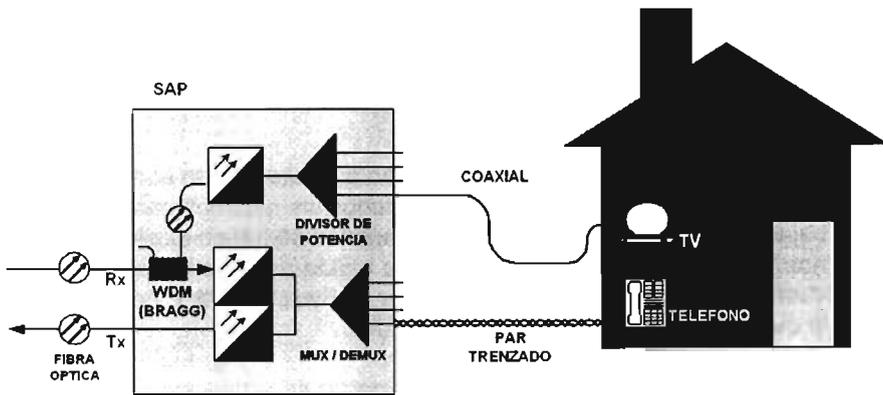


Figura 3.24. FTTC+Coaxial (WDM)

El segundo método utiliza "Multiplexaje de Subportadora" (SCM) y un filtro eléctrico pasa-altas. Las señales vocales y de video son multiplexadas conjuntamente en diferentes señales portadoras y transmitidas al SAP mediante una única señal óptica. En el receptor, las señales son detectadas y los canales de voz son separados de la señal de video por los filtros pasa-altas. El proceso final hasta el cliente es similar al caso anterior.

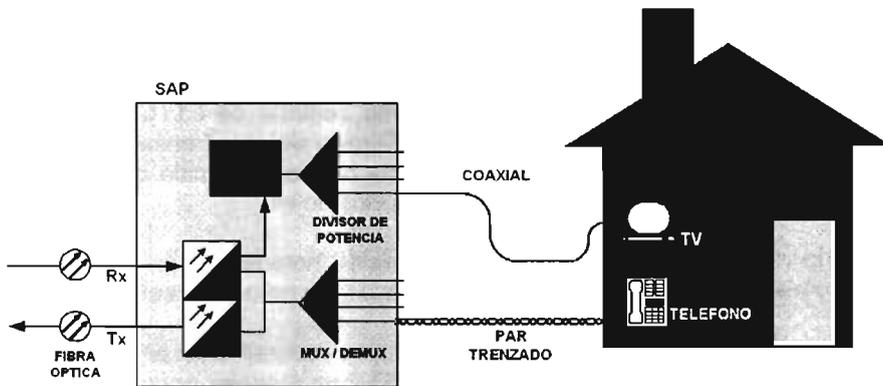


Figura 3.25. FTTC+Coaxial (SCM)

El siguiente incremento en la capacidad del sistema de comunicaciones consiste en llevar la fibra hasta la residencia del usuario, es decir, reemplazar el cable coaxial con fibra óptica, lo que resulta en FTTH. En este caso se presentan dos variantes: recepción de video unidireccional o servicios de banda ancha bidireccionales.

La primera de estas variantes es denominada FTTH-RO (únicamente recepción), ya que a través del medio óptico solamente se reciben los servicios de banda ancha como

transmisión de video, pero los servicios de banda angosta, como telefonía, siguen siendo provistos por par trenzado.

Posteriormente este sistema puede ser actualizado, mediante la instalación de una ONU en el interior de la residencia del usuario, lo cual corresponde a la segunda alternativa mencionada, con servicios de banda ancha bidireccionales.

III.3.5 Mejoras de FTTH para servicios de banda ancha.

El mejoramiento a largo plazo de los sistemas FTTC para brindar servicios de Banda Ancha en sistemas FTTH, es complicado sobre todo debido a que los sistemas de transporte ópticos son compartidos por varios usuarios.

De cualquier manera, en sistemas digitales se puede incrementar la capacidad de transporte, empleando técnicas como TDM, WDM o SDM. Incluso pueden utilizarse en conjunto, incrementando aún más la capacidad del sistema, y suministrando servicios de banda ancha hasta el hogar.

III.3.6 Problemas y logros de FTTx.

Tabla 3.11. Cualidades y defectos de FTTx

	Retos	Facilidades
Medio de Transmisión	Distribución mediante fibra requiere excavación, precisión, equipo costoso y entrenamiento de personal.	Existen técnicas de instalación de fibra y se reducen costos de mantenimiento.
Esquema de Modulación	Modulación QAM16 y QPSK necesitan operar a mayor velocidad.	Las técnicas de Modulación Digital para fibra son simples: Conmutación ON/OFF.
Mitigación de Ruido	A mayor velocidad se tiene menor tolerancia a desperfectos o deterioros en la fibra.	La fibra es totalmente inmune a interferencia y ruido exterior.
Señalización	Deberá contarse con señalización para conmutación de canales de video y audio.	FTTx no requiere Conmutadores de voz, lo que reduce la señalización requerida. PON es un esquema pasivo y no requiere señalización activa.
Capacidad de Manejo de Datos	En todo esquema FTTx, con excepción de FTTH Dedicado, la velocidad de subida es menor que en cable módem.	La alta velocidad de transferencia en la vía de retorno, permite servicios interactivos fiables y de gran calidad.

	Retos	Facilidades
Estándares	Estándares retrasados aún en tecnologías establecidas; para servicios y arquitecturas punto a punto no están definidos. Estándares para VDSL en proceso.	Se cuenta con acuerdos referentes a la Capa Física. Varias Organizaciones deliberan especificaciones para FTTx sin mayor conflicto.
Negocios y Finanzas	Infraestructura costosa. No se cuenta con servicios de alta velocidad altamente confiables. Requerimientos de cambio de cableado en el hogar	Reducción de costos por alimentación y mantenimiento y utilización de presupuesto en actualizaciones. Tráfico de datos reducido en Conmutadores. Plan lógico para transición de ADSL a FTTC y a FTTH.
Mercado	No todo usuario requiere utilizar FSAN. Requerimientos de los clientes pueden satisfacerse con HFC y xDSL. El servicio de Broadcast de Video sobre redes conmutadas está en prueba.	Se cuenta con gran ancho de banda en la vía de bajada, y suficiente en vía de subida para permitir a los usuarios proveer servicios Web.
Regulación	No se tiene regulada la alimentación de la ONU.	Facilidades en requerimientos de alimentación en sistemas de acceso inalámbricos.

Entre todas las variantes de FTTx, se tiene previsto que en un futuro cercano FTTH se vuelva el estándar Internacional para la industria de las Redes de Acceso de Telecomunicaciones, debido a la reducción de costos, a la creciente demanda de redes multi-servicios de Banda Ancha y a la instalación de una arquitectura de redes compatible con tecnologías futuras.

III.3.7 Servicio de Internet en FTTx.

Desde 1997 aproximadamente, compañías de Telecomunicaciones y Servicios de Internet como NT, Bell South, Deutsche Telekom, etc., han empezado a implementar Sistemas de Acceso STM-PON, basados en una arquitectura FTTC, para proveer principalmente servicios de Telefonía y Datos (ISDN), iniciando en aquellas áreas donde el cableado de cobre requiere ser reemplazado. De esta manera, la fibra está siendo instalada hasta unos 50 metros de los hogares, y solamente este pequeño último tramo permanecerá metálico.

Estos proyectos están respaldados por la idea de introducir servicios de Banda Ancha en un futuro muy cercano, con la posibilidad de extender la fibra al interior de las residencias, lo cual implica un esquema FTTH. Las capacidades de transporte de alta velocidad serán introducidas en primera instancia en las redes de acceso para evitar cuellos de botella, sin embargo, será necesario responder a la demanda de un

transporte de alta velocidad global. Esto puede ser logrado mediante esquemas de "transporte compartido", implementados con redes en anillo cuyas tasas de transferencia llegan a un rango de varios Gbps. Esto permitirá el transporte de varias cadenas de datos multimedia de Banda Ancha.

Los proveedores de servicios de Internet, pretenden mejorar los contenidos y capacidades de los servidores Web, incluyendo en éstos, servicios de banda ancha. Si tomamos en cuenta una imagen de alta calidad (archivos JPG, GIF, etc.), que normalmente forman parte de una página Web, podemos observar que presentan tamaños que pueden ir desde 100 KB hasta 1 MB; y el tiempo de bajada puede superar los 10 minutos (tomando en cuenta una conexión a Internet mediante un Módem de 56 Kbps en norma V.90), o empeorar en caso de congestión en el medio de transporte, esto haría el servicio prácticamente inutilizable y más aún para servicios multimedia de banda ancha, donde los requerimientos serían tiempos menores a 1 s para la misma aplicación.

Debido a esto, se presentan proyectos en FTTC, en los cuales, cada PC está interconectada al ruteador IP mediante un canal virtual único, donde el ancho de banda total que será compartido por estos canales virtuales está reservado para tal fin.

Así, cada usuario puede utilizar el total del ancho de banda de su canal particular, a un costo máximo equivalente a aquel que se presenta en un servicio telefónico; además, ya que el tráfico de datos en una computadora es intermitente, los usuarios no notarán degradación alguna en el rendimiento de la conexión.

Una red LAN para una mediana empresa, con interfaz Fast Ethernet (10/100 Mbps) puede ser fácilmente soportada utilizando un sistema de acceso tipo PON de 152 Mbps e incluso manejar tasas de transferencia mayores alcanzando 1 Gbps, sustituyendo el cable metálico por fibra, llevando el esquema a una arquitectura FTTH.

Por otro lado, para asegurar un alto rendimiento de comunicación en redes de computadoras, otros aspectos deben tomarse en cuenta. Con respecto a los protocolos, la longitud de un paquete IP debería ser la longitud máxima de un paquete de datos, y en lugar de TCP se presentan esquemas como el DMA, para lograr transferencias mayores a 100 Mbps entre computadoras.

III.4 Comunicaciones de Banda Ancha por la Red de Distribución Eléctrica (PLC).

III.4.1 Definición del PLC.

PLC (Power Line Communications), también conocida como DPL (Digital Power Line) ó BPL (Broadband Power Line), son las siglas en inglés para la tecnología que permite ofrecer servicios de telecomunicaciones a través de las líneas de distribución de energía eléctrica existentes.

Esta tecnología es y ha sido utilizada anteriormente, incluso sobre líneas de alta tensión, sin embargo por las características de estas líneas de transmisión de energía como son la longitud, la respuesta en frecuencia, el ruido Corona (intrínseco a la línea), ruido impulsivo, etc., los anchos de banda utilizados son muy pequeños, siendo actualmente del orden de 64 kbps como máximo y en condiciones óptimas.

El uso de esta tecnología se ha extendido para proveer se servicios de Banda Ancha, pero esto solamente es posible sobre las líneas de distribución, es decir, sobre líneas de media y baja tensión, y es imposible realizarlo sobre líneas de alta tensión debido a que estas son sumamente ruidosas y la relación Señal a Ruido (S/N) totalmente negativa no permite alcanzar altas velocidades de transmisión.

Las comunicaciones en este sistema se realizan de manera bifilar sobre las líneas que fueron diseñadas originalmente para una transmisión de una señal de energía de baja frecuencia (50 ó 60 Hz), y el rango de frecuencias que se utiliza se encuentra entre 1.6 y 40 MHz. Además se requieren potencias de transmisión elevadas (del orden de 40 W), ya que el sistema debe ajustarse constantemente a las condiciones del medio.

III.4.2 Arquitectura de los sistemas PLC.

Las líneas de transmisión y distribución eléctrica parten desde la central Generadora de Energía hasta los hogares u oficinas de los usuarios finales, y se dividen en tres tramos:

- El tramo de alta tensión (220 a 400 Kv), que va desde el Transformador elevador a la salida de la Generadora hasta la primera Subestación de Transporte.
- El tramo de tensión media es aquel que va desde la primera Subestación de transporte hasta las subestaciones de Distribución con una tensión de 66 a 132 Kv, y posteriormente de la Subestación de Distribución a los centros de Distribución, con una tensión de 10 a 50 Kv.
- Finalmente, el tramo de baja tensión, corresponde a las líneas que van desde los centros de distribución hasta el usuario final. En México son de 125 volts de corriente alterna.

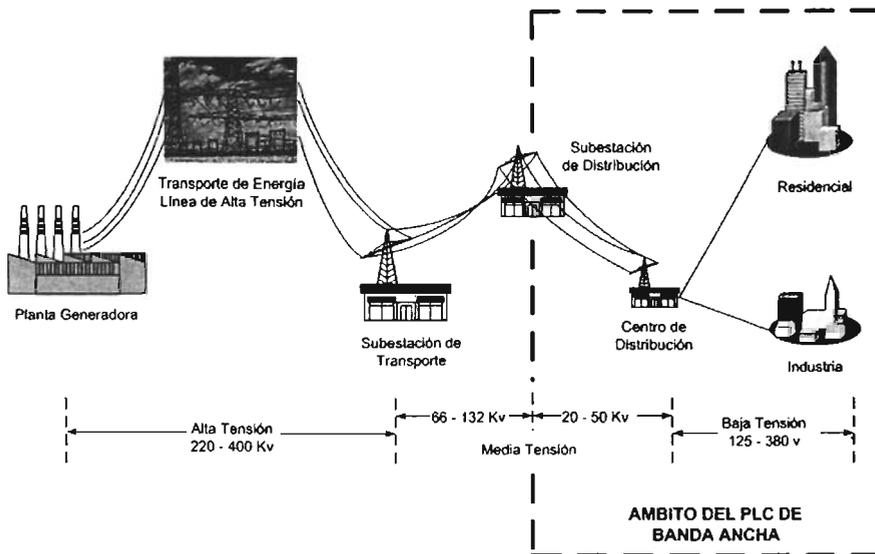


Figura 3.26 Arquitectura de Red en sistemas PLC.

El sistema PLC de Banda Ancha cubre solamente los enlaces de acceso ó de “ultima milla”, ya sean residenciales ó para PyME’s, por lo que requiere del soporte de una red de transporte de datos que permita a los usuarios acceder a los servicios e información proveniente de otras redes ó del Internet.

III.4.2.1 Dispositivos utilizados en un sistema PLC.

Módem PLC.

Este dispositivo es instalado en el hogar ú oficina del abonado y permite la transmisión y recepción de voz y datos. El módem PLC se conecta a través de las tomas de energía

Repetidor.

Es instalado generalmente en algún cuarto de medidores centralizado de la compañía de Energía. Este dispositivo mantiene las conexiones hacia los módems PLC de los usuarios, y su función principal es regenerar la señal de comunicaciones proveniente de la línea de media tensión, así como la recolección de las señales provenientes de los usuarios. Es posible la conexión de hasta 256 abonados por repetidor.

Head End ó Gateway.

Este dispositivo mantiene la conexión con los equipos repetidores y además hacia los enlaces con los proveedores de servicios de Telecomunicaciones.

III.4.2.2 Topología de Red.

La topología de una Red de comunicaciones PLC es simple, consiste en múltiples conexiones de los módems PLC de los abonados hacia el equipo repetidor sobre los tramos de baja tensión. En este enlace se tiene una conexión asimétrica a 45 Mbps, distribuida en 27 Mbps en la trama de bajada y 18 Mbps en la trama de subida. Esta tasa de transferencia es compartida por varios usuarios, de tal manera que si en un mismo repetidor hay 10 abonados activos, la velocidad teórica de bajada para cada uno de ellos sería de 2.7 Mbps, sin embargo si el número de abonados es de 100, solamente tendrán 270 kbps.

El siguiente tramo, sobre la línea de media tensión, corresponde al enlace entre los equipos repetidores y el equipo Head End. La interconexión entre equipos Head End ó Backbone, se realiza mediante sistemas de transporte de alta velocidad como son los sistemas SDH/SONET, ATM, redes Gigabit Ethernet, etc., con tasas de transferencia superiores a los 135 Mbps.

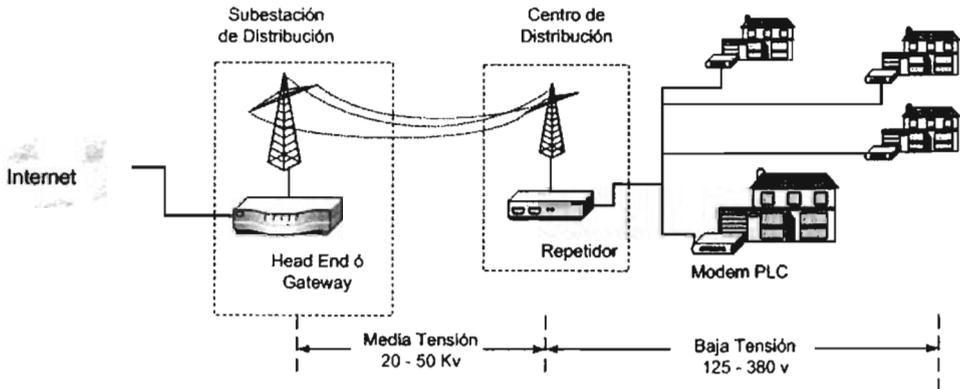


Figura 3.27 Topología de Red.

III.4.3 Modulación empleada en PLC.

La señal de comunicaciones en un sistema PLC es modulada entre 1.6 y 40 MHz dependiendo del sistema. No existe actualmente un estándar ó norma que lo regule, sino que existen varios proveedores con sistemas incompatibles entre sí, incluso utilizan esquemas de Modulación diferentes.

Básicamente se utilizan tres tipos de modulación:

- Modulación en espectro Disperso de Secuencia Directa (DSSSM).
- Multiplexaje por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM).
- Conmutación Alternada de Mínimos Gausianos (GMSK).
-

Estos tres sistemas utilizan el rango de HF dentro del Espectro Radioeléctrico (Onda Corta), sin embargo tienen diferentes capacidades que dependen de la modulación que cada uno utiliza. Por ejemplo, un sistema con modulación GMSK, tiene tres grupos de portadoras en cada sentido, con una capacidad entre 0.75 y 1.5 Mbps cada portadora, mientras que en un sistema con modulación OFDM, el cual también utiliza tres grupos de portadoras en cada sentido, es más eficiente y flexible. En este caso existen diferentes variantes: puede tener 84 portadoras en un ancho de banda de 4.5 a 21 MHz con una capacidad total de 14 Mbps ó bien, 1280 portadoras en un ancho de banda de 4.5 a 30 MHz con capacidad de 45 Mbps (27 Mbps en trama de bajada y 18 en la trama de subida). La principal ventaja del sistema mediante modulación OFDM consiste, además de una mayor velocidad de transferencia, en que es fácilmente adaptable a los cambios en las condiciones de la línea de transmisión de manera automática, incluso inserta filtros ó bloquea aquellas portadoras donde la Relación Señal a Ruido sea muy baja y se cause interferencia en el enlace.

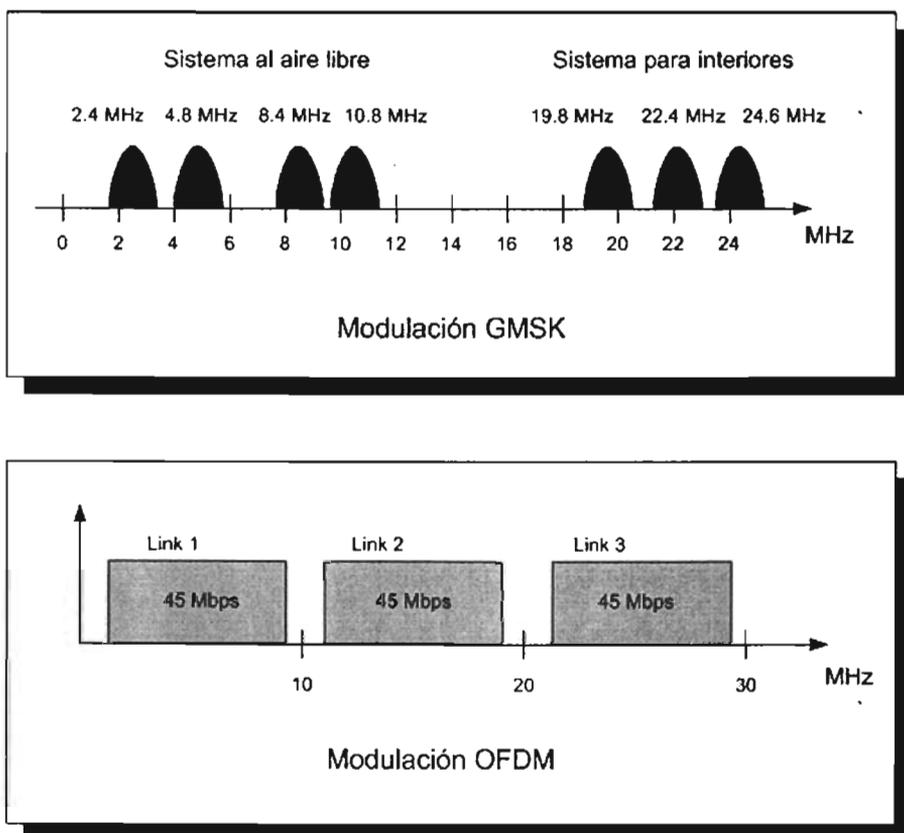


Figura 3.28 Espectro de Frecuencias utilizadas en PLC.

III.4.4 Características Generales del Sistema PLC.

- Comunicaciones de banda ancha para múltiples usuarios.
- Proceso de instalación sencillo, rápido y económico.
- Toma única de alimentación, voz y datos (Enchufe eléctrico).
- No requiere cableado adicional ni obra civil.
- Transmisión simultanea de servicios de Voz y Datos.
- Conexión permanente.
- No interfiere con el suministro de energía eléctrica.
- Fácil instalación en lugares de difícil acceso.

Referencias

ABE GEORGE, "Residential Broadband", Cisco Press 2000, .213 pp.

ADAMS, M.; DULCHINOS, D., "OpenCable", IEEE Communications Magazine, Vol 39, No 6, Junio, 2001, págs 98 – 105

AZCORRA ARTURO, LARRABEITI DAVID, HERNANDEZ ENRIQUE J.Y BERROCAL JULIO, "IP/ATM Integrated Services over Broadband Access Copper Technologies", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, págs.90 – 97.

CHEN, WALTER Y, "The Develoment and standardization of Asymetrical Digital Suscriber Line", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, págs.68 – 72.

CICIORA, W.S., "Cable modem traffic jam", IEEE Spectrum, Vol 38, No 6, Junio 2001, págs.48 – 53

COOK JOHN W., KIRKBY ROB H., BOOTH MARTIN G., FOSTER KEVIN T., CLARKE DON E. A.Y YOUNG GAVIN, "The noise and Crosstalk Environment for ADSL and VDSL Systems", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, págs 73 – 78.

DONALDSON, G.; JONES, D., "Cable television broadband network architectures", IEEE Communications Magazine, Vol 39, No 6, Junio 2001, págs.122 -126

EDENS, G.T., "Home networking and the Cable Home project at CableLabs", IEEE Communications Magazine, Vol 39, No 6, Junio 2001, págs 112 – 121

GORALSKI WALTER, "xDSL Loop Qualification and testing", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, págs.79 – 83.

GREEN, R.R., "The emergence of integrated broadband cable networks", IEEE Communications Magazine, Vol 39, No 6, Junio 2001, págs.77 – 78

<http://www.synchronous.net/applications/fttx.html>

KWOK TIMOTHY C., "Residential Broadband Arquitecture Over ADSL and G.Lite (G.992.2): PPP over ATM", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo, 1999, págs.84 – 89.

M.O.VOGEL, "Fiber to the Curb Systems: Architecture Evolution", IEEE 1990.

NARUMIYA KEN'ICHI, "A Consideration of ADSL Service under NT's Network", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, págs.98 – 101.

NORHIKO MORINAGA, "Technological Fusion of Optical Fiber System and Wireless System", ICPWC 1997, IEEE, p.248.

PANTIJAROS, et al, "Broadband services Delivery Over an ATM PON FTTx System", MeleCon 2000, Vol.1, IEEE, pág.225.

PATCH, ANDRZEJ Y PAPIR, ZDZISLAW "Broadbad Access Copper Technologies", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, pág.58.

PATCH, ANDRZEJ Y PAPIR, ZDZISLAW, "Competing for throughput in the local loop", IEEE Communications Magazine, Vol 37, No 5, Mayo 1999, págs.61 – 66.

IV

SISTEMAS INALAMBRICOS DE BANDA ANCHA

IV.1 Sistema de Acceso Inalámbrico MMDS

El sistema de acceso inalámbrico de banda ancha MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) ó Sistema de Distribución Multicanal Multipunto, conocido originalmente como "Cable Inalámbrico" fue diseñado en un inicio para la transmisión de Televisión analógica, sustituyendo al cable coaxial. El sistema MMDS consistía en 33 canales analógicos de TV, con un ancho de banda de 6 MHz cada uno, operando a manera de Broadcast ó Radiodifusión dentro del rango UHF del espectro radioeléctrico.

Cada canal puede alcanzar tasas de transferencia de hasta 27 Mbps (utilizando bandas del espectro no licenciadas: 99 MHz, 2.4 GHz, y 5.7 a 5.8 GHz) ó tasas de transferencia de 1 Gbps sobre bandas del espectro licenciadas para el servicio de MMDS.

La evolución de la tecnología digital permitió convertir a esos 33 canales analógicos del sistema MMDS en 99 tramas digitales bidireccionales de 10 Mbps, habilitando esta red inalámbrica para proveer servicios de telefonía, video y datos y proporcionar el acceso de "última milla" a pequeñas y medianas empresas, a los sistemas de comunicaciones de Banda Ancha e Internet.

Este sistema trabaja dentro del rango de frecuencias de 2.5 a 2.686 GHz, que es típicamente un bloque de 200 MHz del espectro radioeléctrico asignado para el servicio MMDS, y usa tecnologías de celularización, sectorización y modulación OFDM. Una característica importante del sistema es que por la banda de frecuencias usada, requiere de línea de vista entre la antena transmisora y la antena del equipo receptor del cliente, la señal mantiene una cobertura amplia y libre de interferencias si es que se utilizan canales licenciados.

El servicio es distribuido desde una estación base terrena, localizadas en el punto de mayor altitud de un área metropolitana, mediante una antena omnidireccional, con lo cual se puede cubrir un área con un radio cercano a los 100 km, dependiendo de las características topográficas del terreno. Una compañía proveedora de servicio MMDS puede entonces tener una capacidad de 1 Gbps utilizando un solo transmisor y con una gran área de cobertura, sin embargo esta capacidad puede ser multiplicada si se utilizan conceptos de sectorización de la célula y reutilización de frecuencias.

El FCC admite para la transmisión digital en el sistema MMDS método de acceso CDMA y esquemas de modulación QPSK, VSB y QAM, asignando hasta 5 bits/Hz, para una tasa de transferencia total de 1 Gbps.

Los servicios que se pueden proporcionar a través de este sistema a los suscriptores, tanto residenciales como comerciales, son los siguientes: Acceso a Internet, aplicaciones de Voz y Datos, Conexión "siempre en línea" (no se necesita de una línea telefónica para estar conectado al sistema). Actualmente, la aplicación principal de los sistemas MMDS, consiste en proporcionar acceso a Internet, lo cual cambió radicalmente el concepto original de transmisión unidireccional de televisión analógica. Una conexión MMDS opera como cualquier otra conexión a un ISP, tratándose de una

conexión Ethernet vía un Módem inalámbrico, con tasas de transmisión que van de los 500 Kbps hasta los 3 Mbps en la trama de bajada y 256 kbps en la trama de subida por usuario, lo cual es ideal para proveer acceso de banda ancha a clientes residenciales y PYME's.

Se han propuesto nuevas bandas de frecuencia dedicadas a servicios MMDS, sin embargo, en rangos de frecuencias más bajas existen contraposiciones por sectores gubernamentales y comerciales, además de requerirse mayores potencias de transmisión y antenas de mayor ganancia, lo que incrementa los costos del sistema. Rangos de frecuencias más altas no son adecuados para sistemas MMDS debido a la atenuación de espacio libre.

IV.1.1 Arquitectura de Red

El sistema de banda ancha MMDS proporciona un enlace inalámbrico entre el equipo del suscriptor (CPE) y la estación base en una célula determinada. Las estaciones base a su vez, están conectadas entre sí a través de enlaces WAN, por medio de ruteadores.

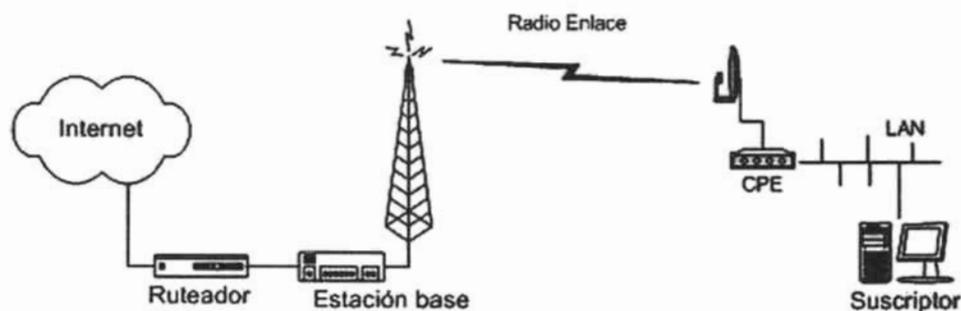


Figura 4.1 Componentes básicos del Sistema MMDS

Las estaciones base y los equipos CPE constituyen un sistema distribuido LAN inalámbrico, en el cual se transmiten paquetes de datos entre la estación base y los CPE. El sistema está diseñado para transmitir datos a nivel capa 2 del Modelo OSI y está optimizado para manejar el protocolo IP.

Los beneficios de la implementación a nivel de capa 2 ó capa de enlace del modelo OSI son:

- Proporcionar mayor flexibilidad para la asignación de direcciones IP.
- Permite movilidad del CPE entre sectores y estaciones base cuando sea necesario.
- Configuración simple comparada con sistemas de capa 3.
- Puede manejar diferentes protocolos de red y de capas superiores.

IV.1.1.1 Equipo Terminal del Suscriptor CPE

El equipo terminal del suscriptor combina funciones de transmisión, recepción, modulación, demodulación y mantiene la comunicación por radio con la estación base del sitio celular al que pertenece.

Los suscriptores pueden conectar el CPE a su equipo de cómputo, utilizando una tarjeta de red ó bien, el equipo se puede usar en un entorno multiusuario, es decir, el CPE puede trabajar dentro de una red LAN de computadoras personales para servir a varios suscriptores. Para los entornos multiusuarios, el ISP puede configurar el número de suscriptores o hosts que se conectan a través de un enlace inalámbrico y por consiguiente, permitirles el acceso a la red. Esta información se almacena en el servidor de autenticación del ISP, sin embargo los suscriptores pueden instalar un servidor de traducción de dirección de red (NAT), y un CPE puede servir para cualquier número de hosts.

Funciones del Equipo Terminal del Suscriptor

El equipo terminal del cliente tiene las siguientes funciones:

- Proporciona el acceso a la red del ISP.
- Busca y monitorea la señal de la estación base del sitio celular en el que este pertenece.
- Mantiene el contacto con la estación base.
- Administra el tráfico de datos con la estación Base.
- Notifica a la estación base sobre los hosts que han obtenido acceso a la red, lo que permite a la estación base direccionar los paquetes de datos.

Operación del Equipo Terminal del Suscriptor

Cuando el suscriptor enciende el CPE, éste localiza la señal de la estación base.

Cuando el CPE descubre una señal de calidad suficiente, se registra con la estación base que emite dicha señal, y adquiere el acceso a la red.

Después de que es registrado, el CPE obtiene una dirección IP mediante un servidor DHCP. Sin la asignación de una dirección válida el CPE no podrá tener acceso a Internet. Después de que el servidor DHCP ha asignado dirección IP al CPE, este empieza a transferir paquetes de datos con la estación base.

Ya en línea, el CPE reconoce a que red local pertenece para empezar a intercambiar paquetes de datos entre los hosts pertenecientes a esa red LAN o hacia Internet.

El CPE puede intercambiar de estación base cuando la calidad de la señal se degrada, puede buscar la señal de otra estación base y realizar un proceso de *Handover* y conmutarse a la estación base que le proporcione la mejor señal.

Las antenas en el equipo del suscriptor están diseñadas para recibir señales polarizadas horizontal ó verticalmente. La señal de microondas es dirigida hacia un

convertidor de bajada, el cual descanaliza los servicios de voz y datos y los canales analógicos son convertidos a señales estándar de televisión VHF ó UHF.

IV.1.1.2 La Estación Base

La estación base proporciona la comunicación entre los CPE y la red dorsal de acceso ó *Backbone* dentro de un área de cobertura ó célula determinada, la cual puede a su vez estar dividida en varios sectores. Una configuración celular típica es de seis sectores, con una estación base por sector, y en cada sector se usa un canal de 6 MHz; es decir, hay un reuso de frecuencias uno a uno por célula, usando 6 canales de 6 MHz.

La conexión entre estaciones base se lleva a cabo mediante enlaces WAN utilizando ruteadores. La estación base puede cubrir un radio de 4 a 30 kilómetros como máximo.

La estación base se diseña para operar como un switch LAN inalámbrico, con las siguientes características.

- Arquitectura Celular con reuso de frecuencias.
- Utiliza el Protocolo TDD que permite la negociación de la tasa de transferencia de los canales de subida y bajada del CPE.
- Transmisión mediante modulación OFDM.
- Utiliza el sistema GPS, el cual permite la sincronización de los relojes del equipo.
- Administración mediante SNMP.

Funciones de la Estación Base

Las estaciones base realizan las siguientes funciones:

- Mantienen el contacto con los CPE.
- Conmutan los paquetes de datos hacia el CPE correcto.
- Reservan ranuras para canales de regreso de los CPE.
- Proporciona herramientas de administración y de solución de problemas tanto para la estación base como para los CPE.

Modo de Operación de la Estación Base

Las estaciones base operan de la manera siguiente:

La estación base difunde continuamente una señal a manera de *Broadcast* para supervisar a los equipos CPE. Una vez que la estación base recibe un paquete de registro de un CPE, la estación establece una conexión TCP/IP con el servidor de autenticación del proveedor de acceso. Una vez autenticado el CPE, el servidor del proveedor de acceso envía solicitud de autenticación hacia el servidor de autenticación del ISP. El servidor de autenticación del ISP recibe la solicitud del servidor del Proveedor de Acceso para autorizar al CPE transmitir y recibir datos a través del ISP. Una vez que el CPE es registrado, el Host conectado al CPE obtiene una dirección IP válida. La estación base esta lista para transmitir datos hacia el CPE.

El proveedor de acceso conecta la red de estaciones base de una célula a la red dorsal de acceso, usando un switch de capa 2. El mismo switch se usa para conectar el ISP con la red de acceso.

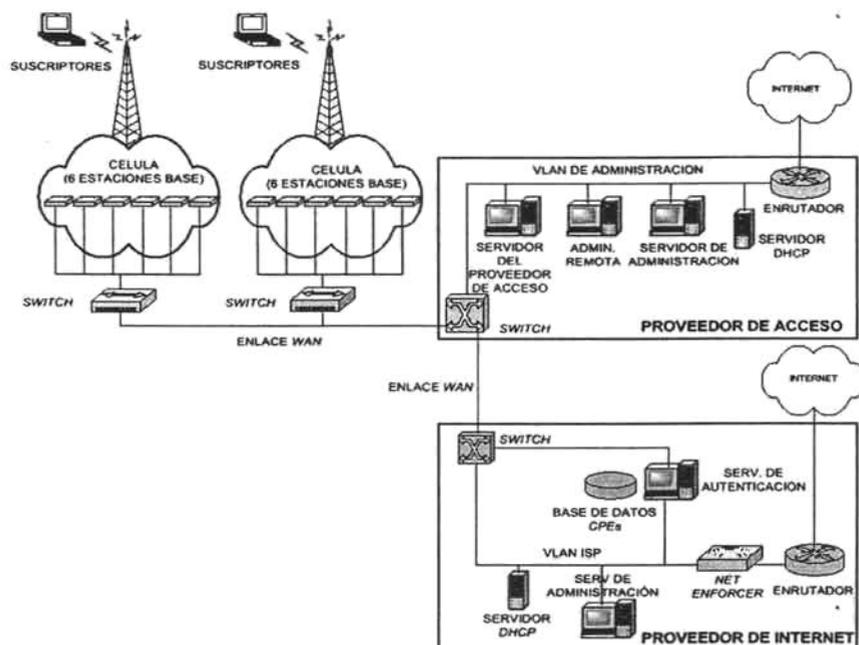


Figura 4.2 Sistema de Acceso Inalámbrico MMDS

En la siguiente tabla se describe cada uno de los componentes de la arquitectura de un sistema MMDS:

Tabla 4.1 Descripción de los Componentes de la Arquitectura

CPE interior	Establece y mantiene las comunicaciones por radio con la estación base de un sitio celular. El CPE combina funciones de transmisión, recepción, modulación y demodulación de señales, permitiendo a un suscriptor recibir servicios de Internet de banda ancha.
CPE exterior	El CPE exterior cumple con las funciones anteriores, pero agrega seguridad física al equipo, para su instalación a la intemperie.
ISP VLAN	El ISP conmuta el tráfico de los usuarios a través de una VLAN, la cual tiene el Gateway ó salida hacia Internet. El ISP define el esquema de numeración de estas VLAN y puede establecer más de una VLAN para aumentar la capacidad de la carga de tráfico.

Servidor de autenticación	<p>El ISP debe tener por lo menos un servidor de autenticación en su red, el cual contiene la base de datos de los CPEs que son reconocidos por la red. El servidor de autenticación se comunica con la red de acceso a través de la VLAN de control.</p> <p>Una interfaz XML conecta el servidor de autenticación con el servidor de administración. El servidor de autenticación mantiene comunicación el NetEnforcer.</p>
NetEnforcer	<p>Dispositivo que controla y valida los tipos y las políticas de servicio de los CPEs.</p>
Switch	<p>El switch en la red del ISP es el que recibe y dirige el tráfico de datos hacia proveedor de acceso. Si el ISP tiene más de un VLAN, éste dirige el tráfico a la VLAN apropiada.</p>
Ruteador	<p>Dirige el tráfico en una red TCP/IP.</p>
Servidor DHCP	<p>Un servidor de DHCP asigna dinámicamente las direcciones IP a los hosts que están conectados a los CPE.</p>
Servidor de tarificación y administración.	<p>El servidor de tarificación guarda la información del cliente como el nombre, dirección, servicios e información de pago.</p>
VLAN de administración	<p>Esta VLAN es usada por el proveedor de acceso, para administrar las estaciones base.</p>
VLAN de control	<p>La VLAN de control es la ruta entre el servidor del proveedor de acceso y el servidor de autenticación del ISP. El proveedor de acceso usa esta VLAN para preguntarle al servidor de autenticación información sobre el CPE; y el proveedor de red la usa para preguntarle al proveedor de acceso información sobre diagnósticos del equipo.</p>
Servidor del Proveedor de acceso	<p>El servidor del proveedor de acceso actúa cuando la petición de registro de un CPE llega a la VLAN de administración y este la tiene que reenviar al servidor de autenticación del proveedor de Internet. Si el CPE es permitido, el servidor del proveedor de acceso, proporciona a la estación base la autorización para alojar al CPE.</p>
Servidor de administración de red	<p>El servidor de dirección de red aloja aplicaciones para administrar la red a través del protocolo SNMP.</p>

IV.1.2 Planificación de Red

IV.1.2.1 Diseño Celular con Modelo de Seis Sectores

El sistema MMDS opera en la banda de 2.5 a 2.686 GHz. Este rango de frecuencias esta dividido en 31 canales de 6 MHz, típicamente asignados en bloques de cuatro.

El diseño de seis sectores requiere un mínimo de seis canales. Si se obtienen dos bloques de cuatro canales, se pueden usar seis de estos canales para los sectores normales en una célula, y mantener dos canales libres para situaciones de emergencia.

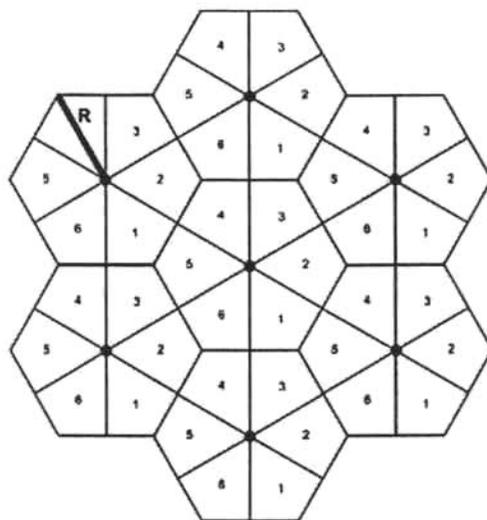


Figura 4.3 Diseño celular de seis sectores.

Características de la célula de seis sectores

- El área teórica cubierta por una célula de seis sectores es: $2.6 \cdot R^2$, donde R es la distancia del centro al vértice del hexágono.
- El centro del hexágono es la ubicación de un sitio celular con seis estaciones base, las cuales atienden cada una a un determinado sector.
- Las antenas tienen una distancia radial de 60° .
- En cada sector se utiliza una frecuencia distinta, lo que permite reutilización de frecuencias entre células adyacentes.
- La interferencia co-canal mas grave ocurre en el punto de intersección entre tres células, ya que un equipo CPE recibe señal de tres células distintas, las cuales radian en la misma frecuencia y en la misma dirección.

IV.1.2.2 Diseño Celular con Modelo de Cuatro Sectores

Existen dos formas de células de cuatro sectores, dependiendo del número de canales disponibles.

Características de la Célula de 4 sectores con 8 canales

- El área teórica cubierta por una célula de cuatro sectores es $4 \cdot L^2$ donde L es la distancia del centro a un lado del sector.
- En el centro de los cuatro sectores se ubica el sitio celular con cuatro estaciones base.
- Las antenas tienen una distancia radial de 90° .
- En cada sector se utiliza una frecuencia de transmisión distinta, por lo que dos bloques de cuatro frecuencias cubren las necesidades de dos células adyacentes, sin embargo no existen frecuencias libres para emergencias.
- Las células laterales no producen interferencia co-canal.

L	3	8	7	4	3
1	2	5	6	1	2
8	7	4	3	8	7
5	6	1	2	5	6
4	3	8	7	4	3
1	2	5	6	1	2

Figura 4.4 Diseño de células de 4 sectores con 8 canales.

Características de la Célula de 4 sectores con 4 canales

- El área cubierta por una célula de 4 sectores es $4 \cdot L^2$, donde L es la distancia del centro a un lado del sector.
- En el centro de los cuatro sectores se ubica el sitio celular con cuatro estaciones base.
- Las antenas tienen una distancia radial de 90° .
- En cada sector se utiliza una frecuencia de transmisión distinta, sin embargo en este caso solamente se cuenta con un bloque de cuatro frecuencias, por lo que el patrón se repite con mayor frecuencia.
- No hay canales disponibles para situaciones de emergencia.
- En este caso, todas las células adyacentes producen interferencia co-canal.

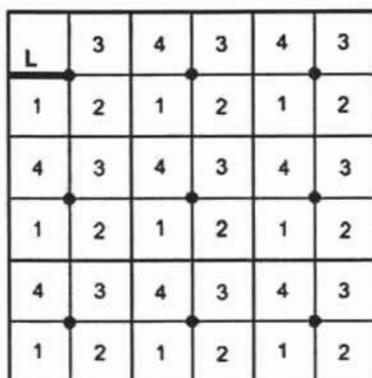


Figura 4.5 Diseño de una células de 4 sectores con 4 canales.

IV.1.2.3 Densidad de Suscriptores por Célula

La selección en el tamaño de la célula depende de la densidad de suscriptores y la capacidad de transferencia. En las tablas 4.2 y 4.3 se muestran las densidades de suscripción y las tasas de transferencia del canal de bajada para células de diversas áreas de cobertura en un diseño de seis y cuatro sectores respectivamente.

Tabla 4.2 Capacidades de una célula de 6 Sectores

	célula de 8 Km.	célula de 4.8 Km.	célula de 1.6 Km.
Área de la célula	166 Km ²	60 Km ²	6.6 Km ²
kbps por Km ²	355.416	987.268	8885.414
kbps por Km ² por canal	59.23	164.5	1480.9
Suscriptores activos por km ²	10.81	30	45
Suscriptores activos por km ² por canal	1.8	5	7.5
Suscriptores por km ²	54.08	150.24	225.35
Suscriptores por km ² /por canal	9.01	25.04	37.55

Tabla 4.3 Capacidades de una célula de cuatro Sectores

	célula de 8 Km.	célula de 4.8 Km.	célula de 1.6 Km.
Área de la célula	128 Km ²	46.08 Km ²	6.6 Km ²
kbps por Km ²	308.02	855.63	7700.69
kbps por Km ² por canal	51.33	142.6	1283.44
Suscriptores activos por km ²	14	39.1	351.56
Suscriptores activos por km ² por canal	2.34	6.5	58.59
Suscriptores por km ²	70	195.3	1757.8
Suscriptores por km ² /por canal	11.7	32.5	293

Algunas células pueden presentar una concentración alta de suscriptores, mientras que otras presentarán una menor concentración.

Para satisfacer estas necesidades en las áreas de mayor concentración de suscriptores, se puede fragmentar una determinada célula en células más pequeñas. Sin embargo, debido a la interferencia co-canal, se debe prestar especial atención a la potencia con la que transmiten las antenas para cada sector y diseñar cada célula cuidadosamente.

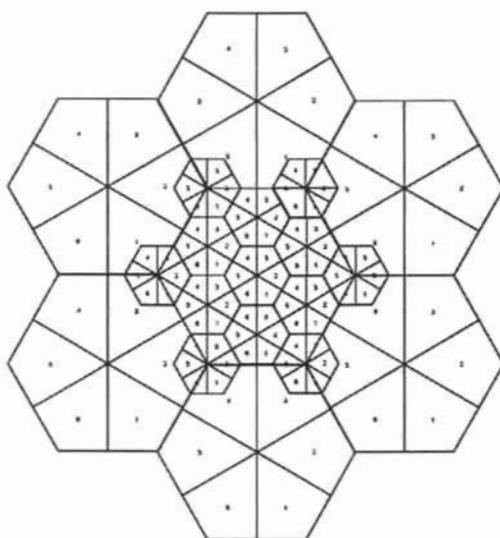


Figura 4.6 Diseño celular con diferentes densidades de suscripción.

La figura anterior muestra células de seis sectores con una alta densidad de suscriptores, rodeadas por células de seis sectores cuyo radio es del triple, pero con una menor densidad. La figura también muestra que algunas células han perdido protección contra interferencia co-canal. Se puede aumentar la potencia de las estaciones en células grandes, mientras que para células pequeñas, la potencia debe ser menor.

El sistema MMDS es capaz de operar en un modo extendido, es decir permite el uso de células con un radio de hasta 30 kilómetros. Estas células se usan para cubrir un área rural.

Cada célula debe contar con una estación base por cada sector dentro de ella. El proveedor de acceso, normalmente elegirá una configuración de seis sectores. Las capacidades de transmisión y recepción de las antenas base son las siguientes, para transmitir, la estación base tiene un rango de 1.364 a 3.198 Mbps. Para recibir, tiene un rango de 198 a 1249 kbps. Estas capacidades responden a la asimetría con que trabaja Internet, ya que los suscriptores típicamente reciben más información de la que transmiten.

IV.1.3 Administración de la Red

El proveedor de acceso de red puede administrar y configurar las estaciones base remotamente mediante protocolo SNMP. Los equipos CPE pueden administrarse desde y a través de las estaciones base. La administración incluye información estadística de uso del enlace, configuración de servicios, actualización de software y seguridad.

IV.2 Sistema de Acceso Inalámbrico LMDS

LMDS por sus siglas en Inglés (*Local Multipoint Distribution System*) ó Sistema de Distribución Local Multipunto, es un sistema de comunicaciones inalámbricas de banda ancha, que opera cerca de los 25 a 30 GHz (dependiendo del país y las licencias); y puede utilizarse para transmitir de manera bidireccional servicios de voz digital, datos, acceso a Internet y video.

Normalmente se han desplegado redes inalámbricas punto a punto para ofrecer enlaces entre nodos de alta densidad en una red. Los adelantos más recientes en tecnologías punto a multipunto ofrecen un método para proporcionar alta capacidad de acceso local, fácil de implementar y a menor costo que una solución alámbrica, y capaz de ofrecer una combinación de aplicaciones y servicios. LMDS mantiene una eficaz solución de acceso para entregar servicios directamente a los usuarios finales.

La característica principal de los sistemas LMDS y diferencia de los sistemas MMDS, es que por el rango de frecuencias más altas que utilizan, la atenuación de espacio libre es mucho mayor y el área de cobertura es por consiguiente reducida, con un radio cercano a los 8 km para áreas de alta densidad, y esta característica es precisamente la que le da el nombre de "Local"; aunque en terreno abierto y con una menor densidad de suscriptores, la cobertura puede ser un poco mayor.

Los beneficios de un sistema LMDS pueden resumirse como sigue:

- Bajos costos de implementación.
- Facilidad y rapidez de implementación (los sistemas pueden implementarse rápida y transparentemente hacia los usuarios finales).
- Rentable (como resultado de su rápida implementación).
- Basado en demanda (arquitectura escalable que emplea estándares de industria abiertos que aseguran servicio y crecimiento).
- Desplazamiento de costos fijos a variables (con los sistemas cableados tradicionales, la mayor parte de la inversión de capital está en la infraestructura, mientras con LMDS un porcentaje mayor se cambia al CPE; un operador sólo invierte cuando consigue nuevos clientes).
- Mantenimiento de la red rentable, así como de administración y de operación

IV.2.1 Estándares

Como los métodos de acceso inalámbrico de LMDS evolucionan, los estándares se incrementan de manera importante. La estandarización es realizada por el Forum de ATM, el Consejo de Video y Audio Digital (DAVIC), el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). La mayoría de estos estándares usan celdas de ATM como el mecanismo principal de transporte.

Como resultado de las características de la propagación de señales en este rango de frecuencias, los sistemas LMDS usan células como arquitectura de red, a pesar de que los servicios que proporciona son fijos. "En Estados Unidos de América se ha identificado espectro en las bandas de 27.50 a 28.35 GHz, 29.10 a 29.25 GHz y 31.0 a 31.3 GHz; Canadá ha identificado espectro de 25.35 a 28.35 GHz. En general, todos estos planes de división de frecuencias están basados en estudios de la UIT. Considerando que el desarrollo de LMDS se ha dado en mayor medida en las bandas de frecuencias alrededor de los 28 GHz y 31 GHz, se estima conveniente que el despliegue de estos sistemas se lleve a cabo en México de manera inicial en estas mismas bandas"¹.

IV.2.2 Arquitectura de la Red

Varias arquitecturas de red son posibles dentro del diseño de un sistema LMDS. La mayoría de los operadores del sistema optará por un diseño de acceso inalámbrico punto a multipunto, aunque pueden proporcionarse sistemas punto a punto y sistemas de distribución de Televisión dentro del sistema LMDS. Se espera que los servicios de LMDS sean una combinación de voz, datos y video, por lo cual el modo de transferencia asincrónica (ATM) y el protocolo de Internet (IP) son las metodologías de transporte más prácticas para la infraestructura de telecomunicaciones.

Un sistema LMDS consiste principalmente de 4 secciones: Centro de Operación de la Red (NOC), Backbone con Infraestructura basada en fibra, la Estación Base y el CPE.

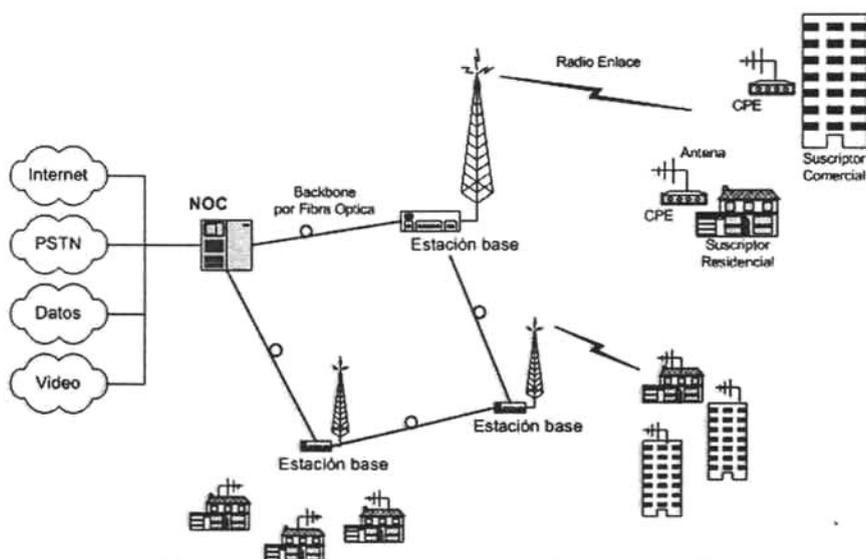


Figura 4.7 Componentes básicos del Sistema LMDS.

1 Recomendación para la Licitación de Bandas de Frecuencias. Sistemas de Distribución Local Multipunto (LMDS); www.cofetel.gob.mx.

El NOC proporciona administración de la red a regiones gran densidad de suscriptores mediante sistemas NMS.

La infraestructura basada en fibra consiste típicamente en una red óptica síncrona SDH ó SONET con enlaces ópticos STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, OC-1, OC-3, OC-12 y DS-3; switches ATM e IP y enlaces hacia Internet y el sistema telefónico público (PSTN).

La estación base es donde se convierte de la infraestructura de fibra a la infraestructura inalámbrica. El equipo de la estación base incluye el equipo terminal óptico, funciones de modulación y demodulación, y equipos para transmisión y recepción de microondas. Una funcionalidad opcional es la conmutación local. Si la conmutación local esta presente, los clientes conectados a la estación base pueden comunicarse entre si sin acceder a la infraestructura de fibra. Esta función implica que la facturación, administración de acceso, registro y administración de tráfico ocurren localmente en la estación base.

Una arquitectura alternativa de la estación base sería proporcionar conexión simplemente a la infraestructura de fibra; esto obliga a todo el tráfico a terminar en alguna parte de los conmutadores ATM e IP. En este escenario, si dos clientes se conectaran a la misma estación base y desearan comunicarse entre sí, lo harían centralizadamente. La facturación, administración y manejo de tráfico seran realizadas de manera centralizada.

La configuración del suscriptor varía ampliamente entre proveedores. Principalmente, todas las configuraciones incluirán el equipo de microondas, equipos de modulación, demodulación y de control. El suscriptor se puede conectar a la red mediante las técnicas de acceso TDMA, FDMA, ó CDMA. Las interfaces del cliente pueden correr mediante protocolos 10BaseT, DS-0, Frame Relay, DS-3, OC-3 y OC-1; obviamente de acuerdo a las necesidades que el cliente requiera.

Opciones de Arquitectura

El modelo más común usa la estación base "en-sitio". El equipo digital interior conecta la infraestructura de red a los equipos de microondas externos montados en la azotea. Típicamente, la radiofrecuencia planeada para estas redes usan sistemas de microondas de múltiples sectores, en los cuales los sectores de las antenas proporcionan servicios sobre 90, 54, 30, 22.5, o 15 grados de espectro de radiación. Para lograr una cobertura circular ideal, las células se dividen en 4, 8, 12, 16 ó 24 sectores.

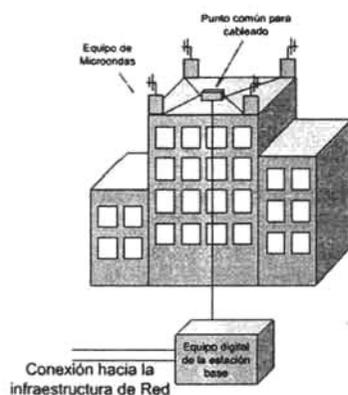


Figura 4.8 Estación base "en sitio"

Arquitecturas alternativas incluyen conexión de la de la unidad interior de la estación base a múltiples sistemas remotos de microondas mediante fibra analógica, de la unidad interior de datos IDU y la unidad exterior de datos ODU. Esta alternativa consolida al equipo digital, proporcionando redundancia, reducción de costos y el aumento de disponibilidad de recursos sobre un área más grande. Las dificultades son típicamente la falta de recursos de fibra analógica y problemas en la transmisión y recepción en los equipos de microondas. Esta arquitectura alternativa está en proceso de diseño para la mayoría de los fabricantes y organismos de estandarización.

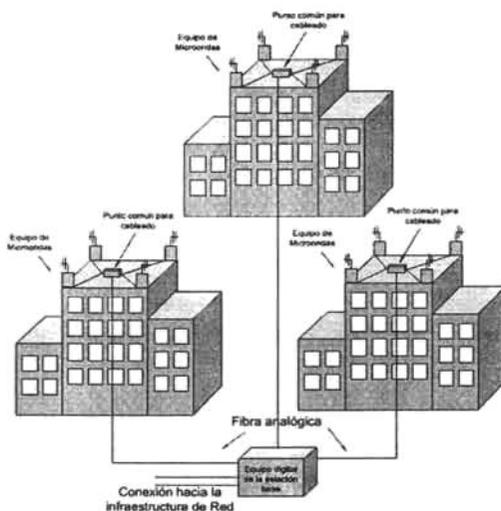


Figura 4.9 Arquitectura de Fibra analógica

Equipo de Nodo de Red

El equipo de nodo de red (NNE), provee la interfaz y vía de acceso desde el Backbone hacia la interfase inalámbrica del sistema LMDS. Los Equipos de nodo de red tienen funciones de procesamiento, multiplexaje, demultiplexaje, compresión, detección de errores, codificación, decodificación, enrutamiento, modulación, y demodulación. El NNE también puede proporcionar conmutación ATM.

Equipo de Radiofrecuencia

El equipo de radiofrecuencia del nodo de red LMDS incluye a los transmisores, receptores, transceptores, y antenas. Si hay una portadora por transmisor, se dice que el sistema es canalizado, si hay portadoras múltiples por transmisor, se dice que el sistema es de banda ancha.

Transmisores

Se combinan señales individualmente moduladas en el transmisor de banda ancha. Dentro del transmisor, las señales VHF se suben de frecuencia intermedia hasta la frecuencia de la portadora deseada, y se amplifican lo suficiente para ser transmitidas. Los transmisores separados, los receptores y las antenas pueden usarse en diferentes direcciones para minimizar el efecto de crosstalk ó interferencia entre las señales de transmisión y recepción.

Receptores

Un receptor separado de banda ancha recibe la banda entera a la frecuencia portadora y convierte las señales a la banda de VHF. Las señales de VHF se transmiten por coaxial o fibra para distribuir las al NNE.

Transceptores

Los transceptores combinan funciones de transmisión y recepción, también pueden realizarse por un transceptor de banda ancha. Para aplicaciones bidireccionales, se usa un transceptor para proveer una ruta de retorno para los servicios de LMDS. La antena puede ser una parte integral del transceptor, el cual puede ser canalizado ó de banda ancha.

Antenas

Las antenas son seleccionadas basándose en el área de cobertura deseada por los suscriptores, teniendo en cuenta el terreno, objetos que puedan provocar interferencia, patrón de acimut, diseño de elevación, y ganancia.

Las opciones tecnológicas típicas para de estas antenas, incluyen diseño de microstrip (microcinta), reflectores parabólicos y de malla, y diseños de corneta. La selección es

una decisión de ingeniería basada en la ubicación del cliente. También, los fabricantes proporcionan varios niveles de integración con antenas de tecnología específica.

Equipo de Interfaz de red (del lado del Suscriptor)

En el sitio del cliente, una unidad de interfaz de red NIU proporciona la vía de acceso entre los componentes de radiofrecuencia y la red local. Los NIU's son administrados por el sistema de administración de red desde el centro de control. Estos NIU's pueden ser escalables y no escalables dependiendo de los requerimientos del cliente.

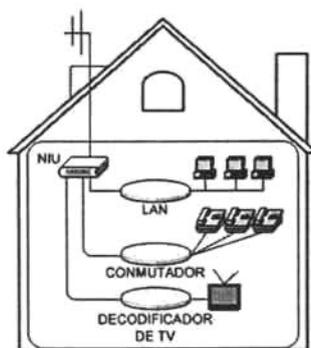


Figura 4.10 Implementación NIU

Equipo de Interfaz de Suscriptor escalable/configurable

Un NIU escalable es flexible y totalmente configurable. Se localiza en el sitio del suscriptor y soporta comunicaciones de voz digital inalámbrica bidireccional, datos, y video de uso comercial. El NIU puede configurarse con interfaces 10BaseT, voz analógica, T1/E1, T3/E3, OC-1, OC-3/STS-3, ATM, y canales de video en un solo aparato.

Como la parte de la red inalámbrica de banda ancha, el NIU se comunica con el equipo de la estación base a través de un transceiver bidireccional que forma parte de una red punto multipunto. Esta solución permite a los operadores de red desplegar sus servicios al instante sin la necesidad de construir infraestructura alámbrica hacia el suscriptor.

Los módulos básicos del NIU constan de los siguientes componentes:

- Un MODEM de radiofrecuencia que soporta modulación 4, 16, ó 64-QAM y ofrece modos de acceso FDMA o TDMA.
- Un módulo procesador de datos (DPM). Soporta varios servicios como T1/E1, 10BaseT, y ATM a través de un procesador ATM SARing.
- Un *chasis-interface module*. Controla recursos de procesamiento.
- Fuente de alimentación.

El diseño modular del NIU permite a los Operadores de red conocer los requerimientos de cada suscriptor eficazmente. El operador de red puede configurar múltiples radio-módems para soportar el ancho de banda total requerido por los servicios contratados. El NIU debe trabajar junto con el sistema de microondas de banda ancha para maximizar el uso de recursos de espectro disponibles.

Equipo de Interfase de Suscriptor no escalable/configurable

Un NIU no escalable es una pieza autónoma del suscriptor que proporciona una combinación fija de interfaces. La combinación se diseña para conocer los requerimientos de clientes pequeños o medianos. Los servicios pueden incluir E1, E3, 10BaseT, video, POTS, Frame Relay, ATM ó ISDN. Usando esta interfaz, los suscriptores pueden desplegar aplicaciones de manera unidireccional o bidireccional, con servicios de voz, video, Internet y/o aplicaciones del multimedia en un chasis que solo usa una portadora en frecuencia.

Este NIU no escalable se comunica con la estación base a través de un transceiver bidireccional que consta de los componentes siguientes:

- Un radio-módem de ancho de banda variable (soportando modulación en 4, 16, y 64-QAM, TDMA ó FDMA dependiendo del tipo de servicios soportados por el NIU).
- Una tarjeta procesadora ATM (es un tipo de ATM SARing dependiendo de los tipos de servicios proporcionados por el NIU).

Las interfaces proporcionadas por el NIU no son configurables por el usuario y por consiguiente se reduce el costo del producto en el mercado. Este tipo de NIU no escalable les permite a los Operadores de red ofrecer servicios a pequeñas y medianas empresas (PyME's).

IV.2.3 Enlaces Inalámbricos y Métodos de Acceso

Los diseños de sistemas inalámbricos se construyen alrededor de tres metodologías de acceso: TDMA, FDMA, y CDMA. Estos métodos de acceso se aplican a la conexión del suscriptor hacia la estación base, llamada dirección de retorno. Actualmente, los operadores y organismos de estandarización eligen principalmente TDMA y FDMA. En la dirección de bajada, de la estación base hacia el suscriptor, la mayoría de las compañías implementan TDMA en una conexión punto a punto o punto multipunto, mientras que para la dirección de subida se utiliza un plan FDMA, en el que se usa una asignación de frecuencias separadas para cada sitio del cliente hacia la estación base.

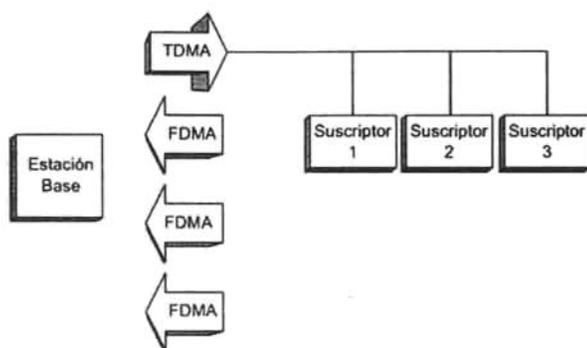


Figura 4.11 Acceso FDMA

Puede existir también una combinación de métodos de acceso, como se muestra en la figura siguiente, donde un plan TDMA es utilizado en la dirección de bajada. Para la vía de subida se utilizan tanto esquemas FDMA como TDMA, siendo que en este último, los sitios de los clientes comparten tanto canales de bajada como de retorno.

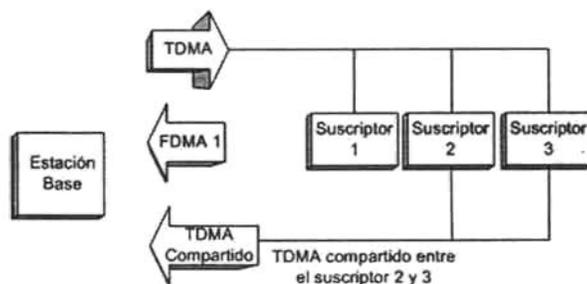


Figura 4.12 TDMA Access

En los enlaces de acceso FDMA y TDMA, hay varios factores que afectan la eficiencia y uso de los canales de bajada y de retorno. Para enlaces FDMA, al sitio del cliente se asigna ancho de banda que es constante con el tiempo, o que varía lentamente con el tiempo. Para enlaces TDMA, el ancho de banda del sitio del cliente se asigna de acuerdo a sus estadísticas de uso. Estos dos métodos de acceso se mantendrán probablemente para los sistemas de LMDS durante los próximos años. La elección entre estos tipos de acceso se relaciona directamente con el Operador del sistema, estrategia de servicio, densidad de suscriptores y mercado designado.

Suscriptores empresariales pueden requerir conexiones inalámbricas DS-3 o múltiples DS-1. Un cliente podría contratar el uso de esta conexión inalámbrica con un ancho de banda fijo y disponible las 24 horas del día. En este caso, los enlaces FDMA tienen sentido, porque el usuario está pagando ancho de banda dedicado sobre los sistemas del acceso inalámbrico y también sobre la infraestructura de red. Típicamente, los

enlaces FDMA terminan en un circuito demodulador FDMA dedicado dentro de la estación base.

El otro caso es donde el cliente requiere solo un puerto 10BaseT para el acceso a Internet. Estos usuarios tienen los requerimientos de retorno muy bajos (el tráfico principal son paquetes de reconocimiento y peticiones de datos) pero puede tener requerimientos de bajada bastante grandes. En este caso, TDMA tiene sentido, permitiendo a múltiples usuarios (con bajo ancho de banda) compartir un solo canal. Además, la estación base termina el canal TDMA en un solo módem, permitiendo a múltiples clientes un solo módem en la estación base.

La mayoría de los operadores del sistema tendrán una mezcla de servicio y de mercado designado que elijan entre estas dos opciones. La elección de TDMA y/o FDMA dentro del sistema se vuelve un problema para el diseñador del sistema y el operador del sistema. Es necesario estimar el pico y el promedio esperado del tráfico y determinar qué tráfico puede ser multiplexado y que tráfico es simplemente ráfaga esporádica (burstiness). Si el burstiness resultante es bastante liso, los requerimientos de tráfico del canal de retorno permiten usar técnicas de FDMA eficazmente. Alternadamente, si el burstiness persiste dentro del flujo del tráfico, TDMA puede ser una opción aceptable.

Hay problemas adicionales para la elección de TDMA y FDMA tales como la eficiencia del control de acceso al medio inalámbrico MAC, la eficacia de multiplexor del cliente, la eficacia de la estructura del canal, eficacia en la corrección de errores, transferencia máxima de datos durante las horas pico, compartimiento del equipo de la estación base durante las horas no pico, bloqueo de niveles asignados a los enlaces de acceso inalámbrico, mezclas de tráfico asimétricas y simétricas, y distancia del enlace que pueden sostenerse por varios métodos de acceso. Estos problemas se discuten en la tabla 4.4:

Tabla 4.4 Problemas en el empleo de TDMA y FDMA

Problema	TDMA	FDMA
Eficiencia de burstiness	TDMA permite la contestación del burstiness y no requiere de ranuras adicionales a menos que sea necesario.	El enlace FDMA siempre esta activo, sin tener en cuenta si el usuario este o no utilizándolo.
MAC inalámbrico	La eficacia MAC esta en el rango del 65 al 90% o más, dependiendo de las características del burstiness y del diseño MAC.	Se estima la eficacia en 100%, sin implementación MAC.
Combinación de las premisas del cliente	Ambos sistemas FDMA y TDMA permiten alta prioridad para que el tráfico de usuarios sea enviado primero.	Ambos sistemas multiplexan varios flujos a través del mismo canal.

Porcentaje FEC	75 a 85%	91%
Eficiencia del Canal	Aproximadamente del 88%	100%.
Tasa máxima de transmisión	TDMA permite el uso de la tasa de transferencia máxima del canal.	FDMA provee una tasa constante.

IV.2.4 Modulación en Sistemas LMDS

Los métodos de modulación de los sistemas LMDS inalámbricos están generalmente separados en modulación de fase PSK y modulación en amplitud QAM. Las opciones de modulación para TDMA y FDMA son casi las mismas.

Los métodos típicos de modulación en TDMA no incluyen modulación de Cuadratura 64-QAM, aunque podrían estar disponibles en un futuro. Las modulaciones de acceso para FDMA se enlistan en la tabla 4.5 basados en una conexión con una tasa de transferencia de 2 Mbps.

Tabla 4.5 Métodos de modulación FDMA

Nombre	Método de modulación	Ancho de Banda necesario para 2 Mbps de tasa de transmisión
BPSK	PSK Binario	2.8 MHz
DQPSK	QPSK Diferencial	1.4 MHz
QPSK	Modulación por cambio de fase cuaternario	1.4 MHz
8PSK	Modulación por cambio de fase octal	0.8 MHz
4-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura, 4 estados	1.4 MHz
16-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura, 16 estados	0.6 MHz
64-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura, 64 estados	0.4 MHz

IV.2.5 Capacidad del Sistema

La capacidad de un sistema LMDS puede medirse en términos de tasa de transferencia de datos y del número máximo de clientes que puede alojar. La capacidad es entonces igual al número de sitios celulares dentro del sistema multiplicado por la capacidad de cada célula. La capacidad de la célula es entonces, igual al número de sectores dentro de la célula multiplicado por la capacidad del sector.

IV.2.5.1 Capacidad de transferencia de datos en Acceso FDMA

Para el cálculo de la tasa de transferencia, se muestran algunos ejemplos básicos tomando en cuenta los valores de eficiencia espectral de la tabla 4.6. La eficiencia espectral es una medida en bits por segundo por Hertz (bps/Hz).

Tabla 4.6 Eficiencias espectrales

Modulación	Eficiencia Espectral
4-QAM	1.5 bps/Hz
16-QAM	3.5 bps/Hz
64-QAM	5 bps/Hz

Usando estas eficiencias espectrales, y suponiendo 1,000 MHz de espectro disponible con un factor de reuso de 2, el sistema LMDS proporciona 500 MHz de espectro por sector. Asumiendo enlaces de bajada y de retorno simétricos, hay 250 MHz en cada dirección por sector. Las capacidades de cada sector se muestran en los ejemplos siguientes:

Ejemplo 1:

Si cada cliente usa enlaces de 5 MHz FDMA con modulación 4QAM, esto proporciona 5 MHz x 1.5 bps/Hz = 7.5 Mbps por enlace. Hay 50 de estos enlaces (250 MHz / 5 MHz), proporcionando un total de 375 Mbps (50 x 7.5) en la dirección de retorno. Los enlaces de bajada también usan 4-QAM, proporcionando 375 Mbps.

Ejemplo 2:

Si cada sitio del cliente usa enlaces 5 MHz FDMA con modulación 16-QAM, esto proporciona 5 x 3.5 = 17.5 Mbps. Hay 50 de estos enlaces proporcionando un total de 875 Mbps. Los enlaces de bajada también usan 16-QAM, proporcionando 875 Mbps.

Ejemplo 3:

Si cada sitio usa enlaces 5 MHz FDMA con modulación 64-QAM, esto proporciona 250 x 5 = 1250 Mbps en la dirección de retorno. Los enlaces de bajada también usan 64-QAM, proporcionando 1250 Mbps.

Número máximo de sitios Cliente en acceso FDMA

En los cálculos anteriores se supuso el ancho de banda de los canales FDMA de 5 MHz, con lo cual, para calcular el número total de usuarios, tenemos que hay 250 MHz / 5 MHz = 50 sitios cliente por sector. El número de sectores determina el número de sitios cliente totales por célula. El sitio cliente puede ser un edificio grande con muchas oficinas, todos conectados a la estación base a través del mismo canal de 5 MHz.

IV.2.5.2 Capacidad de transferencia de datos en acceso TDMA

Los sistemas TDMA tienen una capacidad de transferencia de datos reducida comparada con los sistemas FDMA en un rango del 80%. Tampoco, los sistemas TDMA usan modulación 64-QAM. Sin embargo, modulación 64-QAM FDMA sólo es útil en los enlaces donde el punto de transferencia es cercano a la estación base.

Número máximo de sitios Cliente en acceso TDMA

Los sistemas TDMA son la mejor opción cuando los usuarios tienen bajas tasas de transferencia. Por ejemplo, asumimos que un ancho de banda de retorno de 250 MHz esta disponible dentro de un sistema LMDS y que se van a utilizar canales TDMA de 5 MHz. Cada canal de 5 MHz TDMA puede proporcionar aproximadamente 80 DS0's simultáneamente. La cantidad total de DS0's que se pueden conectar simultáneamente a un sector son 80 DS0's por canal multiplicado por $(250/5) = 50$, entonces tenemos 4,000 clientes por sector.

El número total de DS0's simultáneos en una célula dependen del número de sectores. Si los valores típicos de concentración sobre cada sector y célula está en el rango de 5:1, este sistema TDMA permite un total de 20,000 DS0's. Hemos supuesto que un nivel 5:1 de concentración refleja un uso típico de Internet (módems telefónicos) sobre esas conexiones DS0's.

En el caso del ejemplo anterior TDMA, 20,000 DS0's o líneas por sector son excesivas con respecto al área cubierta por el sistema LMDS. Si se usaran 10 sectores, esto implicaría que 200,000 DS0's podrían soportarse. Las distancias típicas para sistemas LMDS están en el rango de 3 km a 5 km para así lograr un 99.99% de disponibilidad de servicio en regiones de lluvia.

IV.2.6 Planificación de Red y Diseño de Células

Al planear los sitios celulares para una red LMDS, es importante tener los siguientes atributos en consideración:

Penetración hacia el suscriptor

El rendimiento del sistema de distribución es medido por la penetración hacia el suscriptor, porcentaje de suscriptores que tienen suficiente nivel de señal para obtener una excelente calidad de servicio.

Calidad de servicio (QoS)

El nivel de QoS puede afectarse por varios factores, incluso la obstrucción de la ruta de transmisión por superposición celular (15% es normal), y redundancia del sistema.

Link Budget

Es usado para estimar la máxima distancia donde un suscriptor puede ser localizado en un sitio celular mientras todavía tiene una confiabilidad de servicio aceptable. El link Budget analiza varios parámetros de red, incluyendo parámetros de portadoras de ruido, márgenes de desvanecimiento, etc. En algunos casos, el equipo de microondas es canalizado para soportar una simple portadora. Otros sistemas ofrecen banda ancha multicanalizada capaz de soportar múltiples portadoras a través de un solo transmisor.

Selección del Tamaño de las células

El tamaño máximo de la célula se relaciona con el nivel de rentabilidad deseada obtenido del Link Budget. El tamaño celular puede variar dentro de un área debido al tipo de antena, altura, y pérdida de señal. Estos efectos generalmente se relacionan con el área y tipo de servicio. La selección del tamaño de la célula afecta el costo total de implementación.

Modelo de Costos

El modelo de costos se usa para estimar las necesidades de capital de la red. El modelo requerido abarca las consideraciones de diseño, tamaño celular, superposición celular, número de células, capacidad de tráfico, número de sectores, costo por célula y el costo total.

IV.2.6.1 Reuso de Frecuencias

Las técnicas siguientes se usan para perfeccionar el reuso de frecuencias en redes LMDS:

Minimización de rutas múltiples y polarización cruzada usando antenas altamente direccionales y colocándolas lo mas alto posible.

Maximización de la directividad de las antenas, dividiendo en sectores la distribución del sistema.

El equipo de microondas de cada célula es configurado generalmente con múltiples sectores, antenas transmisoras y receptoras. Una configuración típica es de cuatro sectores, usando antenas con 90 grados de patrón de radiación. Cada una de estas antenas de sectorización (transmisoras y receptoras) puede soportar todo el ancho de banda del espectro asignado.

Maximización del aislamiento entre los sectores adyacentes a través de polarización. Polarización horizontal (H) y vertical (V). La polarización H y V también se rehúsa a lo largo del sistema.

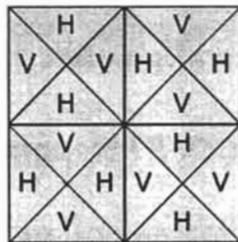


Figura 4.13 Reuso de polarización horizontal y vertical.

IV.2.7 Administración de la Red

La administración de una red LMDS está diseñada para conocer los objetivos de negocio de los operadores de red mediante la alta rentabilidad de los servicios de administración. La administración de la red requiere:

Administración de fallas

Esto es necesario para identificar, localizar, y corregir errores o fallas en la red. Cada dispositivo dentro de una red inalámbrica debe supervisarse para solucionar problemas y rendimiento. Todos los dispositivos de LMDS coleccionan e informan estadísticas relativas a tráfico, rendimiento y de administración.

Administración de configuraciones

Esto es necesario para respaldar e inventariar los recursos de la red. Los equipos LMDS deben auto-descubrirse cuando un nuevo equipo se agrega a un nodo. Esto minimiza la instalación o actualización de equipo manualmente.

Tarificación

Esto es necesario para controlar y procesar información de facturación. Cada nodo manejable en una porción inalámbrica de la red debe mantener una colección de estadísticas que puedan accederse por un sistema de facturación.

Rendimiento

Es necesario coleccionar, filtrar, y analizar estadísticas de los recursos de la red. Hay varios parámetros que deben supervisarse y deben configurarse en cada nodo de la red, desde el tráfico de un T1 hasta el nivel de potencia de salida. La administración debe monitorear estos parámetros para ajustarlos y aumentar el rendimiento.

Seguridad

Toda la información transmitida a través del entorno inalámbrico debe encriptarse entre cada nodo en la red. Esta función debe generar y coordinar automáticamente las llaves de cifrado, así como para autenticar a los usuarios.

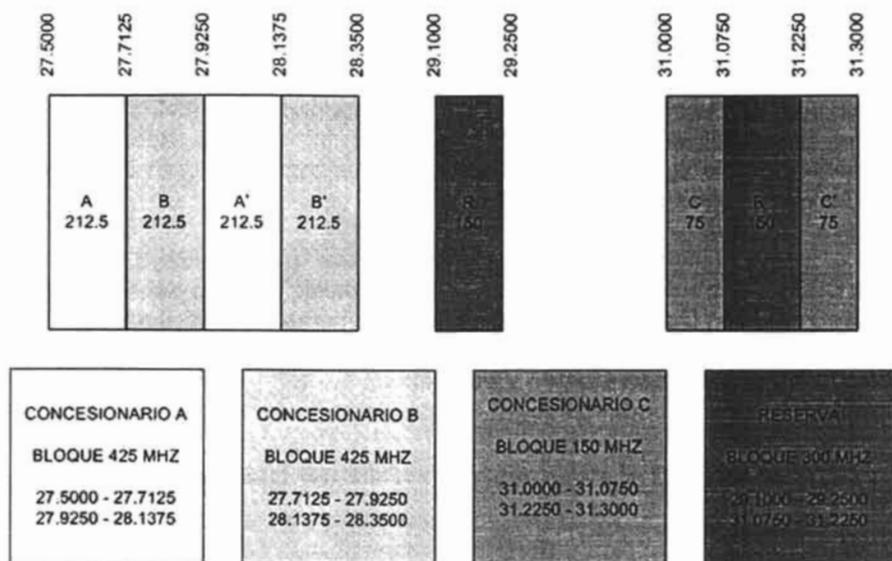
IV.2.8 Planteamiento de COFETEL para bandas de Frecuencia LMDS²

En el primer semestre del año 2000, el Área General de Ingeniería y Tecnología de la Comisión Federal de Telecomunicaciones realizó una serie de análisis técnicos sobre los Sistemas de Distribución Local Multipunto LMDS, con objeto de determinar la factibilidad técnica en cuanto a la disponibilidad de equipos por parte de las empresas proveedoras instaladas en México, así como con inversionistas y operadores del servicio local y de larga distancia, a fin de conocer el grado de interés que se tienen por invertir en México en estos sistemas.

Con la participación de las empresas ALESTRA, FIRSTMARK DE MEXICO, HARRIS, UNION TELEFONICA NACIONAL, ERICSSON, TELECOM, MOTOROLA SPECTRAPOINT, WINSTAR INTERNATIONAL, TELEFONICA DATA MEXICO, LUCENT TECHNOLOGIES DE MÉXICO, ALCATEL MÉXICO, AVANTEL, AXTEL, NEWBRIDGE NETWORKS DE MÉXICO, CABLEMAS y TELNORM, y en base a la documentación recibida por estas, se determinó que la mayoría cuentan con equipos disponibles para operar con la tecnología LMDS, coincidiendo con la opinión de la Comisión en que las bandas de 28 y 31 GHz son las más apropiadas a licitar.

Por lo planteado anteriormente, el Área General de Ingeniería y Tecnología, con apego al artículo 22, apartado D, fracción II, del Reglamento Interno en vigor de la Comisión, ha considerado que la segmentación más conveniente con la que debiera de llevarse a cabo la licitación de bandas de frecuencias de 28 y 31 GHz para servicios de LMDS, aprobada por Acuerdo de Pleno número P/220300/065, debe consistir en dos segmentos de 425 MHz, uno de 150 MHz y otro más para reserva de 300 MHz, para quedar de la siguiente manera:

² http://www.agitec.gob.mx/lmids/resultados_lmids.html; <http://www.agitec.gob.mx/lmids/foro.html>



Ancho de banda en Mhz.
Límites de los segmentos en Ghz.

Figura 4.14 Segmentación de frecuencias para servicios LMDS (COFETEL).

IV.3 Sistemas DBS

El sistema de Comunicaciones Satelital DBS nace alrededor de 1994, con la capacidad y función primordial de transmitir Televisión Digital, aunque además se tienen transmisión de Radio y Servicios de Internet, aprovechando la gran cobertura de un satélite Geoestacionario.

Compañías como Primestar, DirecTV, USSB, Echostar, BSkyB, JSkyB, comenzaron el proyecto DBS, lo que representó un gran éxito comercial, pues no solamente se presta servicio de Televisión Digital vía Satélite en áreas remotas o de difícil acceso, donde no existe infraestructura de Televisión por Cable, sino que el 55% de los usuarios radican en áreas donde existe el servicio de TV por Cable.

IV.3.1 Arquitectura y Funcionamiento de Sistemas DBS

Los sistemas DBS utilizan Satélites Geoestacionarios operando en la banda Ku (12 GHz para transmisión de subida y 14 GHz para transmisión de Bajada).

El concepto de DBS es simple en cuanto a su arquitectura. Los operadores de DBS reciben Televisión y Radio analógicos o digitales desde fuentes terrestres. La programación es codificada entonces en MPEG para su retransmisión. Una función de control regula la cantidad de Ancho de Banda de acuerdo a cada flujo de datos MPEG y determina cada parámetro de control MPEG.

Después de la compresión y codificación MPEG, las distintas señales son multiplexadas y moduladas a la frecuencia de subida al satélite. La trama compuesta de hasta 500 canales digitales es transmitida al satélite Geosíncrono en la banda de 12 GHz de manera Punto a Punto. Una vez en el satélite, la señal es modulada nuevamente en la banda de 14 GHz, designada para el servicio DBS en el enlace de bajada, y transmitida hacia la Tierra en un enlace tipo Punto a Multipunto.

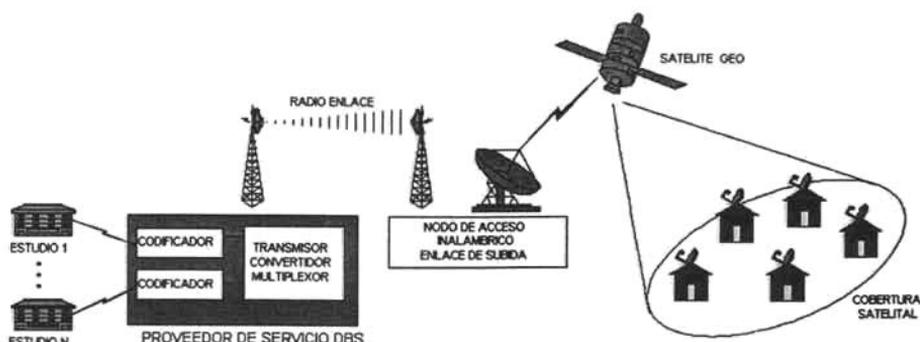


Figura 4.15 Arquitectura en Sistemas DBS.

IV.3.2 Satélites Domésticos “Domsats” para servicio DBS

Los satélites “Domésticos” son aquellos cuya huella es restringida a un solo país, y pueden ser clasificados en tres categorías: Potencia Alta, Potencia Media y Potencia Baja. La característica principal que distingue a estas tres clases es la Potencia Radiada Isotrópica Equivalente (EIRP).

Tabla 4.7 Características de Satélites Domésticos para Servicio DBS.

	Potencia Alta	Potencia Media	Potencia Baja
Banda	Ku	Ku	C
Frecuencia de Bajada	12.2-12.7 GHz	11.7-12.2 GHz	3.7-4.2 GHz
Frecuencia de Subida	17.3-17.8 GHz	14-14.5 GHz	5.925-6.425 GHz
Servicio Espacial	BSS	FSS	FSS
Uso principal	DBS	P-P	P-P
Uso secundario	P-P	DBS	DBS
Interferencia Terrestre	No	No	Si
Espaciamiento entre satélites	9°	2°	2-3°
Organismo regulador del Espaciamiento	ITU	FCC	FCC
Interferencia ínter satelital	No	Si	Si
Rango de EIRP	51-60 dBW	40-48 dBW	33-37 dBW

La diferencia de valores de EIRP entre los límites superiores de la clase de Potencia Alta (60 dBW) y la clase de Potencia baja (37 dBW) es de 23 dB, lo que representa un incremento en la potencia recibida de $10^{2.3}$, esto es una relación cerca de 200:1 en la categoría de Potencia Alta.

El servicio DBS utiliza satélites en la categoría de Potencia Alta, y por regulación radian su señal a una potencia mayor a la utilizada por los sistemas de grandes antenas parabólicas en servicio de Radiodifusión en Banda C, lo cual permite reducir considerablemente el diámetro de las antenas.

Esta es la característica más representativa de un sistema DBS, la elevada potencia de transmisión y el reducido diámetro de las antenas, con lo que además este sistema se vuelve más competitivo con respecto a los servicios satelitales en Banda C.

IV.3.2.1 Espaciamiento Orbital para Satélites Domsat

Para los satélites de Alta potencia se tiene un espaciamiento orbital de 9°. Con esta distribución, la interferencia ínter-satelital es considerada inexistente. Sin embargo debe notarse que este espaciamiento es aplicable a grupos de satélites ó *clusters*, ubicados en las posiciones orbitales nominales, de tal manera que se tienen varios satélites con distanciamiento entre ellos menor a los 9°.

IV.3.2.2 Frecuencias y Polarización en DBS

Las frecuencias para servicio DBS pueden variar en diferentes regiones del mundo, sin embargo, estas se localizan generalmente en la Banda Ku. Para la Región 2 y los satélites de alta potencia se tienen las bandas de frecuencia de 17.3 a 17.8 GHz para el enlace de Subida y las frecuencias específicas de operación para enlace de Bajada son 12.2 GHz a 12.7 GHz. Para los satélites de media potencia, también en Región 2, están las bandas de frecuencia de 14 a 14.5 GHz para enlace de Subida y 11.7 a 12.2 GHz en enlace de bajada.

El Ancho de Banda disponible, tanto en enlace de subida como de bajada, es de 500 MHz, esto es, un total de 32 Transpondedores, cada uno con un ancho de banda de 24 MHz. Este ancho de banda de cada Transpondedor puede ser especificado de 27 MHz, solamente que en este caso contiene los 3 MHz de espaciamiento ó Banda de Guarda. Todos los Transpondedores utilizan Polarización Circular Derecha (RHCP) Y Polarización Circular Izquierda (LHCP) para permitir el reuso de frecuencias, además las Bandas de Guarda son insertadas entre canales con la misma polarización.

	1	3	5	RHCP	31
ENLACE DE SUBIDA (MHz)	17324.00	17353.16	17382.32	• • •	17761.40
ENLACE DE BAJADA (MHz)	12224.00	12253.16	12282.32		12661.40
	2	4	6	LHCP	32
ENLACE DE SUBIDA (MHz)	17338.58	17367.74	17396.90	• • •	17775.98
ENLACE DE BAJADA (MHz)	12238.58	12267.74	12296.90		12675.98

Figura 4.16 Asignación de Bandas de Frecuencia para Zona 2 en servicio DBS.

IV.3.2.3 Capacidad de los Transpondedores

En los 24 MHz de Ancho de Banda de un Transpondedor se puede transmitir un canal analógico de TV, pero un mejor aprovechamiento del ancho de banda se consigue digitalizando la señal, lo que permite el uso de Técnicas de Compresión.

La tasa de Transmisión que puede ser soportada en un canal de 24 MHz de Ancho de Banda, utilizando modulación Digital QPSK es de 40 Mbps.

IV.3.2.4 Potencia y Número de Transpondedores

Como se mencionó anteriormente, los satélites destinados principalmente para servicio DBS tienen una EIRP más elevada que las otras categorías, encontrándose en el rango de 51 a 60 dBW. Un valor para la potencia en los sistemas DBS fue definido en 57 dBW, por el Consejo Regional Administrativo de Radio (RARC) en 1983.

Los Transpondedores son clasificados por la potencia de salida de sus amplificadores de alta-potencia, y típicamente un satélite puede contener hasta 32 Transpondedores. En el momento en que todos los Transpondedores se encuentren activos, cada uno operará a la menor potencia de operación, es decir 120 W. Si la potencia de los amplificadores es duplicada, la cantidad de Transpondedores debe ser reducida a la mitad, sin embargo, los 16 Transpondedores activos radiarán con potencia máxima, esto es 240 W cada uno.

El hecho de incrementar la potencia tiene un efecto directo en la tasa de transmisión; en un Transpondedor de 240 W y utilizando algoritmo de Decodificación "Viterbi", una trama de 40 Mbps puede ser distribuida en sección de Servicio de 30 Mbps y encabezados de codificación de 10 Mbps, mientras que en un Transpondedor de 120 W se requieren de un mayor número de encabezados de codificación, teniendo 23 Mbps de Servicio y 17 Mbps de encabezados de codificación.

IV.3.2.5 Estandarización

La mayoría de los sistemas DBS alrededor del mundo utilizan el estándar Europeo DVB, el cual prometía bajos costos en su fabricación, sin embargo se tienen bastantes diferencias entre los distintos sistemas haciendo los equipos inoperables bajo ciertos esquemas, por ejemplo la encriptación de la señal. Originalmente el estándar DVB plantea el uso de Smart-Cards (Tarjetas Inteligentes), que son dispositivos de seguridad que permiten el cambio de los parámetros del sistema, control de Acceso y Códigos de encriptación.

Debido a su característica de sistema unidireccional, DBS no es considerado como una opción para conformar una Red de Acceso de Banda Ancha, sin embargo tiene un gran impacto sobre otras tecnologías. Aún cuando el sistema DBS no soporta características de FSAN, ha sido bien aceptado en el mercado por su capacidad de Transmitir una gran cantidad de canales de Televisión y Audio de alta calidad, al cual puede combinarse un sistema como xDSL como vía de retorno o bien para obtener servicios interactivos de Banda Ancha.

IV.3.3 Servicios brindados por sistemas DBS

Programación de Televisión Local

Uno de los mayores retos para un sistema DBS es brindar un servicio particular a cada ciudad o zona, en lugar de mantener radiodifusión general en el territorio que cubre la huella Satelital. El proveer una programación local mediante un sistema DBS implica problemas tanto técnicos como legales.

En la parte técnica, el problema es reducir la huella satelital de una huella nacional o incluso continental, a una huella de múltiples áreas Metropolitanas. Una solución a este caso es el uso de tecnología en reuso de frecuencias llamado "Radiación por Manchas"

(Spot beaming). Con esta tecnología, un solo satélite puede radiar a múltiples huellas pequeñas, lo cual se consigue utilizando sofisticados arreglos de antenas, originalmente usados para fines militares, sin embargo, no hay suficiente capacidad de Transpondedores para todos los diferentes canales que deberían radiarse a cada ciudad.

Referente al servicio local, los sistemas DBS tendrán una gran competencia por operadores de Cable y operadores de Servicios Digitales Inalámbricos, conocidos también como "Servicios Digitales sobre el aire", pero sobre todo por sistemas LMDS y MMDS. Todos estos sistemas presentan la ventaja de la programación local, además de una mayor capacidad para prestar servicios interactivos.

Televisión de Alta Definición (HDTV) en DBS

Aún cuando actualmente la resolución máxima ofrecida en un sistema DBS común es de 720 x 480 puntos en la pantalla (Píxeles), el sistema es capaz de ofrecer servicios de mayor definición, por lo que DBS podría ser un medio adecuado para transmisión de Televisión de Alta Definición (HDTV); ya que el escalamiento de un sistema DBS para transmitir HDTV solamente requiere algunos cambios en el Centro de transmisión y en las antenas de recepción.

Las tasas de transmisión para Televisión Digital varían dependiendo de la calidad y formato de la imagen. Desde 118 Mbps para televisión estándar a la menor resolución, hasta 995 Mbps en HDTV a la mayor resolución.

Tabla 4.8 Formatos de Televisión ATSC.

Formato	Designación	Pantalla	Resolución (Píxeles)	Tasa de Transmisión a 60/30/24 cuadros por seg.
HDTV	1080i	16:9	1920 x 1080	N.A./995/796
HDTV	720p	16:9	1280 x 720	885/442/334
SDTV	480p	16:9	704 x 480	324/162/130
SDTV	480p	4:3	640 x 480	295/148/118

Las fuentes para señales de HDTV, deben ser convertidas a formato Digital, comprimidas en formato MPEG, moduladas en QPSK y multiplexadas en TDM para ser transmitidas hasta el Transpondedor. La tasa de bits de cada uno de los programas de televisión que componen la trama varía entre 4 Mbps y 6 Mbps, dependiendo de la cantidad de movimiento de la imagen.

Servicio de Datos Interactivo DirectPC

Existe un servicio de Internet y Datos mediante Satélites Geoestacionarios, sin embargo, carece de la Infraestructura con la que cuentan otros proveedores de estos servicios. Como ejemplo, el caso de "DirectPC" en los Estados Unidos de Norteamérica, únicamente provee 12 Mbps en tráfico de Bajada para la totalidad de la Huella Satelital,

misma que cubre todo el territorio del país; y obviamente este ancho de banda no cubre las necesidades de un mercado muy amplio.

Por otra parte, la falta de una vía de retorno para servicio de datos en DBS significa que el sistema tendrá una capacidad interactiva limitada. Una posibilidad viable para brindar un servicio interactivo sería manejar un sistema híbrido DBS-xDSL, el cual los módems xDSL mantendrían una conexión Punto a Punto y Bidireccional (Full-Duplex) como vía de retorno para el sistema DBS.

Los sistemas satelitales han formado parte de Internet desde su inicio; la creciente demanda de dicho servicio y la necesidad de implementar funciones de control de congestión de datos han impuesto limitantes a los enlaces satelitales para brindar servicio de Datos.

Los enlaces por satélite presentan un Tasa de Error (BER) mayor que los enlaces terrestres, típicamente es un valor de 10^{-6} (sin código de control de errores), mientras que un valor de 10^{-8} ó menor es requerido para una transmisión TCP aceptable. El hecho de aumentarse la tasa de error requiere de retransmisión de un mayor número de paquetes, lo que retrasa considerablemente la comunicación.

Otro retraso considerable y fuente de errores es el "retraso por viaje" de los paquetes de datos, ya que en satélites Geoestacionarios la ruta de propagación es: estación terrena-satélite y satélite-estación terrena, y su correspondiente retorno. La distancia total recorrida es del orden de 160,000 km, lo que provoca un retardo de 0.532s en cada paquete transmitido solamente por el enlace satelital, deberá contemplarse también los retardos en las redes Terrestres.

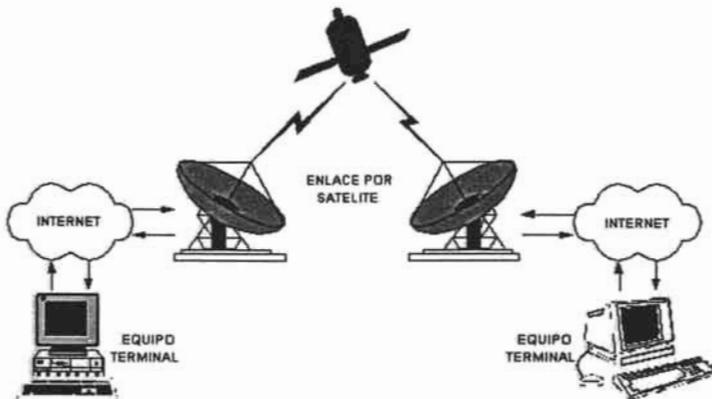


Figura 4.17 Arquitectura de Internet satelital.

IV.4 Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles UMTS

La tecnología UMTS es un sistema de Telecomunicaciones móviles que ha evolucionado desde GSM y GPRS, las cuales utilizan técnicas de acceso FDMA y TDMA mezcladas. UMTS dirigirá el movimiento en la tercera generación de redes móviles y atenderá la demanda creciente de aplicaciones móviles y de Internet.

La nueva red incrementará la velocidad de transmisión a 2 Mbps por usuario móvil, permitirá un estándar de "roaming" a nivel mundial y un mayor número de aplicaciones multimedia y provee un enlace vital entre los sistemas GSM actuales y los estándares de IMT-2000.

El principal avance y característica de UMTS es el desarrollo de tecnología WCDMA (Wide Code Division Multiple Access) ó Acceso Múltiple por División de Código Disperso, la cual cumple el IMT-2000 y consiste en que la señal se expande en frecuencia mediante un código que solo reconocen el transmisor y el receptor; esta técnica de radiocomunicaciones de banda ancha permite obtener mayores velocidades de transmisión de datos por usuario y un uso más eficiente del espectro radioeléctrico que los sistemas actuales; por ejemplo, un sólo operador WCDMA de 5 MHz podrá ofrecer servicios mixtos simultáneamente con velocidades de hasta 2 Mbps. En el futuro, WCDMA permitirá alcanzar velocidades de transmisión de datos de hasta 8 Mbps y se estima que se contará con 2000 millones de usuarios para el 2010.

WCDMA ha sido perfeccionado para los servicios de 3G y está diseñado para implantarse en la banda de frecuencia de 2 GHz y permite usar técnicas que mejoran la capacidad y la cobertura, como la combinación de macro y microcélulas en áreas de alta densidad. Así mismo, pueden emplearse redes de antenas adaptables que modifiquen sus direccionamiento hacia los usuarios para aumentar el alcance y reducir las interferencias, lo que resulta de especial utilidad cuando el espectro de los servicios de banda ancha es limitado.

Las ventajas que se tienen al utilizar la modulación WCDMA se enlistan a continuación:

- Altas tasas de transmisión al usar todo el espectro disponible.
- Alta seguridad y confidencialidad debido a la utilización de códigos convolucionales que dispersan la señal en todo el espectro.
- Acceso múltiple de máxima eficacia.
- Alta resistencia a las interferencias.
- Posibilidad de trabajar con dos antenas simultáneamente, facilitándose el Handover (donde GSM presenta graves problemas).
- Roaming y cobertura a nivel mundial mediante infraestructura de radioenlaces y satelital.
- Altamente estandarizado con interfaces únicas para cualquier red.
- Fácil migración desde plataformas GSM y GPRS, dado que la interfaz de radio WCDMA emplea una estructura de protocolo de señalización de red similar y

parte de la capa de conmutación básica de estas redes ya existentes podrá ser reutilizada.

Existe un importante mercado para todos los estándares de 3G, WCDMA se destinará principalmente a aquellos operadores dentro del espectro de 2 GHz, especialmente en mercados en los que GSM ha sido la primera tecnología en implantarse. CDMA2000 se destinará principalmente a los operadores CDMAOne ya existentes en las bandas de 800 y 1900 MHz. Por otra parte, EDGE se dirigirá principalmente a los operadores TDMA existentes en las bandas de 800 y 1900 MHz.

IV.4.1 Evolución hacia 3G y UMTS

La fase 1 de la estandarización de GSM900 se completó por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo ETSI en 1990, e incluyó todas las definiciones necesarias para operar una red GSM. Varios servicios se definieron, incluso la transmisión de datos a 9.6 kbps, pero sólo algunos servicios básicos se ofrecieron. Como resultado, los estándares de GSM se mejoraron en la Fase 2 (1995) para incorporar una gran variedad de servicios suplementarios que eran comparables con los servicios que ofrece una red ISDN. En 1996, ETSI decidió llevar más allá a GSM en la Fase 2+, incorporando capacidades de 3G.

GSM Fase 2+ ha introducido características 3G importantes tales como servicios de red inteligente (IN) con aplicaciones personalizadas para lógica móvil mejorada (CAMEL), compresión de voz mejorada, tasa de transmisión variable (AMR), Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS), y tasas de transferencia de datos mejoradas para la evolución de GSM EDGE. UMTS es un estándar de 3G sucesor de GSM usando como base las redes GSM fase 2+.

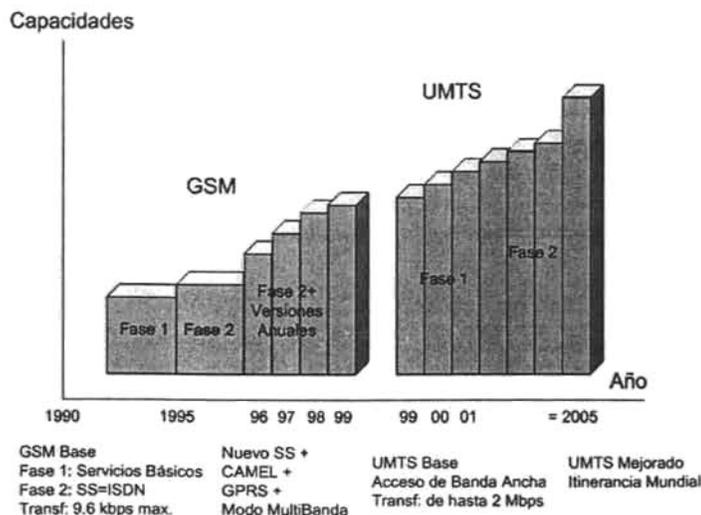


Figura 4.18 Concepto Evolutivo GSM-UMTS

IV.4.2 Estándar IMT-2000

IMT-2000 es un conjunto de normas y requerimientos definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), cuyas siglas significan Telecomunicaciones Móviles Internacionales (*International Mobile Telecommunications*) y "2000" representa tanto el año planificado para los sistemas preliminares así como la frecuencia a la cual trabaja, 2000 MHz (1885–2025 MHz y 2110–2200 MHz).

Para el servicio satelital, se tiene reservada una banda de frecuencias que abarca en la trama de subida de 1980 a 2010 MHz y en la trama de bajada de 2170 a 2200 MHz.

Tabla 4.9 Espectro para UMTS.

Banda de Frecuencias	Servicio en UMTS
1920 a 1980 MHz	FDD en trama de subida
2110 a 2170 MHz	FDD en trama de bajada
1900 a 1920 MHz	TDD
2010 a 2025 MHz	TDD
1980 a 2010 MHz	MSS en trama de subida
2179 a 2200 MHz	MSS en trama de bajada

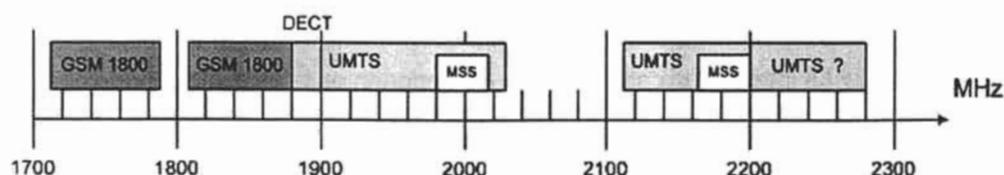


Figura 4.19 Espectro radioeléctrico utilizado en UMTS.

Las características principales de los sistemas 3G, definidas en el estándar IMT-2000, son las siguientes:

- Usado mundialmente
- Usado para todo tipo de aplicaciones móviles
- Soporta transporte basado en paquetes (PS) y basado en circuitos (CS).
- Soporta velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps (dependiendo de la movilidad y velocidad)
- Ofrece alta eficiencia del Espectro Radioeléctrico.

Las propuestas IMT-2000 más importantes son: UMTS (W-CDMA) como el sucesor de GSM, CDMA2000 como el sucesor IS-95, y TD-SCDMA como mejoras de TDMA hacia Digital AMPS/GSM.

UMTS está desarrollándose por la 3GPP, una asociación de varias organizaciones de estandarización entre las que se encuentra ETSI de Europa, ARIB/TTC de Japón, ANSI T-1 de EU, TTA de Corea del Sur, y CWTS de China. Para alcanzar la aceptación global, 3GPP está introduciendo UMTS por fases y liberaciones anuales. La primera liberación (UMTS versión 99), se introdujo en diciembre de 1999, define mejoras y

transiciones para las redes GSM existentes. Para la segunda fase (UMTS versión 00), propone mejoras para SER-95 con CDMA2000, y TDMA con TD-CDMA y EDGE. El cambio más significativo en versión 99 es el nuevo acceso de radio terrestre UMTS llamado UTRA, que es una interfaz de radio W-CDMA para comunicaciones terrestres.

UTRA soporta TDD y FDD. El modo TDD esta optimizado para cobertura amplia, por ejemplo, macro y micro células. Ambos modos ofrecen tasas de transferencia flexibles y dinámicas de hasta 2 Mbps. Con otro modo UTRA, llamado Multiportadora (MC), se espera que se establezca la compatibilidad entre UMTS y CDMA2000³.

IV.4.3 Arquitectura del sistema UMTS

La estructura de redes UMTS está dividida por dos grandes subredes: la red de Telecomunicaciones y la red de Gestión.

La red de Telecomunicaciones estará encargada de proveer acceso a los servicios y garantizar la transmisión y recepción de la información, mientras que en la red de gestión se tratarán temas de facturación y tarificación de abonados, registro y definición de los perfiles, gestión y seguridad en el manejo de datos, verificación de la operación y correcto funcionamiento de los elementos de la red, detección y solución de fallas y reestablecimiento del sistema.

La red de comunicaciones de un sistema UMTS está compuesta por los siguientes elementos:

Núcleo de la Red (CN - Core Network)

El núcleo de la red está basado en una red GSM con GPRS, e incorpora las funciones de transporte, señalización, conmutación, enrutamiento de los paquetes de datos y gestión de la movilidad. A través del núcleo de la red, el sistema UMTS puede interconectarse a otras redes de telecomunicaciones, a manera de garantizar no solo la conectividad entre usuarios UMTS, sino también con usuarios de otras redes tanto móviles como fijas. Parte de esta red, son también los medios de transmisión para la interconexión con la UTRAN.

Para la transmisión de información dentro del Núcleo de la red, se ha optado por utilizar celdas ATM, con dos diferentes protocolos; AAL2 para manejar conexiones mediante Conmutación de Circuitos y AAL5 maneja Conmutación de Paquetes, designado para el envío de datos. El protocolo IP es utilizado para el enrutamiento de los paquetes de datos.

Red de Acceso de Radio (UTRAN)

La red de acceso de radio proporciona la conexión entre los equipos terminales móviles y el Núcleo de la red. La red UTRAN (Acceso Universal Radioeléctrico Terrestre) se compone de una serie de sistemas de radio ó RNC (Controlador de la Red de Radio) y

³ UMTS, www.iec.org

una serie de nodos "B", los cuales son los elementos de la red que corresponden a las estaciones base.

Las funciones de los nodos "B" son:

- Interfase aérea para Transmisión y Recepción
- Modulación y demodulación
- Codificación de canal en CDMA
- Corrección de errores
- Control de Potencia en lazo cerrado con el UE

Las funciones del RNC son:

- Control de los recursos de radio
- Control de Admisión de los UE
- Asignación de canales
- Parametrización de los controles de Potencia
- Control de Handover
- Cifrado
- Segmentación
- Mantener la señal de Broadcast
- Control de Potencia de lazo abierto

Terminales móviles

En el sistema UMTS, a los equipos terminales se les designa con el término de Equipo de Usuario (UE). Es utilizado un Microchip similar al utilizado en sistemas GSM (SIM Card) el cual tiene varias funciones:

- Módulo de Servicio de Identidad de usuario (USIM)
- Soporte de uno ó más Perfiles de usuario en el USIM
- Actualización de datos específicos de usuario
- Funciones de Seguridad
- Autenticación de usuario
- Inclusión opcional de métodos de pago
- Descarga segura opcional de nuevas aplicaciones

IV.4.3.1 Jerarquía de Estructura Celular

Debido a que UMTS ofrece cobertura y *Roaming* globales, es necesario dentro de una red UMTS conocer la ubicación de los usuarios, con la finalidad de enrutar y enviar los datos correctamente hacia el UE. Una jerarquía mayor, tendrá mayor área geográfica de cobertura. De esta manera, se enlista en orden decreciente las subdivisiones de cobertura en un sistema UMTS:

- Sistema UMTS (incluyendo satelital)
- Red Móvil de Terreno Público (PLMN)
- UTRAN

- Macro Célula
- Micro Célula
- Pico Célula

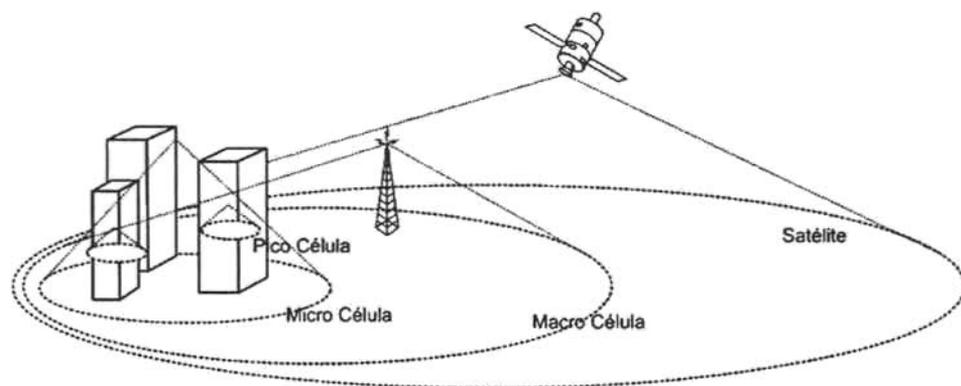


Figura 4.20 Jerarquía de estructura celular en UMTS

IV.4.4 Capacidad de Transmisión y Servicios en UMTS

La principal ventaja de UMTS sobre los sistemas de segunda generación, es la capacidad para soportar altas velocidades de transmisión de datos, las cuales van desde los 144 kbps en vehículos a gran velocidad (máxima de 500 km/h), 384 kbps en espacios abiertos y 2 Mbps a baja movilidad y en áreas de cobertura reducida (máxima de 10 km/h).

Tabla 4.10 Comparación de velocidades de transmisión entre 2G y 3G.

Sistema	Tasa de transferencia teórica [kbps]	Tasa de transferencia real [kbps]	Características
GSM	9.6	9.6	Conmutación de Circuitos
HSCSD	57.6	28.8	Se agrupan varios canales GSM en una misma transmisión de datos
GPRS	171.2	44	Conmutación de Paquetes
EDGE	384	70	Cambio de sistema de modulación
UMTS	384 a 2048	200	Interfaz de radio UTRAN

Las tasas de transferencia anteriores y el soporte del protocolo IP, permiten servicios multimedia y de banda ancha, como video telefonía, video conferencias, AoD, VoD, Telemedicina, etc.

UMTS soportará el concepto denominado Entorno Propio Virtual (VHE) que permite disponer de un entorno de servicios personalizado y portable a través de fronteras de redes y entre terminales. De este modo, los usuarios disponen siempre de un interfaz de usuario personalizado (de acuerdo con las capacidades de la terminal) y unos servicios personalizados cualquiera que sea la red o terminal que estén usando, y cualquiera que sea su posición. Un aspecto clave para soportar VHE es la posibilidad de construir servicios usando interfaces de aplicación estandarizadas.

Las capacidades de servicio podrán acceder a los perfiles de usuario a través del denominado entorno base (*home environment*). Los perfiles de usuario pueden estar almacenados en la estación móvil (la SIM/USIM), y/o el entorno base. El entorno base es responsable de la autenticación del usuario, emisión de SIM/USIM, la facturación y la gestión del VHE, y los perfiles de usuario.

Los servicios en las redes UMTS tendrán diferentes clases de QoS, para cuatro tipos diferentes de tráfico:

- Clase Conversacional – voz, video telefonía y video juegos.
- Clase de Tramas – Multimedia, video bajo demanda,
- Clase Interactiva – Navegación en Internet, video juegos en red y acceso a Bases de datos.
- Clase de segundo plano – Correo electrónico, SMS, bajada de información.

Referencias

3G Tutorial, UMTS Overview, <http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm>

ABE GEORGE, "Residential Broadband", Cisco Press 2000, p.213.

BATES REGIS J., "Broadband Telecommunications Handbook", McGraw Hill Telecom, Segunda edición, 2002, p.p.805

CASEY ERNEST D., COONEY THOMAS, "Using Low-Earth Orbit Satellite Technology to enable Pipeline Data Communications". <http://www.starpig.com/pages/Entelec1.html>.

CLAUSEN HORST D., LINDERHILMAR, COLLINI-NOCKER BERNHARD, "Internet Over Direct Broadcast Satellites", University of Salzburg, IEEE Communications Magazine, Junio 1999, Págs. 146-151.

DBS Actualmente, <http://www.upv.es/DBSnow.html>

<http://www.agitec.gob.mx/lmds/foro.html>

http://www.agitec.gob.mx/lmds/resultados_lmds.html

<http://www.nt.tuwien.ac.at/mobile/projects/UMTS/en/>

Recomendación para la Licitación de Bandas de Frecuencias. Sistemas de Distribución Local Multipunto (LMDS); <http://www.cofetel.gob.mx>

RODDY DENNIS, "Satellite Communications", McGraw Hill, tercera edición, 2001, p.p. 569.

UMTS Forum, <http://umts-forum.org>

UMTS, www.iec.org

UMTS-Universal Mobile Telecommunications System,

YANG LIU, CERVANTES EZEQUIEL, "A Survey of Low Earth Orbit Satellite (LEOS) Systems", Junio 2001.

V

TENDENCIAS DE LAS COMUNICACIONES DE BANDA ANCHA

V.1 Lo que se puede esperar de la Banda Ancha

Como casi todas las industrias basadas en la tecnología, el sector de las telecomunicaciones se ha caracterizado tradicionalmente por un crecimiento constante con grandes avances ocasionales, generalmente en el momento de la introducción de nuevas tecnologías. En la última parte del siglo XX, la llegada casi simultánea de dos grandes innovaciones (La telefonía móvil e Internet) transformó el panorama de las comunicaciones y dio un nuevo ímpetu al crecimiento económico. No obstante, a medida que estas innovaciones alcanzan su punto de saturación, al menos en el mundo desarrollado, se buscan detonantes para una nueva ola de innovación y crecimiento.

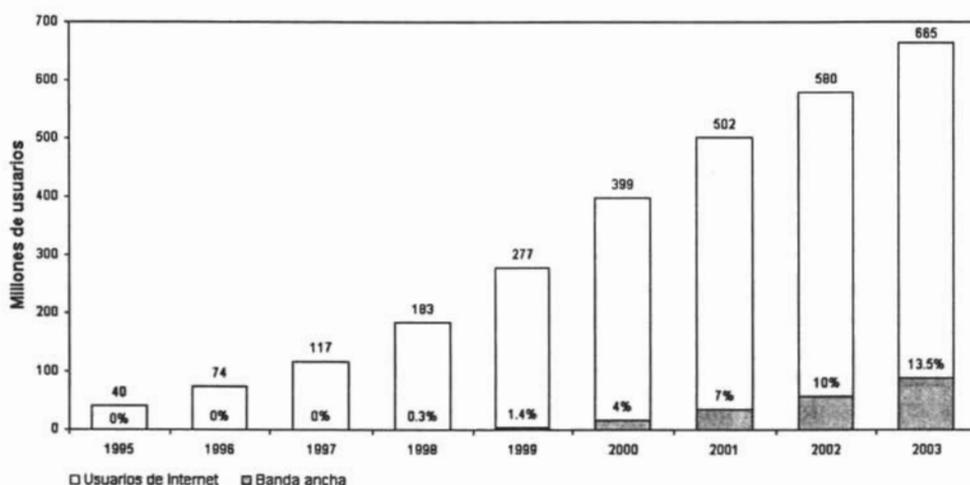


Figura 5.1 Usuarios de Internet a nivel mundial¹

Por la naturaleza misma de la banda ancha (es necesario utilizarla para entender los beneficios que ofrece), el despegue del mercado requiere una determinada masa crítica de usuarios. Actualmente, poco más de uno de cada diez abonados a Internet en todo el mundo dispone de una conexión de banda ancha² aunque muchos más comparten los beneficios del acceso a Internet de alta velocidad, por ejemplo, a través de una red de área local (LAN) en el trabajo o la escuela. El líder mundial de la banda ancha como se puede apreciar en la figura 5.2 es la República de Corea que tiene unos tres años de adelanto con respecto a la media mundial en términos de adopción de la banda ancha por parte de los usuarios de Internet. En dicho país se alcanzó la masa crítica a principios del año 2000, momento en que los precios descendieron por debajo de los 25 USD al mes y que marcó el principio de un rápido despegue.

¹ Fuente UIT Indicadores mundiales de telecomunicaciones

² Según datos UIT-D 2002

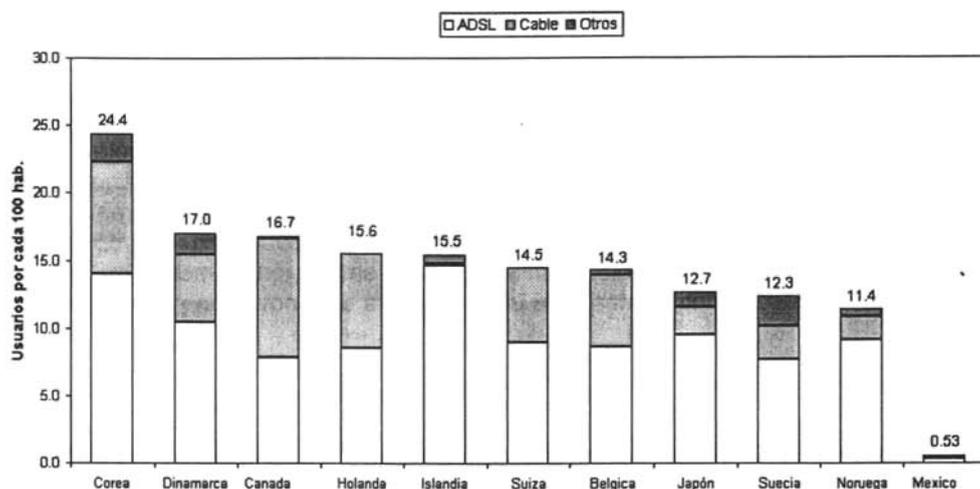


Figura 5.2 Penetración de Banda Ancha por cada 100 habitantes³

Como se planteó en la introducción de este trabajo, hasta el momento, la utilización de la banda ancha en los hogares ha representado la mayor proporción del mercado, pero en el futuro, las aplicaciones empresariales o estatales pueden llegar a ser igualmente importantes. Además de llevar el acceso a Internet de alta velocidad a los hogares en todo el mundo, la nueva generación de tecnologías de banda ancha compite muy eficazmente con los servicios de línea dedicada o RDSI que utiliza generalmente el sector empresarial. La banda ancha puede resultar hasta 800 veces más barata, por Megabyte por segundo, que las actuales alternativas de red privadas, lo que supone para las empresas y los usuarios estatales un gran incentivo para adoptar las nuevas tecnologías de banda ancha. Los proyectos desarrollados durante el momento de auge de las empresas denominadas punto.com, abandonados entonces por resultar onerosos o necesitar demasiado ancho de banda, pueden recuperarse y volver a lanzarse con estas nuevas tecnologías. Esto puede resultar de gran ayuda a los países en desarrollo pues, a medida que desciende el precio, y evolucionan las tecnologías inalámbricas, la banda ancha puede ayudar a "saltarse" la etapa de las tecnologías de telefonía tradicional.

En la actualidad la banda ancha está haciendo realidad muchos sueños que apenas dos décadas atrás considerábamos irrealizables.

³ Fuente: OCDE a Junio de 2004

V.2 La Banda Ancha en la Actualidad

V.2.1 Los sistemas de banda ancha

Aunque la mayoría de las personas han oído hablar de la banda ancha, pocos sabrían exactamente cómo definirla. A menudo se asocia la banda ancha con una velocidad o conjunto de servicios concretos, pero en realidad, la expresión "banda ancha" es como un objeto en movimiento, algo que está en constante cambio. Las velocidades de acceso a Internet crecen sin cesar. Por consiguiente, tan sólo se puede hablar realmente del estado "actual" de la banda ancha y hacer extrapolaciones hipotéticas basándose en la evolución planificada o incipiente, que puede o no dar frutos en el futuro.

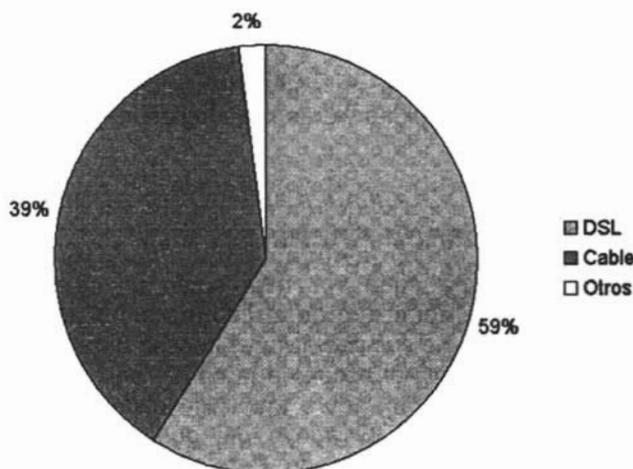


Figura 5.3 Distribución de la conexiones de banda ancha por tecnología

Generalmente la banda ancha se utiliza para describir conexiones recientes a Internet, que son significativamente más rápidas que las de las tecnologías de conexión telefónica actuales, pero no se trata de una velocidad o un servicio específicos. Retomando las distintas definiciones mencionadas en el capítulo I de este trabajo; se considera que la banda ancha corresponde a una tasa de transmisión igual o superior a 256 Kbps.

La ventaja real de la banda ancha es que proporciona más posibilidades de desarrollar aplicaciones y servicios, mejorando los existentes o permitiendo la implantación de los nuevos. La disponibilidad de la banda ancha depende principalmente de las redes existentes, que varían de acuerdo con la infraestructura ya instalada. En los países desarrollados y en las zonas urbanas, por ejemplo, ya se dispone de tecnologías de

cable, basadas en pares trenzados o pares coaxiales. En los países en desarrollo y en las zonas rurales pueden resultar más prácticas y rentables otras tecnologías más modernas, inalámbricas o por satélite. La fibra óptica ofrece las mejores posibilidades a largo plazo. También desempeñan un papel fundamental factores culturales, políticos, geográficos, económicos o de otro tipo, así como el marco regulatorio y los acuerdos de apoyo institucional.

Las conexiones alámbricas representan la gran mayoría (alrededor del 98%) de las actuales conexiones de Banda ancha, aunque las tecnologías inalámbricas están creciendo rápidamente. Dentro de las conexiones de línea fija, la línea digital de abonado (DSL) y el cable módem son las tecnologías más populares (véase la figura 5.3). Hasta el 2000, la mayoría de los usuarios de banda ancha utilizaban cable módems, y éste seguía siendo el método más común de acceso en América del Norte. Pero a nivel mundial, la ADSL representa en la actualidad más de la mitad de las conexiones, siendo muy utilizada en Asia y Europa Occidental.

Donde las conexiones de línea fija no están disponibles o no se pueden instalar fácilmente, están ganando popularidad varias tecnologías inalámbricas como el MMDS, LMDS y el Wi-Fi.

V.2.2 Difusión de la banda Ancha

La banda ancha se considera cada vez más como un catalizador para el éxito económico en el marco de la economía de la información. Cada vez más países se centran en poner a disposición de sus poblaciones acceso barato a la banda ancha. En muchas economías desarrolladas, el acceso a la banda ancha ha sido proporcionado principalmente por el sector privado, sobre todo allí donde el mercado goza de una competencia eficaz, contando con el apoyo del gobierno únicamente cuando es necesario corregir algún fracaso del mercado. Pero otros gobiernos, principalmente en Asia, han elaborado estrategias nacionales para la promoción de la banda ancha y para llevar esta tecnología a las regiones o comunidades que no serían las primeras en obtenerla si dependiese de las fuerzas del mercado.

Muchas empresas participan en el mercado de la banda ancha, pero en la mayoría el operador de línea fija resulta ser el proveedor dominante, a pesar de no haber sido siempre el primero en abrir el mercado. Los países donde más éxito se ha obtenido son aquellos donde existe un segundo proveedor solvente que opone una competencia real al proveedor principal, como ha sido el caso con Hanaro Telecom en Corea o Yahoo BB! en Japón. Los países que no disponen de red de televisión por cable, o donde el proveedor establecido posee las redes telefónicas y de televisión por cable, se han quedado atrás con respecto a sus homólogos en el desarrollo de la banda ancha.

A finales de 2002, 82 de más de 200 economías de todo el mundo (véase la figura 5.4) disponían de servicios de banda ancha comerciales. Desde el año 2000, las cifras de la banda ancha a nivel mundial se han quintuplicado, y se estima que hay más de 80 millones de usuarios. Como era de esperar, las tasas de penetración están muy

estrechamente relacionadas con el ingreso nacional bruto (INB) per cápita, aunque Corea se sitúa muy por encima de los demás.



Figura 5.4 Países donde se dispone de banda ancha comercial

A medida que la banda ancha se implanta en el mercado, en un momento de convergencia y cambios tecnológicos, los modelos de los proveedores pueden variar considerablemente. Algunos usuarios finales incluso fabrican sus propias conexiones de fibra al proveedor de servicios Internet. Generalmente, estas iniciativas, que suelen contar con la participación de grandes empresas o instituciones públicas como escuelas y hospitales, pretenden evitar los altos costos asociados con los servicios de alta velocidad y calidad que ofrecen los proveedores de banda ancha establecidos. En el caso de México tenemos como ejemplo la "Red escolar"⁴ en los estados de Tamaulipas y Aguascalientes, en el primero, el gobierno del estado de Tamaulipas se encargó de interconectar el 90% de los centros educativos públicos a la red estatal, por medio de accesos de banda ancha; en el caso del segundo desarrollaron su propio equipo para comunicar a las escuelas de los centros educativos cercanos a la capital del estado.

De este modo, puede crearse un tipo de consorcio consistente en un grupo de clientes que disponen cada uno, de un número determinado de cables de fibra "oscura" dentro de un cable de fibra óptica. Depende de cada cliente instalar los dispositivos electrónicos para activar la fibra, creando efectivamente redes privadas independientes que pueden conectarse a la red central. En la práctica se puede encomendar a profesionales la instalación y el mantenimiento. En Canadá, este método se ha utilizado en la provincia de Quebec, donde 26 escuelas y la red de investigación de la universidad regional han llegado a acuerdos con varios proveedores. Este modelo también se está haciendo muy popular entre otros clientes que desean evitar los altos

⁴ <http://redescolar.ilce.edu.mx>

costos que entrañan las soluciones comerciales, pero la oferta debe adaptarse a la demanda real, lo que significa que el mercado debe adaptarse a las necesidades reales de los usuarios.

V.3 ¿Para qué la banda Ancha?

Una vez examinado el desarrollo de la infraestructura y las tecnologías de banda ancha, y las dificultades que plantea la prestación de este servicio a un precio razonable, la primera pregunta que se nos ocurre es "¿qué hacer con ello?" En pocas palabras, ¿cómo se utiliza la banda ancha hoy en día, cuáles son las repercusiones para la utilización en el futuro, para el desarrollo del mercado y para los usuarios?

Internet ha propiciado la creación de una multitud de nuevas aplicaciones, tales como la navegación en la Web, los mensajes instantáneos, el compartir archivos, el comercio electrónico y el correo electrónico. Con la llegada de la banda ancha y sus conexiones más rápidas y permanentes, las posibilidades de desarrollo de estos servicios están incrementándose drásticamente, abriendo camino a las aplicaciones interactivas, principalmente los juegos en línea, la realidad virtual y otros servicios digitales de alta calidad.

V.3.1 Servicios orientados al consumo

En un principio la mayoría de las aplicaciones de la banda ancha serán asimétricas; esto quiere decir que el contenido o los servicios se obtendrán de un proveedor de servicios hacia el usuario final (ejemplo: la navegación Web). Sin embargo mientras la banda ancha va teniendo mayor disponibilidad, el uso de aplicaciones de consumo de dos vías y de negocios, como juegos, distribución de archivos (por ejemplo Kazaa) y videoconferencias, se volverá más común.

V.3.1.1 Navegación y comunicación persona a persona

Las comunicaciones P2P siguen figurando como uno de los más importantes usos de la Internet. Al dar a elegir a los usuarios cual aplicación prefieren al día; la mayoría de los usuarios escogieron navegación Web al correo electrónico. Sin embargo el correo electrónico junto con su contraparte móvil, la mensajería instantánea son aplicaciones que no requieren de un gran ancho de banda, más ancho de banda mejora estos servicios de dos maneras principales: Permite la comunicación constante y el intercambio de archivos adjuntos más grandes. La banda ancha impulsa tanto las aplicaciones no demandantes como las fundamentales que se ofrecen hoy en día. Sin embargo, uno de los mayores incentivos para los usuarios residenciales es simplemente una mayor experiencia al navegar en la Web.

En adición, las altas tasas de transferencia pueden mejorar la experiencia del usuario de ciertos tipos de contenido, como descarga de archivos, visualización de imágenes, etc. La banda ancha permite sesiones cortas de descarga. Además algunas

transferencias de archivos, como mejoras de software o archivos de audio/video, son simplemente ineficientes sin una conexión de banda ancha.

Servicios de voz

Los servicios de voz sobre las redes de datos han surgido recientemente como una alternativa a la telefonía convencional además de sus bajos costos a los usuarios están haciendo que estas se vuelvan muy populares en algunos mercados. Telefonía sobre cualquier red de datos de propósito general como IP es mas barata debido a un número de factores. Primero, telefonía sobre conexiones dial-up en tarifa plana o de banda ancha constantemente conectadas, no genera los cargos por minuto de la tradicional PSTN. Segundo, una llamada de larga distancia nacional o internacional puede ser hecha a través de una llamada local a un ISP. Para el caso de negocios el ocupar Voz sobre IP (VoIP) además de su propia red privada de datos o bien VPN's pueden generar grandes ahorros con respecto a al telefonía tradicional.

V.3.1.2 Servicios de información y de entretenimiento

Para la mayoría de las aplicaciones de información y entretenimiento, la banda ancha es la única manera con la cual se puede tener condiciones aceptables de uso. Esto debido a que algunos servicios son particularmente sensibles a los retardos y la latencia (tiempo que tarda una señal que ha sido enviada en recibirse) lo cual ocurre a bajas tasas de transmisión. Juegos multi-jugador y videoconferencia de dos vías son dos de estos ejemplos. Sin embargo la latencia es un problema particular de las redes de banda ancha construidas en base a plataformas satelitales o de HFC. En varios aspectos los servicios de audio y video son los que han obtenido, hasta la fecha, los mayores beneficios de las altas tasas de transmisión que brinda la banda ancha.

Audio

Servicios de audio como aplicaciones de video no requieren específicamente de conexiones rápidas sin embargo altas velocidades ciertamente ayudan, especialmente para descargar archivos de audio y ser escuchados después. Todas las tecnologías de banda ancha actualmente disponibles, son lo suficientemente rápidas para soportar las principales aplicaciones de audio del mercado.

Una de las principales aplicaciones de audio es la reproducción de música. Los usuarios pueden compartir música a través de redes punto a punto, escuchar estaciones de radio no necesariamente "al aire" en su área geográfica, y escuchar eventos especiales (deportes, conferencias, entrevistas, etc.). Numerosos sitios como shoutcast.com, provee de de ligas a pistas de MP3's en cualquier género imaginable de música, en una gran variedad de lenguajes. La mayoría de estas pistas requieren tasas de transmisión de entre 64 Kbps y 320 Kbps, haciendo de la conexión de banda ancha indispensable, sobre todo para el usuario que quiere reproducir música y a su vez participar en otras actividades de Internet simultáneamente.

Existen además otro tipo de aplicaciones no tradicionales y más sofisticadas que están creciendo y ganado interés en grupos específicos de usuarios. Un ejemplo de estas aplicaciones que se están desarrollando dentro del ámbito de banda ancha es "Search and filter". Esta aplicación permite al usuario buscar palabras en una o más pistas de audio, utilizando tecnología sofisticada de reconocimiento de voz.

Video

Con la amplia popularidad del video entretenimiento, las aplicaciones de video son consideradas por algunos usuarios de Internet como la razón de ser de las tecnologías de banda ancha. A pesar de que la calidad y cantidad de las pistas de video es aún limitada, los usuarios de Internet pueden disfrutar de transmisiones de noticias "en vivo" y programación pregrabada. El futuro promete algunos usos donde la calidad e importancia se incrementará.

Mientras cada vez se tiene mayor disponibilidad de contenido de video, con cada vez mayor resolución y tamaño de la imagen, uno de los mayores beneficios para los usuarios por parte de las conexiones de banda ancha será la posibilidad ver lo que se quiera cuando se quiera. El video por demanda vía banda ancha ya esta disponible en algunas partes del mundo y puede cambiar drásticamente la manera en que se ve televisión. Sin embargo esto tomara algún tiempo antes de que la televisión de banda ancha compita con la televisión tradicional.

Intercambio y almacenamiento de fotografías en línea

Otra área en cuyo medio visual a entrado la banda ancha es la fotografía. Así como las cámaras digitales se vuelven cada vez más sofisticadas, la resolución de las imágenes se aproxima a la calidad de la película tradicional. Pero mientras los grandes tamaños de los archivos significan fotografía de alta calidad, estos se vuelven problemáticos para varios usuarios de Internet, los cuales desean compartir sus fotografías en línea con la familia o amigos, o simplemente guardarlos. Con archivos cada vez más grandes, es necesaria más memoria para almacenar fotografías; descargar una imagen de 5 Megapíxeles con compresión JPEG con una conexión por MODEM a 56 Kbps toma por lo menos 2 minutos y medio, con la disponibilidad de dos canales (transmisión y recepción) de alta velocidad el intercambio de fotografías se facilita. Actualmente existen sitios en la red para almacenar y visualizar imágenes en la Web. Este tipo de aplicaciones podrían volverse obsoletas conforme el uso de las cámaras digitales (incluyendo las de los teléfonos celulares y PDA's) se vuelva más común.

Juego vía Internet

En la categoría de entretenimiento, el juego en línea es obviamente una importante área de uso, particularmente entre usuarios jóvenes, y es considerado como uno de los conductos clave de la banda ancha en el mercado de la juventud. Las conexiones de

banda ancha de alta velocidad permiten nuevos juegos multijugador interactivos y mejora las actuales aplicaciones de videojuegos. Los juegos en línea vienen en una variedad de formas: algunos se pueden jugar sin cargo alguno, otros requieren algún pago para obtener el software y otros más requieren de un pago mensual. Como parte de la tendencia hacia los juegos interactivos de alta velocidad algunos líderes fabricantes de consolas como Sony y Microsoft han agregado puertos Ethernet y capacidades de banda ancha a sus dispositivos. Con esta clase de desarrollos sobre la marcha, las consolas de video juegos se están conectando a la red de manera cada vez más significativa lo que conlleva a un cambio en las dimensiones de los juegos y a su vez un interés cada vez mayor de los usuarios.

V.3.1.3 Servicios Públicos

No solo las aplicaciones comerciales orientadas al entretenimiento se benefician de la banda ancha, la esfera pública provee un terreno rico, en el que se pueden promover y desarrollar servicios, especialmente debido la ventaja en cuanto a precio que tiene la banda ancha sobre las líneas dedicadas de la misma capacidad. Por otra parte es quizás a través de la promoción de los servicios en línea por parte del gobierno que las economías se benefician más a largo plazo: el incremento es los estándares de salud y educación son factores reconocidos de mejora del estatus económico. Actualmente en algunos países, la esfera pública ha sido trasformada por iniciativas de e-gobierno, como por ejemplo, el llenado de las formas para impuestos por parte de los ciudadanos o bien el registro de varios servicios públicos vía Web. Estos y otros servicios públicos como salud y educación esperan a beneficiarse de la posibilidad de las conexiones de alta velocidad, particularmente por la extensión del acceso a comunidades sin servicios o rurales. Mientras que el impetu por los servicios comerciales viene principalmente del sector privado, no obstante sobre las bases de una ambiente de mercado e infraestructura favorables, las iniciativas del servicio público han sido impulsadas enormemente por gobiernos que han querido promover el crecimiento del desarrollo de contenidos orientados a las necesidades de los usuarios.

E-Salud y Telemedicina

Ejemplos de iniciativas en línea de telemedicina en el sector salud abundan, pero ahí es donde aún existe un considerable potencial para desarrollos futuros. Ejemplos específicos de iniciativas del gobierno en banda ancha que han permitido a doctores en áreas rurales consultas con especialistas de áreas urbanas. En otras iniciativas radiólogos estudian resultados de estudios de rayos X en línea de clínicas remotas, también cirujanos pueden realizar cirugías asistidos a largas distancias por medio de videoconferencias. La banda ancha puede facilitar información instantánea y personalizada sobre el cuidado de la salud a disposición del usuario final independientemente de la situación geográfica de este. El dotar de responsabilidad a los pacientes a través de de información y acceso a servicios puede lograr beneficios significativos en términos de tratamiento y prevención.

De continuar las tendencias tecnológicas actuales, con el apoyo apropiado por parte del gobierno, la banda ancha puede ayudar a educar, informar y tratar pacientes a través de una amplia variedad de servicios en línea que pueden ir desde presentaciones en video, video conferencias confidenciales con especialistas y pacientes ayudando grupos. Los servicios médicos en línea también pueden ayudar a mejorar la relación Médico-paciente y reducir costos. Los pacientes pueden contactar a sus doctor en línea para hacer preguntas, cuando la visita física no se necesaria, como revisar sus prescripciones o bien recibir resultados de exámenes.

A pesar de que los servicios en línea nunca remplazaran las visitas cara a cara, la cual es necesaria en varios casos, las conexiones de banda ancha pueden ayudar a aliviar la sobrecarga de las instalaciones médicas. Una rápida conexión a Internet puede, por ejemplo, permitir a pacientes con enfermedades crónicas o lesiones permanentes continuar viviendo en su casa en lugar de el hospital, a través de un constante monitoreo. En adición a la mejora en la calidad de vida, estas aplicaciones han demostrado su rentabilidad y además contribuye al bienestar económico.

E-educación

Otra gran área de oportunidad para la banda ancha en el sector público es la educación. La e-educación es un método de aprendizaje que es valioso tanto en economías desarrolladas como en desarrollo. En el mundo industrializado, continuar con la educación y actualización de habilidades se ha vuelto indispensable, mientras en las economías en desarrollo, la e-educación puede permitir a comunidades rurales o bien que carezcan del servicio, el acceso a la enseñanza, que de otra manera estaría fuera de alcance financiero o geográfico. La enseñanza a distancia es por lo tanto una aplicación residencial importante de la tecnología de banda ancha. La banda ancha además puede mejorar la experiencia en la enseñanza al proveer de interactividad en tiempo real y la posibilidad de grupos de enseñanza en línea.

De acuerdo al nivel escolar, la Internet puede extender programas de educación a estudiantes que no pueden tener una adecuada educación en el salón de clases. En las universidades, las conexiones de banda ancha pueden facilitar actividades en línea como distribución de lecturas, participación en grupos de discusión, proyectos en colaboración, búsquedas basadas en Web e interacción uno a uno entre estudiantes y profesores. Esto además hace fácil a los alumnos el encontrar instrucción personalizada e internacional en un amplio rango de temas de enseñanza. El rápido acceso a catálogos de bibliotecas y bases de datos ahorra tiempo y dinero ya algunas veces es indispensable para propósitos de investigación.

En el caso de México contamos con varias iniciativas de e-educación, como el caso de Red escolar que tiene un amplio despliegue en el país, y tal es el caso de EncicloMedia que aun se encuentra en desarrollo como parte del proyecto e-México.

E-gobierno

Aparte de iniciar y abastecer el soporte necesario para los tipos de proyectos de salud y educación mencionados anteriormente, la más importante vía en la que los gobiernos pueden jugar un rol importante en la promoción de la banda ancha es a través de la mejora de su propia conectividad. No solo pueden animar a sus ciudadanos a estar en línea sino también gobierno y procesos administrativos pueden mejorarse. Varios gobiernos alrededor del mundo han abrazado a la Internet como la línea a seguir de los procesos del sector público para dar a los ciudadanos un acceso fácil a los servicios de gobierno. Como un deseable efecto dominó, el incremento en el flujo de información puede ayudar a establecer un ambiente de confianza y confiabilidad entre ciudadanos y autoridades elegidas.

Proyecto e-México

El Sistema Nacional e-México es un proyecto integrador, que articula los intereses de los distintos niveles de gobierno, de diversas entidades y dependencias públicas, de los operadores de redes de telecomunicaciones, de las cámaras y asociaciones vinculadas a las tecnologías de información y las comunicaciones (TIC), así como de diversas instituciones, a fin de ampliar la cobertura de servicios básicos en educación, salud, economía, gobierno, ciencia, tecnología e industria, así como de otros servicios a la comunidad.

El 1 de diciembre de 2000, el presidente de la República, Vicente Fox Quesada, encomienda al secretario de Comunicaciones y Transportes, Pedro Cerisola y Weber, a encabezar este Sistema, que reduzca la brecha digital con el uso y aprovechamiento de las TIC.

Los contenidos del sistema son:

1. e-Aprendizaje
2. e-Salud
3. e-Economía
4. e-Ciencia, Tecnología e Industria
5. e-Gobierno

A partir de estos contenidos el gobierno mexicano plantea el alcance de los siguientes beneficios:

- Promover la conectividad y generación de contenidos digitales (datos, sonidos e imágenes) vía Internet, a precios accesibles, entre aquellos individuos y familias, de menores ingresos, que viven en comunidades urbanas y rurales del país, con más de 400 habitantes, a fin de apoyar su integración al desarrollo económico y social de México, reduciendo la brecha digital que, por desgracia, existe hoy en día en México.

- Capacitar en el uso de las nuevas tecnologías de la información y difusión del conocimiento a las familias de dichas comunidades, con énfasis en su autosuficiencia, para consultar y generar contenidos vía internet en apoyo a sus particulares necesidades de educación, cultura, salud y desarrollo económico.
- Poner a disposición de la población en general la información referente a los servicios que presta el gobierno federal, estatal y municipal, a fin de que exista transparencia y equidad en los mismos, y se ayude a disminuir el tiempo que actualmente requiere la realización de diversos trámites, así como mejorar su eficiencia.

Actualmente e-México cuenta con un portal desde el cual se puede tener acceso a todas estas áreas que se mencionan en la siguiente URL: <http://www.e-mexico.gob.mx>.

V.3.1.4 Aplicaciones empresariales

Mientras varias empresas comerciales y muchas políticas de abastecimiento de banda ancha están dirigidas a brindar conexiones de acceso rápido a los hogares. Las empresas se están convirtiendo en los mayores beneficiarios de las nuevas tecnologías de banda ancha. Empresas pequeñas y caseras se benefician de la posibilidad de poder mandar y recibir correos electrónicos con archivos adjuntas cada vez más grandes, además de explotar la nueva capacidad y velocidad al crear servicios de recursos centralizados como bases de datos de clientes. Además la banda ancha permite a los empleados trabajar efectivamente desde sus hogares a través de sus conexiones, constituyendo una solución rentable para empresas pequeñas y caseras las cuales están usando la banda ancha para distribuir conexiones de Internet alrededor de la oficina.

Voz sobre banda ancha

Los beneficios de los costos de la VoIP ya han convencido a los usuarios privados en varias partes del mundo, la VoIP también ofrece una variedad de usos para los usuarios empresariales. En el nuevo mundo global de negocios, los empleados suelen estar dispersos alrededor del mundo pero tienen que permanecer accesibles por voz. La voz sobre tecnologías banda ancha hace posible extender el alcance del conmutador privado (PBX) alrededor de mundo. Las llamadas telefónicas pueden ser inicializadas desde las conexiones de banda ancha y entrar al sistema telefónico de la oficina principal de la empresa, sin necesidad de tener acceso al servicio telefónico. Esto permite generar grandes ahorros en el servicio telefónico principalmente para empresas que mantienen varias sucursales con conexiones de banda ancha debido a que esta es independiente de la geografía.

Videoconferencia

Otro factor de la banda ancha es la capacidad de llevar videoconferencia. Las conexiones de banda ancha permiten el enviar señales de video y de voz para videoconferencias donde anteriormente este servicio requería de conexiones dedicadas costosas. Así como la banda ancha se vuelve mas común, especialmente entre las pequeñas empresas se hace más fácil el uso de videoconferencia en los negocios. No solo se obtienen ahorros sustanciales en tiempo y dinero en los negocios, sino también se reducen gastos de viaje y al mismo tiempo disminuyen las emisiones contaminantes que generan los transportes.

Comercio electrónico

Mientras los consumidores pueden elegir el uso del comercio electrónico para ordenar productos o servicios desde su hogar, las empresas también se benefician de la rapidez de las transacciones que viene acompañada de las conexiones de banda ancha. La banda ancha puede ofrecer técnicamente seguridad en los negocios al implementar servidores seguros de acuerdo con sus lineamientos.

Suministro de aplicaciones y servicios

EL suministro de aplicaciones y servicios consiste en proveer de servicios en Internet en lugar de comercializar mercancías o equipos. Las compañías de tecnologías de información pueden por ejemplo proveer remotamente de servicios al conectarse a un servidor externo. Esto significa que el trabajo realizado en una PC desde el hogar o la oficina puede beneficiarse de la capacidad de una red completa sin necesidad de estar conectado a su propia red.

Este tipo de negocio puede encontrar un gran nicho entre los usuarios de dispositivos portátiles o móviles con un limitado espacio físico para memoria.

Teletrabajo

El teletrabajo es quizás una de las áreas de las que más se habla en el mundo de los negocios la cual ha entrado directamente en la vida de las personas tanto en el plano personal como en el social. La Internet y la flexibilidad que produce, ha permitido a la gente cambiar de posición geográfica fácilmente mientras permanece en contacto. Inicialmente las empresas tomaron lentamente las ventajas del teletrabajo debido a problemas sobre la seguridad de los datos y fraudes por parte de los empleados. En adición, las conexiones en la etapa temprana de Internet no eran lo suficientemente rápidas y baratas para soportar las transferencias de datos comunes en los espacios de trabajo. Sin embargo con el nacimiento de la banda ancha las ventajas del teletrabajo han sido enormemente mejoradas. Las conexiones rápidas y siempre en línea permiten a los trabajadores estar en constante comunicación con la oficina usando herramientas de software como el correo electrónico y la mensajería instantánea. En algunos países

se tienen políticas y programas de promoción de la banda ancha entre las empresas al subsidiar las conexiones a los hogares de sus trabajadores.

V.3.2 Los derechos de propiedad intelectual

La banda ancha llega en un momento en que el revolucionario potencial de Internet aún está por descubrir y está acelerando la integración de las tecnologías de Internet en la vida diaria. Este crecimiento en sí mismo tiene numerosas repercusiones en asuntos como los derechos de propiedad intelectual (DPI) y la seguridad, dado que cada vez más material está disponible en formato digital. También llega en un momento de convergencia tecnológica, cuando las aplicaciones informáticas están trasladándose a otros dispositivos (teléfonos móviles, televisores, etc.), y viceversa (por ejemplo, aplicaciones de ocio en computadores).

Evidentemente, la utilización de la banda ancha está relacionada con el contenido y la evolución de modelos para la elaboración y distribución de contenido en línea (lo que suscita cuestiones de carácter reglamentario y ético) y con los posibles problemas en la comercialización y distribución de servicios de banda ancha.

En lo que respecta al contenido de Internet, por ejemplo, los DPI son muy importantes. Ante el contenido en Internet, el sistema de DPI tradicional tuvo que adaptarse a nuevos sistemas de difusión. Este marco reglamentario se está adaptando, pero aún es necesario mucho más trabajo y negociación. Con la banda ancha, se prevé que el tipo y la cantidad de contenidos intercambiados a nivel mundial aumenten drásticamente, complicando aún más la situación. En concreto, desde el bien conocido caso Napster que, en 2000, acabó con las descargas de ficheros musicales gratuitos, la industria del entretenimiento comercial ve una amenaza en las tecnologías P2P para compartir información.

El problema se hace más evidente al saber que los servicios de banda ancha permiten un intercambio más rápido de ficheros voluminosos, permitiendo la descarga de álbumes completos, o incluso películas. Sólo la industria de la música pretende haber sufrido pérdidas cercanas al 7% en 2002 debido al intercambio de música digital y esto mismo temen las industrias cinematográfica e informática.

V.4 Regulación de la banda ancha

Como otras tecnologías de las telecomunicaciones, la banda ancha suscita una serie de cuestiones de reglamentación y política. Por ejemplo, ¿deben regular la banda ancha los gobiernos? ¿Qué instrumentos de política se adaptan mejor a la promoción de la competencia? Las investigaciones parecen indicar que cuando los sectores público y privado interactúan para crear el marco adecuado, el crecimiento de la banda ancha es más rápido. Limitados por reglamentos y directrices gubernamentales dirigidos a promover un nivel saludable de competencia, los operadores de banda ancha aún pueden aumentar sus servicios y redes obteniendo beneficios. Del mismo modo,

eliminar o modificar determinadas prácticas reglamentarias restrictivas puede hacer que los gobiernos relancen considerablemente el ciclo de oferta y demanda. A partir de ahí puede surgir un círculo virtuoso de ganancia social y crecimiento económico.

A pesar de la tendencia hacia la liberalización del mercado, especialmente en los servicios de banda ancha, todavía quedan grandes dudas acerca del auténtico nivel de la competencia en los mercados de las comunicaciones en el mundo.

En lo que respecta a la banda ancha, se observa una marcada tendencia a que los proveedores establecidos sigan dominando los mercados donde se les ha permitido competir junto con nuevos proveedores. Esto es igualmente cierto para mercados históricamente competitivos como el de los servicios móviles y de Internet. En 2002, los operadores establecidos en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) controlaban más del 80% del mercado de acceso en banda ancha, mientras que en los de la Unión Europea (UE) controlaban más del 90% del mercado de banda.

Estas cifras corroboran que, incluso en los países donde se han liberado los mercados de las telecomunicaciones, la apertura del mercado en sí misma no ha sido suficiente para desarrollar una competencia significativa. Evidentemente, esto refleja hasta cierto punto las realidades comerciales como el tamaño limitado del mercado, la falta de estabilidad económica, el bajo rendimiento de las inversiones y el reciente colapso de la confianza de los inversionistas, todo lo cual afecta a la capacidad de los nuevos actores a competir eficazmente con un operador establecido. También refleja los actuales procesos estatales para implantar una política de competencia. En este contexto, para los países es cada vez más importante disponer de las instituciones y políticas necesarias para manejar eficazmente el volumen y la complejidad crecientes de las cuestiones relativas a la competencia, que retrasan el desarrollo de una competencia significativa. Una vez establecido el adecuado entorno de política, puede dejarse a la dinámica entre empresas y consumidores la tarea de determinar el ritmo y la orientación del desarrollo del mercado de banda ancha.

V.5 Promover la banda ancha

En realidad, hay más de una respuesta a la pregunta de por qué vale la pena promover la banda ancha. En general, los análisis muestran fehacientemente que las economías que promueven activamente las nuevas tecnologías a menudo obtienen mejores resultados en términos de acceso, ganancias económicas y repercusión tecnológica. La banda ancha no es una excepción. Los análisis muestran asimismo que los consumidores generalmente desconocen los beneficios que pueden obtener de pasar a la banda ancha, y es necesario explicárselos para convencerlos.

Para los gobiernos, la banda ancha es una manera de promover el desarrollo económico y obtener determinados beneficios sociales. Por ejemplo, en la República de Corea y Hong Kong (China) que actualmente son las economías líderes en banda

ancha, el gasto en telecomunicaciones, como porcentaje del PIB, creció tres veces más deprisa en los 10 últimos años que la media mundial.

Como ya han experimentado muchos países, la banda ancha puede asimismo facilitar la prestación de servicios públicos, como el ciber-aprendizaje, la ciber-salud y la ciber-administración.

Para las empresas de telecomunicaciones, la banda ancha representa el camino para compensar la actual ralentización de la industria. En la República de Corea, el ingreso medio por usuario (ARPU) de banda ancha es hasta siete veces superior al del usuario de banda estrecha. La banda ancha ofrece a los consumidores una gama mucho más amplia y rica de aplicaciones, especialmente cuando se dispone de servicios de alta velocidad. Por ejemplo, en una encuesta de usuarios realizada en Japón, el 70 por ciento reconoció que la banda ancha había incrementado su uso de Internet. En Islandia, cerca de 40 canales de televisión extranjeros se difunden actualmente sobre la red de banda ancha, ampliando considerablemente las posibilidades de elección de servicios disponibles.

En lo que respecta a las empresas, especialmente las pequeñas y medianas, la banda ancha aporta ventajas de acceso a las comunicaciones de alta velocidad y las capacita para alcanzar una audiencia mundial a la que anteriormente sólo podían acceder las grandes empresas. Asimismo, la banda ancha aporta flexibilidad en el lugar de trabajo gracias al tele-trabajo y al acceso remoto a la red a grandes velocidades.

Los precios desempeñan quizá el papel más importante en la promoción de la demanda de la banda ancha. Aquellas economías donde se ha implantado con éxito se caracterizan por sus reducidos precios, generalmente como resultado de una competencia floreciente y de innovadores esquemas de fijación de precios que atraen a una amplia variedad de clientes. Visto que el precio desempeña un papel tan importante a la hora de que los usuarios tomen las decisiones, es fundamental entender de qué manera las políticas de reducción de precios incrementan la penetración de la banda ancha.

Una cosa es percibir la urgente necesidad de promover la banda ancha, pero promoverla activamente y con éxito es otra cuestión. Es aquí donde las experiencias de las economías que lo han logrado aportan pistas valiosas sobre las estrategias válidas y fallidas. Los factores clave del crecimiento y el desarrollo de la banda ancha pueden variar de un país a otro, aunque una cosa está clara: los países que han tenido en cuenta la oferta y la demanda son los que más éxito han tenido a la hora de promover la banda ancha y de aumentar la calidad y la variedad de servicios. A partir de la experiencia de las economías que más éxito han tenido con la banda ancha, se deduce que un enfoque proactivo de la promoción de la banda ancha es ciertamente una de las claves del éxito.

Referencias

Casos de estudio de banda ancha de la UIT. <http://www.itu.int/broadband>

COFETEL Estadísticas del sector

http://www.cofetel.gob.mx/economico_estadisticas.html

Indicadores de Telecomunicaciones de la UIT. <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>

OCDE, Information and Communications Statistics. <http://www.oecd.org>

Proyecto E-México <http://www.e-mexico.gob.mx>

Unión internacional de Telecomunicaciones, "Birth of Broadband", ITU Internet Reports, 115 pp., Septiembre 2003.

VI

CONCLUSIONES

VI.1 La banda ancha y la sociedad de la información

La fusión de las redes digitales y la información con las redes sociales del siglo XXI tiene consecuencias para todo el mundo. Cualquiera que sea la definición que se le dé a "sociedad de la información", sigue habiendo muchas preguntas sin responder sobre cómo y por qué deben privilegiarse las acciones que dan protagonismo a la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en nuestras vidas.

En los países industrializados y, especialmente, en los países en desarrollo, se ha de eliminar lo antes posible, en determinadas zonas geográficas y diversos grupos sociales, la constante exclusión de personas que se ven marginadas ante el acceso a las TIC y a los conocimientos y aptitudes necesarios para utilizarlas (es decir, la "brecha digital"). La innovación tecnológica por sí misma no basta para lograr una sociedad de la información sostenible orientada al crecimiento. Es necesaria la cooperación de todos los interesados.

La banda ancha es sólo una de las muchas tecnologías presentes en este momento, pero lo más prometedor, desde el punto de vista de la sociedad de la información, reside en dos aspectos. En primer lugar, la capacidad de la banda ancha para multiplicar las aplicaciones (comunicaciones de voz por banda ancha, por ejemplo, aplicaciones Internet, aplicaciones de televisión/vídeo y audio) en una sola red. En segundo lugar, las ganancias económicas que ello conlleva, que se traducen a su vez en menores costos para los consumidores. Al aumentar las velocidades de transferencia de datos y la competencia entre los proveedores de servicio, los precios suelen descender rápidamente, acercando el acceso a la información a cada vez más personas en el mundo. Al igual que estas características concretas de la banda ancha, también se abordan la seguridad de las redes y cuestiones éticas, así como ejemplos concretos del modo en que la banda ancha puede ayudar a las sociedades desarrolladas y en desarrollo en la transición hacia la sociedad de la información mundial, o ponerlas en peligro.

En determinados contextos, la banda ancha inalámbrica puede ser especialmente prometedora. Los "Hotspots" (lugares muy concurridos, por ejemplo en aeropuertos, hoteles, cafés) se están expandiendo a zonas urbanas completas hasta alcanzar una plena cobertura inalámbrica. Aunque estas iniciativas se encuentran en su fase inicial, organizaciones como las Naciones Unidas han empezado a aprender el potencial que las tecnologías inalámbricas, como las LAN inalámbricas, pueden tener para los países en desarrollo, que suelen carecer de las infraestructuras de línea básicas. Como señaló el Secretario General de las Naciones Unidas Kofi Annan, "es precisamente en los lugares donde no hay infraestructura donde la Wi-Fi puede ser particularmente eficaz, contribuyendo a que los países salten varias generaciones de tecnologías e infraestructuras de telecomunicaciones, y puedan dar oportunidades a sus habitantes".

Tanto como las iniciativas individuales, son fundamentales los esfuerzos de normalización para armonizar las interfaces y los protocolos entre redes y garantizar su seguridad. Los gobiernos y la industria ya están participando activamente en estas

actividades de normalización, incluso a través de la UIT. La coordinación del espectro de radiofrecuencias también requiere una firme cooperación internacional, del mismo modo que la investigación y el desarrollo (I y D), que es la piedra angular del futuro desarrollo tecnológico. En esta y en otras esferas, la cooperación internacional es un requisito fundamental para hacer realidad cualquier visión mundial de la sociedad de la información.

VI.2 Nacimiento de la banda ancha: ¿El principio de una nueva era?

A mediados de 2002, con más de 60 millones de hogares y empresas abonados a la banda ancha, y más personas accediendo a ella a través de cibercafés o conexiones en el trabajo o en la escuela, se estimaba que las redes de banda ancha habían "alcanzado" a más de 300 millones de personas en todo el mundo. En determinados mercados, se predice que la banda ancha será uno de los servicios de consumidores de comunicaciones que crecerá más rápido. En Estados Unidos se prevé que la banda ancha alcance el 25 por ciento de penetración más rápido de lo que lo hicieron los PC o los teléfonos móviles.

A pesar del crecimiento global de la penetración de la banda ancha, determinadas economías han tenido más éxito que otras. Muchas de ellas aún se están esforzando por dar acceso a lo largo y ancho del país, principalmente porque el despliegue de la red de banda ancha entraña unos costos fijos elevados. Aunque ya existe la mayor parte de la tecnología para dar acceso a la banda ancha en una escala semejante a la de la telefonía móvil, la banda ancha no está disponible tan fácilmente, principalmente en las economías en desarrollo.

Los estudios de casos, así como información obtenida de los Estados Miembros de la UIT, proveedores de servicios y reguladores en todo el mundo, muestran que, si se tiene la voluntad suficiente y se tienen en cuenta las necesidades de los usuarios y los contextos culturales y económicos, los gobiernos y la industria pueden colaborar para promover y difundir la banda ancha en beneficio de todos. Signos prometedores de ello son que, gracias a la innovación y adaptabilidad de las tecnologías a las circunstancias locales, la banda ancha puede utilizarse para ampliar el acceso al conocimiento y la información.

VI.3 Donde usar Banda Ancha

Después de haber analizado y estudiado los diferentes sistemas de comunicaciones capaces de proveer servicios de banda ancha, podemos notar que existen algunas ventajas y desventajas de una tecnología a otra, las cuales deben ser tomadas en cuenta al momento de diseñar e implementar un sistema de Telecomunicaciones. Estas características se deben principalmente al entorno en el cual se idearon estos sistemas.

En el caso de los sistemas alámbricos de banda ancha, surgieron a partir de los sistemas existentes, el xDSL de la Red pública Telefónica conmutada (PSTN), el Cable módem de la red de Televisión por cable coaxial, y el PLC de la red de distribución de energía eléctrica. En cualquiera de los casos mencionados, el objetivo siempre fue aprovechar la infraestructura existente para llevar los servicios de banda ancha a los usuarios, resolviendo los problemas que se presentaban al irse incrementando las necesidades. Sin embargo, existen diversas comunidades que por razones económicas, políticas y/o geográficas, no cuentan con ninguna infraestructura aprovechable para la implementación de banda ancha.

La existencia de comunidades carentes de infraestructura, a veces alejadas de ciudades o grandes centros urbanos, e inclusive establecidas en lugares de muy difícil acceso, generó un problema debido a que los altos costos de instalación y las difíciles condiciones de trabajo imposibilitan la utilización de los sistemas alámbricos.

Las circunstancias anteriores, obligaron a buscar soluciones en otras tecnologías, dando paso al desarrollo de diversos sistemas inalámbricos, los cuales solucionaron los problemas de acceso y proveyeron los servicios de banda ancha a las situaciones en que no fue posible con sistemas alámbricos.

Los sistemas inalámbricos a diferencia de los sistemas alámbricos, no requieren de una gran inversión inicial en cuanto al medio de transmisión, por lo cual su instalación requiere de menos tiempo y su cobertura puede expandirse más fácilmente, incrementando así el número de usuarios.

Los sistemas inalámbricos, sin embargo, presentan desventajas en algunas características técnicas, ya que al utilizar el aire y/o espacio libre como medio de transmisión, es afectado por condiciones climáticas, geográficas e interferencias provenientes de otras fuentes o ruido; por tratarse de un medio no confinado y por tanto no exclusivo en cuanto a la información que se transmite.

Podemos entonces darnos cuenta de que los sistemas alámbricos poseen de una mayor aceptación en grandes centros urbanos, donde puede aprovecharse la gran cantidad de infraestructura ya instalada para introducir servicios de banda ancha. Por su parte, los sistemas inalámbricos han tomado mayor fuerza en lugares donde las tecnologías alámbricas han presentado una difícil implementación, como es el caso de zonas rurales, de difícil acceso y/o carentes de infraestructura.

VI.4 Perspectivas

La explosión del Internet a nivel mundial ha propiciado necesidad de información cada vez mayor por parte de la sociedad actual. Como consecuencia se ha visto un crecimiento considerable en las redes de comunicaciones y en los sistemas de acceso.

El despliegue de los sistemas de Telecomunicaciones ha impactado de formas distintas a los países. Por un lado tenemos a los países desarrollados, que han aprovechado su situación económica e infraestructura para garantizar servicios de comunicaciones a la

mayor parte de su población, incrementado así su Teledensidad. En contraparte, están los países en vías de desarrollo, en los cuales existen todavía sectores de la población que no tienen acceso a ningún medio de comunicación, aumentando la "brecha tecnológica".

La información y servicios a su vez, han presentado cambios en cuanto a su contenido, orientación, cantidad y volumen, arrastrando consigo la exigencia de mayores tasas de transmisión y de innovaciones tecnológicas, que hacen de la banda ancha una necesidad en la sociedad actual.

El incremento en el uso de los sistemas de telecomunicaciones de banda ancha y específicamente el acceso de la población a los servicios que estos proporcionan, se ha visto beneficiado principalmente en aquellos países donde los gobiernos han visto en estas tecnologías una herramienta con un gran potencial para su crecimiento y desarrollo económico. Esto genera la búsqueda de nuevas tecnologías y aplicaciones, dando como resultado una gran cantidad de opciones para los usuarios, abatimiento en los costos y por lo tanto un incremento en la penetración de la banda ancha.

En México, la teledensidad y la penetración de la banda ancha aún se encuentra muy limitada, pues en comparación con los países más avanzados en este rubro, tenemos apenas un 0.5% de usuarios contra un 23.17% de Corea del Sur. Esto se debe principalmente a nuestra diversidad geográfica, la centralización económica, de servicios y población, altos costos de contratación y falta de impulso al mercado de las comunicaciones.

A pesar de que en el país se encuentran disponibles todas las tecnologías de acceso de banda ancha, solo un sector muy pequeño de la población goza de sus servicios, siendo las tecnologías más utilizadas el ADSL, el cable módem y DBS, las dos primeras debido a la infraestructura existente, principalmente par trenzado y cable coaxial, y la última por sus bajos costos de implementación para los usuarios.

En el último año hemos duplicado en México el número de usuarios de banda ancha, sin embargo, no han sido cubiertas las necesidades de comunicación de la población. Con proyectos como E-México estamos dando los primeros pasos dentro de una nueva política de desarrollo en las telecomunicaciones, la cual creemos debe ser reforzada creando nuevos proyectos e invirtiendo en desarrollo e investigación con recursos propios, así como dar mayor impulso al intercambio tecnológico, involucrando tanto a sector público como al privado, con la finalidad de lograr un mayor desarrollo.

Glosario

10baseT: 10BaseT es el nombre del estándar en el que se define la conexión Ethernet mediante cable de par trenzado de 4 pares. Esta conexión es capaz de transmitir a 10Mbps.

1G: Primera Generación de Telefonía Móvil.

2B1Q: Modulación 2 Binario – 1 Quaternario.

2G: Segunda Generación de Telefonía Móvil.

3G: Tercera Generación de Telefonía Móvil.

3G-HLR: 3G Home Location Register – Registro de Posición Base de Tercera Generación.

3GPP: Third Generation Partnership Project – Asociación para Proyecto de Tercera Generación en Telefonía Celular.

A/D: Convertidor Analógico – Digital.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line – Línea Digital Asimétrica de Abonado. Tecnología que permite servicios de alta velocidad sobre par trenzado de cobre, típicamente con velocidades de bajada superiores a 256 Kbps, pero con una baja velocidad de subida. Su definición y estándar se encuentran en la recomendación de la ITU-T G992.1.

ALOHA: (del saludo hawaiano) Sistema de resolución de colisiones por contención ideado en la Universidad de Hawai. Los paquetes se difunden en cuanto están listos, el remitente escucha para ver si estos chocan, en tal caso los paquetes se retransmiten después de un periodo aleatorio de tiempo. El Aloha obliga a los paquetes a ser transmitidos al principio de una ranura de tiempo. El Aloha básico es apropiado para casos en los que se necesiten tiempos largos de propagación.

AM: Amplitude Modulation – Modulación en Amplitud.

AMPS: Advanced Mobile Phone System – Sistema Avanzado de Telefonía Móvil.

AMR: Adaptive Multirate – Tasa de Transferencia Múltiple Adaptativa.

AN: Access Network – Red de Acceso.

ANSI: American National Standards Institute – Instituto Americano de Estándares Nacionales.

AoD: Audio on Demand – Audio bajo Demanda.

ARIB/TTC: Association of Radio Industries and Business / Telecommunication Technology Committee – Asociación de Radio Industrias y Negocios / Comité Tecnológico de Telecomunicaciones.

ATM: Asynchronous Transfer Mode – Modo de Transferencia Asíncrona: Modo de transmisión donde la información esta organizada en celdas; es asíncrona, en el sentido de que la recurrencia de celdas desde un usuario individual no es necesariamente periódica.

ATSC: Advanced Television Systems Committee – Comité de Sistemas Avanzados de TV.

ATU-C: Unidad de Transmisión ADSL al final de la red.

ATU-R: Unidad de Transmisión ADSL al final de las premisas del usuario.

Backbone: Red de Transporte.

Backoff Start Window: Ventana de inicio de recuperación. Intervalo de tiempo, durante el cual un cable módem tiene que esperar antes de enviar otra petición de concesión.

Backoff: En el caso de una técnica de acceso al medio, es el método mediante el cual el sistema se recupera tras una colisión.

Band Splitter: Divisor de banda.

BER: Bit Error Rate – Tasa de Error de Bits.

BERT: BER Test – Prueba de BER.

BG: Border Gateway – Puerta de Enlace de Frontera.

BPL: Broadband Power Line – Línea de energía de banda Ancha.

Broadcast: Mensaje enviado a todos los dispositivos. Radiodifusión.

BSC: Base Station Controller – Controlador de Estación Base.

BSS: Base Station System – Sistema de Estación Base.

BTS: Base Transceiver Station – Estación Base Transceptora.

Buffering: Acomodo de datos en memoria, normalmente es una técnica utilizada para mantener el flujo continuo de datos evitando retrasos o saltos.

Burstiness: Ráfagas esporádicas de tráfico.

CAMEL: Customized Application for Mobile Enhanced Logic – Aplicaciones Personalizadas para Lógica Móvil Mejorada.

CAN: Control Automático de Nivel.

CAP: CAMEL Application Part – Parte de Aplicación CAMEL.

CAP: Carrierless Amplitude and Phase – Modulación muy parecida a la modulación QAM pero sin la necesidad de una portadora para ser generada.

CATV: Cable Television – Televisión por Cable.

CB: Civil Band – Banda Civil.

CCITT: Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony – Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico. Antiguo nombre del comité de normalización de las telecomunicaciones dentro de la UIT ahora conocido como UIT-T.

CDMA: Code Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Código.

CDMA–2000: Norma industrial para redes inalámbricas de tercera generación.

CDMA–One: Norma industrial para redes inalámbricas de segunda generación.

CD-ROM: Compact Disc – Read Only Memory – Disco Compacto – Memoria de solo Lectura.

Cluster: segmento.

CMOS: Complementary Metal-Oxide Semiconductor – Usa una combinación de MOSFETS (Transistores de efecto de campo) de semiconductores de oxido de metal del tipo P y del tipo N para generar compuertas lógicas y otros circuitos digitales que podemos encontrar en computadoras, equipos de Telecomunicaciones y equipo de procesamiento de señales. Esta tecnología es la más usada en los circuitos integrados digitales actuales.

CMTS: Cable Modem Terminal Server - Servidor Terminal de Cable Módem.

CN: Core Network – Red Dorsal.

Código Reed Solomon: Es un esquema de codificación el cual funciona construyendo un polinomio de los símbolos de datos a ser transmitidos y enviando un diagrama sobre muestreo del polinomio, en lugar de los símbolos. Debido a la información redundante contenida en los datos sobre muestreados, es posible reconstruir el polinomio original y a su vez los símbolos de datos incluso con errores de transmisión, hasta un cierto grado de error.

COFETEL: Comisión Federal de Telecomunicaciones.

CPD: Common Path Distortion – Distorsión de Ruta Común.

CPE: Customer Premises Equipment – Equipo con premisas del Cliente.

CRA: Collision Resolution Algorithm – Algoritmos para la Resolución de Colisiones.

Crosstalk: Término usado para medir las señales indeseadas ó interferencia en un canal de telecomunicaciones.

CS: Circuit Switching – Conmutación de Circuitos.

CSCF: Call State Control Function – Función de Control de Estados de Llamadas.

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection – Acceso Múltiple por Censado del Medio con Detección de Colisión.

CWTS: Chinese Wireless Telecommunication Standard – Norma de Telecomunicaciones Inalámbricas de China.

D/A: Convertidor Digital – Analógico.

DAVIC: Digital Audio-Visual Council – Consejo de Audio y Video Digitales.

dB: Decibel.

dBm: Decibel con referencia en 1 mW.

DBS: Direct Broadcast Satellite – Radiodifusión Directa por Satélite.

dBW: Decibel con referencia en 1 W.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol – Protocolo de Configuración Dinámica de Puntos de Red.

Dial-up: Conexión mediante línea analógica conmutada.

DMA: Direct Memory Access – Acceso Directo a Memoria.

DMT: Discret Multi-Tone – Técnica de modulación discreta Multitono, que parte del uso de la IFFT y la FFT para la generación de portadoras sobre las cuales se modula y demodula la información.

Down Stream: Trama de bajada. Flujo de datos en dirección al usuario.

DPL: Digital Power Line – Línea de transmisión de Energía Digital.

DPM: Data Processor Module – Módulo de Procesamiento de Datos.

Drop: cable de abonado con una longitud de 300 pies de cable o menos

DS: Digital Signal o Data Service level – Clasificación originalmente creada por AT&T para denominar una o más conversaciones de voz sobre una trama digital, los niveles más conocidos son DS0: una sola conversación de Voz a 64Kbps, DS1: 24 conversaciones multiplexadas. Por extensión el nivel DS se refiere a las tasas brutas de datos necesarias para transmisión. Las más conocidas: DS0: 64 Kbps, DS1: 1.544 Mbps, DS1C: 3.15 Mbps, DS2: 6.31 Mbps, DS3: 44.736 Mbps y DS4: 274.1 Mbps.

DSL: Digital Subscriber Line – Línea Digital de Abonado.

DSLAM: DSL Access Multiplexer – Multiplexor de acceso de DSL.

DSSSM: Direct Sequence Spread Spectrum Modulation – Modulación de Secuencia Directa de Espectro Disperso.

DTH: Direct To Home – ver DBS.

DVB: Digital Video Broadcasting Project – Proyecto de Radiodifusión de Video Digital. Estándar Europeo.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplex – Multiplexaje Denso por División de Longitud de Onda.

DWMT: Discrete Wavelet Multitone – Similar a la DMT pero en lugar de usar la FFT ocupa la transformada Wavelet.

E/O: Transductor Eléctrico – Óptico.

E1: Especificación europea para transportar 32 DS0 de 64 kbps (30 datos y 2 para señalización y sincronía). E1: 2.048 Mbps con 32 DS0, E2: 8.448 Mbps con 4 E1, E3: 34.368 Mbps con 16 E1, E4: 139.264 Mbps con 64 E1, E5: 565.148 Mbps con 256 E1.

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifiers – Amplificadores en Fibra Dopados con Erbio.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution: Tasas de Transferencia de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM.

EIRP: Equivalent Isotropic Radiated Power – Potencia Isotrópica Equivalente Radiada.

End to End: Es uno de los principales principios del diseño del Protocolo de Internet el cual se basa en el argumento de que siempre que sea posible, las operaciones de un protocolo de comunicaciones deben de ocurrir en los puntos terminales del sistema de comunicaciones.

Espectro Radioeléctrico: Sector del espectro Electromagnético utilizado para Radiocomunicaciones.

Ethernet: Norma o estándar (IEEE 802.3) que determina la forma en que los puntos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. Originalmente fue diseñada para enviar datos a 10 Mbps, aunque posteriormente ha sido perfeccionado para trabajar a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps. Utiliza el protocolo de comunicaciones CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect - Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones). Actualmente Ethernet es el estándar más utilizado en redes locales ó LAN.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute – Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones.

Fast Ethernet: versión de Ethernet a 100 Mbps.

FCC: Federal Communications Commission – Comisión Federal de Comunicaciones.

FDD: Frequency Division Duplexing – Caso especial de la Multiplexación por división de frecuencia en la cual solo se canalizan dos señales.

FDM: Frequency Division Multiplexing – Multiplexación por división de frecuencia, es un tipo de multiplexación utilizada generalmente en sistemas de transmisión analógicos. Mediante este procedimiento, el ancho de banda total del medio de transmisión es dividido en porciones, asignando cada una de estas fracciones a un canal.

FDMA: Frequency Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Frecuencias.

FEC: Forward Error Correction – Corrección de errores a posteriori. Es un protocolo utilizado para corregir errores en una transmisión. Este se utiliza en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real donde no se puede esperar a la retransmisión para mostrar los datos.

FEQ: Ecuador de Frecuencia.

FEXT: Front-End crosstalk. Interferencia introducida por una señal sobre otra superpuesta en canales adyacentes o al menos próximos al receptor de la señal.

FFT: Fast Fourier Transform – Transformada Rápida Fourier.

FLL: Fiber Local Loop – Circuito sencillo de fibra.

Forward Path: Ruta de envío de datos del Head End al usuario.

Frame Relay: Frame Relay es un servicio de transmisión de datos especialmente diseñado para cubrir las necesidades de uso e interconexión de Redes de Área Local (LAN), con el fin de eliminar distancias geográficas y aumentar considerablemente el volumen de datos a transmitir. Se define como un protocolo de transmisión de paquetes de datos en ráfagas de alta velocidad, a través de una red digital, fragmentados en unidades de transmisión llamadas Frame. Requiere una conexión exclusiva durante el periodo de transmisión, lo cual no es válido para transmisiones de vídeo y audio ya que requieren un flujo constante de transmisiones.

Framing: Acomodo de datos en trama.

FSAN: Full Services Access Network – Red de Acceso de Servicios Completos.

FSS: Fixed Satellite Services – Servicios de Satélite Fijo.

FTTA: Fiber To The Air – Fibra hasta el Aire.

FTTB: Fiber To The Building – Fibra hasta el Edificio.

FTTBs: Fiber To The Business – Fibra hasta el Negocio.

FTTC: Fiber To The Curb – Fibra hasta la Acera.

FTTCab: Fiber To The Cabinet – Fibra hasta el Gabinete.

FTTF: Fiber To The Floor – Fibra hasta Nivel o Piso.

FTTH: Fiber To The Home – Fibra hasta el Hogar.

FTTH-RO: FTTH únicamente para recepción.

FTTN: Fiber To The Neighborhood – Fibra al Vecindario.

FTTO: Fiber To The Office – Fibra hasta la Oficina.

FTTP: Fiber To The Pole – Fibra hasta el Poste.

FTTR: Fiber To The Remote Office – Fibra hasta la Oficina Remota.

FTTx: Fiber to The x – Fibra Hasta... x. Nombre genérico de la familia de sistemas de acceso mediante Fibra óptica.

Full Duplex: Comunicación bidireccional simultánea.

G.Lite: Recomendación G.299.2 del grupo universal de trabajo ADSL y de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la cual puede ofrecer tasas de transmisión en downstream de hasta 1.5 Mbps y de hasta 512 Kbps en el upstream.

Gateway: Puerta de enlace.

GB: Giga Bytes.

Gbps: Gigabits por segundo.

GEO: Geostationary Earth Orbit – Satélite de órbita Geoestacionaria.

GGSN: Gateway GPRS Support Node – Puerta de Enlace del Nodo de Soporte GPRS.

GHz: Giga Hertz.

Gigabit Ethernet: version de Ethernet mayor a 1 Gbps.

GMSC: Gateway MSC Server - Servidor MSC Puerta de Enlace.

GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying -

GPRS: General Packet Radio Service – Servicio General de Paquetes vía Radio.

GPS: Global Positioning System – Sistema de Posicionamiento Global.

GSM: Global System for Mobile Communication – Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

H323: Norma que especifica los componentes para servicios multimedia.

Handoff: Traspaso de una transmisión celular de un nodo hacia otro adyacente.

Handover: Traspaso de un nodo móvil desde una subred a otra.

HDSL: es el acrónimo de High bit rate Digital Subscriber Line o Línea de abonado digital de alta velocidad.

HDTV: High Definition Television – Televisión de Alta Definición.

HEO: Heliptic Earth Orbit – Satélite de órbita Terrestre elíptica.

HFC: Hybid Fiber Coaxial – Híbrido Fibra Coaxial.

HN: Home Network – Red Base ó en el hogar.

Hosts: Puntos Terminales de Red.

HSCSD: High Speed Circuit Switched Data – Datos de alta velocidad por Conmutación de Circuitos.

HSS: Home Subscriber Server - Servidor de Abonados Base.

Hz: Hertz.

IDU: Indoor Data Unit – Unidad Interior de Datos.

IF: Intermediate Frequency – Frecuencia intermedia.

IFFT: Inverse Fast Fourier Transform – Transformada Inversa Rápida de Fourier.

IFITL: Integrated Fiber In the Loop – Fibra Integrada en el Lazo.

IMEI: International Mobile Equipment Identity – Identidad Internacional de Equipo Móvil.

IMS: International Mobile Subscriber Identity – Identidad Internacional de Abonado Móvil.

IMT-2000: International Mobile Telecommunications 2000 – Conjunto de requerimientos definido por la UIT para redes de Tercera Generación.

IN: Intelligent Network – Red Inteligente.

Internet: Red de datos Global.

IP: Internet Protocol – Protocolo de Internet.

IPPV: Impulse pay per view – Peticiones de pago por evento.

IPV6: Protocolo IP versión 6.

IS-95: Interim Standard '95.

ISDN: Integrated Services Digital Network – Red Digital de Servicios Integrados. Según el ITU-T podemos definir la RDSI o ISDN como: 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.

ISI: Interferencia Intersimbólica.

ISP: Internet Service Provider – Proveedor de Servicios de Internet.

ITU: International Telecommunications Union – Unión Internacional de Telecomunicaciones. Agencia especializada de la Naciones Unidas para telecomunicaciones <http://www.itu.int> Kbps: kilo bits por segundo.

JPEG: (Joint Photographic Experts Group) Es un algoritmo diseñado para comprimir imágenes con 24 bits de profundidad o en escala de grises.

Kbps: Kilo Bits por segundo.

kHz: Kilohertz.

Kv – kilovolts.

LAN: Local Area Network – Red de Área Local. Se refiere a las redes locales de computadoras.

LED: Light Emitting Diode – Diodo Emisor de Luz.

LEO: Low Earth Orbit – Satélite de órbita Terrestre Baja.

LHCP: Left-Hand Circular Polarization – Polarización Circular de Mano Izquierda.

Link Budget: Término usado para describir una serie de cálculos matemáticos diseñados para calcular el rendimiento de un enlace.

LMDS: Local Multipoint Distribution System – Sistema de Distribución Local Multicanal.

Lu: Interfaz entre un RNC la Red Dorsal.

Lur: Interfaz entre RNCs.

MAC: Media Access Control – Control de acceso al medio. En redes de computadoras, es un identificador físico almacenado dentro de una tarjeta de red o una interfase usada para asignar globalmente direcciones únicas en algunos modelos OSI (capa 2) y en la capa física del conjunto de protocolos de Internet. Las direcciones MAC son asignadas por el IEEE.

MAP: Mobile Application Part – Parte de Aplicaciones Móviles.

MB: Mega Bytes.

Mbps: Mega bits por segundo.

MC: Multi Carrier – Multiportadora.

MCNS: Multimedia Cable Network System – Sistema de Red de Cable Multimedia.

MCU: Multiple Conference Unit – Unidad de Conferencia Múltiple.

ME: Mobile Equipment – Equipo Móvil.

MEO: Medium Earth Orbit – Satélite de órbita Terrestre Media.

MGW: Media Gateway Function – Función de Puertas de Enlace Multimedia.

MHz: MegaHertz.

MMDS: Multichannel Multipoint Distributon System – Sistema de Distribución Multipunto Multicanal.

Módem: Dispositivo que combina modulador y demodulador.

MP3: Formato de audio digital comprimido con pérdida, desarrollado por el Moving Picture Experts Group (MPEG). Su nombre es el acrónimo de MPEG-1 Audio Layer 3.

MPEG: Moving Pictures Expert Group – Grupo Experto en Imágenes con Movimiento.

MPEG-2: MPEG Layer 2 – MPEG de capa 2. Uno de los formatos de compresión mas sofisticados en el que todo se guarda a manera de imágenes en binarios. Un ejemplo de la capacidad de compresión de este formato es el DVD que lo utiliza de una forma codificada.

MRF: Multimedia Resource Function – Función de Recursos Multimedia.

MSC: Mobile Switching Center – Centro de Conmutación de Móviles.

MSO: Multiple System Operators – Operadores de sistemas Múltiples.

MSS: Mobile Satellite Service – Servicio Satelital Móvil.

MT: Mobile Termination – Terminación Móvil.

Multiplexor: Dispositivo que combina varias señales digitales en una misma.

Narrowband: Banda de frecuencias angosta.

NAT: Network Impl Translation – Traducción de Direcciones de Red.

NetEnforcer: Dispositivo que controla las políticas dentro de una Red.

NIC: Network Interface Card – Tarjeta de Interfase de Red.

NIU: Network Interface Unit – Unidad de Interfase de Red.

NMS: Network Management System – Sistema de Administración de la Red.

NMT: Nordic Mobile Telephone – Telefonía Móvil Nórdica.

NNE: Network Node Equipment – Equipo de nodo de red.

NOC: Network Operation Center – Centro de Operación de la Red.

NT: Network Termination. Equipo terminal de Red.

O/E: Convertidor Óptico – Eléctrico.

OC-1: Optical Carrier 1 – Portadora Óptica 1 en norma Americana, con una tasa de transferencia de 51.84 Mbps.

OC-12: Optical Carrier – Portadora Óptica 12 en norma Americana, compatible con STM-4 en norma UIT, con una tasa de transferencia de 622 Mbps

OC-3: Optical Carrier – Portadora Óptica 3 en norma Americana, compatible con STM-1 en norma UIT, con una tasa de transferencia de 155 Mbps.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, es una organización internacional compuesta por 30 países desarrollados cuyo objetivo es coordinar, sus políticas económicas y sociales.

ODN: Optical Distribution Network – Red de Distribución Óptica.

ODU: Outdoor Data Unit – Unidad Exterior de Datos.

OECD: ver OCDE.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.

OLTE: Optical Line Terminal Equipment – Equipo Terminal de Línea Óptica.

ON/OFF KEYING: Conmutación encendido/apagado. Modulación Digital comúnmente usada en sistemas de comunicación óptica.

ONU: Optical Network Units – Unidades Ópticas de Red.

OSA: Open Service Architecture – Arquitectura de Servicios Abierta.

OSI: Open System Interconexión – Interconexión de Sistemas Abiertos.

P2P: Esquema de red informática entre iguales (en inglés peer-to-peer). Se refiere a una red que no tiene clientes y servidores fijos, sino una serie de nodos que se comportan a la vez como clientes y como servidores de los demás nodos de la red, en una conexión directa. Cualquier nodo puede iniciar o completar una transacción compatible.

PABX: Private Automatic Branch Exchange – Central de conmutación automática privada.

PAM: Phase Amplitude Modulation – Modulación por amplitud y fase.

PBX: Private Branch Exchange – Central de Conmutación Privada.

PC/DNA: Personal Computer/Data Network Access – Computadora Personal/ Acceso a Red de Datos.

PC: Computadora Personal.

PCI: Peripheral Component Interconnection – Interconexión de componentes periféricos. Es un bus de computadora estándar para conectar dispositivos periféricos a la tarjeta madre de la computadora (llamado bus local).

PCS: Plastic Clad Silica – Es una Fibra óptica, la cual tiene el núcleo basado en Silicio, pero un recubrimiento plástico. Este tipo de Fibras, generalmente presentan un bajo desempeño en comparación con las fibras compuestas totalmente de vidrio (mayores pérdidas en la transmisión así como menores Anchos de Banda).

PDA: Personal Digital Assistant – Ayudante personal digital. Equipo de mano originalmente diseñado como agenda electrónica.

PDC: Personal Digital Communication – Comunicación Digital Personal.

PDP: Packet Data Protocol – Protocolo de Paquetes de Datos.

Píxel: Del inglés picture element o elemento de la imagen, es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital.

PLC: Power Line Communications – Comunicaciones sobre Línea de transporte de energía.

PLL: Phase Locked Loop – Bucle de enganche de fase. Sistema de control de frecuencia ante la señal de entrada y la señal de salida, el cual permite estabilizar dichas señales.

PLMN: Public Land Mobile Network – Red Móvil Terrestre Pública.

PM: Phase Modulation – Modulación en Fase.

POF: Plastic Optical Fiber – Fibra Óptica Plástica.

PON: Passive Optical Network – Red Óptica Pasiva.

POTS: Public Old Telephone System – Sistema de Telefonía Pública.

POTS-C: Interfase entre los divisores PSTN y POTS y el final de la red

POTS-R: Interfase entre los teléfonos y los divisores POTS al final de las premisas.

PS: Packet Switching – Conmutación de Paquetes.

PSD: Power Spectral Density – Densidad espectral de potencia, Cantidad de potencia por unidad (densidad) de frecuencia (espectral) como una función de la frecuencia.

PSE: Personal Service Environment – Entorno Personal de Servicios.

PSK: Phase Shift Keying – Modulación por cambio de fase.

PSTN: Public Switched Telephone Network – Red Pública Telefónica Conmutada.

PyME's: Pequeñas y Medianas Empresas.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation – Modulación de Amplitud en Cuadratura.

QoS: Quality of Service – Calidad de Servicio.

QPSK: Quaternary Phase Shift Keying – Modulación por cambio de fase Cuaternaria.

RARC: Radio Administration Regional Council – Consejo Regional de Administración de Radio.

RBS: Radio Base Station – Estación Base de Radio.

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados (ver ISDN).

Return Path, Reverse Path: Ruta de envío de datos del usuario al Head end.

RF: El término Radiofrecuencia, o RF, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden generar ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena.

RFC: Request For Comments. Conjunto de archivos de carácter técnico donde se describen los estándares o recomendaciones de cualquier cosa, entre otros los de la propia Internet.

RHCP: Right-Hand Circular Polarization – Polarización Circular de Mano Derecha.

RNC: Radio Network Controller – Controlador de Redes de Radio.

RNS: Radio Network System – Sistema de Red Radio.

Roaming: Utilización del servicio en el extranjero a través de otro Operador Telefónico.

ROC: Regional Operation Center – Centro Regional de Operación.

R-SGW: Roaming Signalling Gateway Function – Función de Puerta de Enlace de Señalización de Roaming.

RTC: Red Telefónica Conmutada.

Ruteador: Dispositivo que direcciona paquetes de datos.

S/N Ratio: Relación Señal a Ruido. Ver SNR.

SAP: Service Access Point – Punto de Acceso a los Servicios.

SCCP: Simple Conference Control Protocol – Protocolo de Control de Conferencia Simple.

SCF: Service Control Function – Función de Control de Servicio.

SCM: Sub-Carrier Multiplexing – Multiplexaje por Subportadoras.

SCS: Service Capacity Server – Servidor de Capacidades de Servicio.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy – La Jerarquía digital síncrona se puede considerar como la evolución de los sistemas de transporte, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados. La jerarquía SDH se desarrolló en EEUU bajo el nombre de SONET y posteriormente el CCITT en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida esta jerarquía con el nombre de SDH. Su unidad básica de jerarquía es el STM-1 a una tasa de 155.52 Mbps.

SDM: Space Division Multiplexing – Multiplexaje por División de Espacio.

SDSL: Single Line Digital Subscriber Line – Línea de Abonado Digital de una Sola Línea.

SDTV: Standard Definition TV – Televisión de Definición Estándar.

Semi duplex: Comunicación bidireccional no simultánea.

Set Top Box: Equipo dentro de las premisas del usuario para controlar la señal por cable a recibir en una red HFC.

SGSN: Serving GPRS Support Node – Nodo Soporte de servicio GPRS.

SGW: Signalling Gateway Function – Función de Puerta de Enlace de Señalización.

SIM: Subscriber Identity Module – Módulo de Identificación de Abonado.

SIM-Card: Tarjeta SIM.

Simplex: Comunicaciones unidireccionales.

SIP: Session Initiation Protocol – Protocolo de Inicio de Sesión.

SLC: Simple Line Code – Código de Línea Simple.

SM: Service Module – Módulo de Servicio.

SMS: Short Message Service – Servicio de mensajes cortos. Es un servicio disponible en los teléfonos móviles que permite el envío de mensajes de texto cortos. SMS fue diseñado originariamente como parte del estándar de telefonía móvil digital GSM, pero en la actualidad está disponible en una amplia variedad de redes, incluyendo las redes 3G.

SN: Serving Network – Red Servidora.

SNMP: Simple Network Management Protocol – Protocolo de Administración de Red Simple.

SNR: La Frase relación señal a ruido (en inglés Signal to Noise ratio SNR o S/N) es un término de Ingeniería para la relación entre la magnitud de la señal (información significativa) y la magnitud de ruido de fondo. Debido a que muchas señales tienen un rango dinámico muy grande, la relación señal a ruido se expresa en términos de decibeles en escala logarítmica.

SOHO: Small Office/Home Office – Pequeña Oficina/Oficina en Casa.

SONET: Synchronous Optical Network – Red Óptica Síncrona. Es un estándar para el transporte en redes de fibra óptica. Su unidad básica de jerarquía es el OC-1 o STS-1 a una tasa de 51.84 Mbps.

Splitter: Divisor.

Spread Spectrum: Espectro Distribuido ó Disperso.

SS7: Signalling System Nr.7 – Sistema de Señalización Número 7.

STM: Synchronous Transmisión Module – Modulo de Transferencia Síncrona.

STS: Synchronous Transfer Signal – Señal de Transferencia Síncrona.

SVC: Conmutación de Servicios Virtuales.

Switch: Conmutador de Paquetes de Datos.

T1: Transporte de señales digitales de acuerdo a especificación de AT&T adoptada por los EE UU a 1.544 Mbps.

TACS: Telecommunication Access System – Sistema de Acceso a las Telecomunicaciones.

TAP: Conector entre el cable de distribución y el de abonado.

TCP: Transfer Control Protocol – Protocolo de Control de Transferencia.

TDD: Time Division Duplexing– Duplexaje por División de Tiempo.

TDM: Time Division Multiplexing – Multiplexación por División de Tiempo.

TDMA: Time Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TD-SCDMA: Time Division Synchronous CDMA – CDMA Síncrono por división de tiempo.

TE: Terminal Equipment – Equipo Terminal.

Telco: Telephonic Central Office - Central Telefónica Local.

TEQ: Ecuadorador de Tiempo.

Time Slot: Ranura de tiempo en una trama.

TM6: Grupo de trabajo del ETSI dedicado a las redes de acceso.

TN: Transit Network – Red de Tránsito.

Token Ring: Arquitectura de red desarrollada por IBM con topología en anillo y técnica de acceso de paso de testigo. Cumple el estándar IEEE 802.5. Estas redes alcanzan una velocidad máxima de transmisión que oscila entre los 4 y los 16 Mbps.

Transceiver: Transmisor y receptor de señales de telecomunicaciones en un solo dispositivo.

TTA: Telecommunications Technology Association – Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones.

UADSL: ADSL Universal.

UDSL: Universal Digital Subscriber Line – Línea Digital de Abonado Universal.

UE: User Equipment – Equipo del Usuario.

UHF: Ultra High Frequency – Frecuencia Ultra Alta.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System – Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

UNI: User Network Interface. Interfase usuario a red.

Up Stream: Flujo de en dirección al Head End.

USIM: User Service Identity Module – Modulo de Identidad de Servicios de Usuario.

UTRA: UMTS Terrestrial Radio Access – Acceso Terrestre por Radio UMTS.

UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network - Red de Acceso Radio Terrestre UMTS.

Uu: UMTS Air Interface – Interfaz Aérea UMTS.

VCR: Video Cassette Recorder - Grabadora de video.

VDSL: Very high data rate Digital Subscriber Line – Línea de Abonado Digital con muy alta tasa de transmisión.

VHE: Virtual Home Environment – Entorno Propio Virtual.

VHF: Very High Frequency – Banda de frecuencias muy altas.

VLAN: Virtual Local Area Network – Red Virtual de Área Local.

VLSI: Very Large Scale of Integration – Muy Larga Escala de Integración.

VoD: Video On Demand – Video Bajo Demanda.

VoIP: Voz sobre IP. El estándar VoIP fue definido en 1996 por la ITU.

VPN: Virtual Private Network – Red Privada Virtual (RPV), es una tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública o no controlada, como por ejemplo Internet.

VSF: Vestigial Side Band – Modulación por Banda Lateral Vestigial.

W: Watt.

WAN: Wide Area Network – Red de área amplia. Un ejemplo de este tipo de redes sería Rediris, la misma Internet o cualquier red en la que no estén en un mismo edificio todos sus miembros (sobre la distancia hay discusión posible). Opera en la capa física y de enlace del modelo de referencia OSI.

WAP: Wireless Application Protocol – Protocolo de aplicaciones inalámbricas. Es un estándar abierto internacional para aplicaciones que utilizan las comunicaciones inalámbricas, p.ej. acceso a Internet desde un teléfono móvil.

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Código en Banda Ancha.

WDM: Wavelength Division Multiplex – Multiplexaje por División de Longitud de Onda.

Web: ver WWW.

WWW: World Wide Web – Red amplia mundial.

xDSL: Término para referirse de forma global a todas las tecnologías Digital Subscriber Line: ADSL, SDSL, HDSL y VDSL.

XML: Extensible Markup Language – Lenguaje de Mercado Extensible.