



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

**REDES DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICAS COMO
UNA ALTERNATIVA PARA ENLACES DE ÚLTIMA MILLA
SEGÚN EL ESTÁNDAR IEEE 802.16**

Flor de María Ruiz Flores

Asesorado por: Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, julio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDES DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICAS COMO UNA
ALTERNATIVA PARA ENLACES DE ÚLTIMA MILLA SEGÚN EL
ESTÁNDAR IEEE 802.16**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR:

FLOR DE MARÍA RUIZ FLORES

**ASESORADO POR INGENIERA INGRID RODRÍGUEZ DE LOUKOTA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA ELECTRÓNICA**

GUATEMALA, JULIO DE 2007

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**REDES DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICAS COMO
UNA ALTERNATIVA PARA ENLACES DE ÚLTIMA MILLA
SEGÚN EL ESTÁNDAR IEEE 802.16,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de septiembre de 2005.

Flor de María Ruiz Flores

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia Garcia Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Gerrero de Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Àngel Dàvila Calderòn
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Porque gracias a su amor y su infinita misericordia hoy puedo culminar mi carrera.

MI HIJA EMILY

Por ser mi inspiración y mi gran razón para seguir adelante, mi Colochis te quiero mucho.

MIS PADRES

Por todo el apoyo que me han brindado para poder llegar al fin de mi carrera.

**A MIS HERMANAS,
SOBRINITAS Y
SOBRINOS**

Para que también ellos sigan adelante, ya que, tienen todo un mundo por delante.

**A MIS AMIGOS Y
COMPAÑEROS**

AGRADECIMIENTOS

Ingeniera Ingrid Rodríguez de Loukota

Por brindarme en todo momento su amistad, apoyo y asesoramiento en el desarrollo y finalización del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. REDES DE ÁREA METROPOLITANA.....	1
1.1 Introducción a las redes de computadoras.....	1
1.1.1 Qué es una red?.....	1
1.1.2 Usos de las redes.....	1
1.1.3 Algunas aplicaciones.....	1
1.1.4 Tipos de redes.....	2
1.1.5 Protocolos de comunicación.....	4
1.1.6 Modelo OSI de ISO.....	4
1.2 Qué es una red de Área Metropolitana.....	8
1.3 Interconexión de redes de área local en un área urbana.....	11
1.4 Interconexión de redes de área local en un entorno privado de múltiples edificios.....	14
1.5 Componentes de una red de área Metropolitana.....	15
1.6 Servicios de una red de área Metropolitana.....	16
1.7 Topología.....	17
1.8 Medios de transmisión.....	21

1.8.1	Par trenzado.....	21
1.8.2	Fibra óptica.....	21
1.8.3	Redes inalámbricas.....	21
1.8.3.1	Clasificación de redes inalámbricas.....	22
1.8.3.1.1	Tipos de redes de larga distancia.....	23
1.8.3.2	El uso del espacio, tiempo y del espectro en redes de radiofrecuencia	27
1.8.3.3	Puntos de acceso.....	28
2.	TECNOLOGÍAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA PARA ÚLTIMA MILLA.....	29
2.1	Historia.....	29
2.2	Otros métodos para acceder a Internet.....	31
2.2.1	Modems de 56 kbps.....	31
2.2.2	Modems de cable.....	32
2.2.3	Sistemas vía satélite.....	33
2.2.4	Acceso de banda ancha a través del par de cobre.....	34
2.2.4.1	HDSL.....	36
2.2.4.2	SDSL.....	38
2.2.4.3	CDSL (Consumer DSL, o DSL de Consumidor).....	39
2.2.4.4	IDSL (ISDN DSL o DSL de RDSI.....	39
2.2.4.5	ADSL (Asimetric DSL, o DSL asimétrico).....	39
2.2.4.5.1	Como funciona.....	40
2.2.4.5.2	Como se usa el rango de frecuencias.....	43
2.2.4.5.3	Descripción de la modulación.....	44
2.2.4.5.4	Instalación de ADSL.....	49
2.2.4.5.5	DSLAM.....	54

2.2.4.6	RADSL.....	56
2.2.4.7	SHDSL.....	56
2.2.4.8	VDSL.....	56
2.2.4.9	Problemas técnicos de despliegue del DSL.....	57
2.2.4.9.1	Alcance y tipos de bucle.....	57
2.2.4.9.2	Crecimiento de la atenuación con el aumento de frecuencia.....	58
2.2.4.9.3	Perturbaciones.....	58
2.2.4.9.3.1	Ruido.....	59
2.2.4.9.4	Diafonía.....	61
2.2.4.10	Problemas prácticos del despliegue de DSL.....	62
2.2.4.10.1	Interoperabilidad.....	62
2.2.4.10.2	Caracterización de los bucles.....	62
2.2.4.10.3	Segmentación de la oferta comercial.....	63
2.2.4.11	Los problemas de instalación.....	63
3.	WIMAX.....	65
3.1	Introducción.....	65
3.2	Estandarización (IEEE 802.16).....	66
3.2.1	La importancia de la interoperabilidad.....	70
3.3	Características.....	71
3.4	Arquitectura WiMax.....	75
3.5	Modos de funcionamiento.....	76
3.5.1	Fijo.....	76
3.5.2	Móvil o Portátil.....	77
3.6	Comparativa frente a otras tecnologías.....	78
3.7	Redes WiMax beneficios.....	84
3.8	Aplicaciones.....	85

4. WIMAX TECNOLOGÍA PARA AMBIENTES CON LÍNEA DE VISIÓN DIRECTA Y SIN VISIÓN DIRECTA ENTRE ENLACES.....	89
4.1 Introducción.....	89
4.2 Propagación terrestre.....	89
4.2.1 Ondas aéreas.....	89
4.2.2 Onda directa.....	90
4.2.3 Onda reflejada.....	90
4.2.4 Refracción troposférica.....	91
4.2.5 Difracción (filo de navaja).....	92
4.2.6 Ondas de radio u ondas hertzianas.....	92
4.3 El efecto Fresnel.....	93
4.4 Comparación entre enlaces sin línea de visión directa y enlaces con línea de visión directa.....	98
4.5 Soluciones para tecnología sin línea de visión directa.....	101
4.5.1 Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).....	102
4.5.2 W-OFDM Banda ancha con multiplexación por división en frecuencia ortogonal.....	105
4.5.3 Subcanalización.....	106
4.5.4 Diversidad de transmisión y recepción.....	107
4.5.5 Antenas para aplicaciones inalámbricas fijas.....	108
4.5.5.1 Tecnología de antena múltiple en sistemas WiMax.....	109
4.5.6 Modulación adaptativa.....	111
4.5.7 Técnicas de Corrección de error.....	112
4.5.8 Control de potencia.....	112
4.6 Enlaces WiMax en banda exenta de licencia.....	113
4.7 Enlaces WiMax en banda que necesita licencia.....	115

4.8 Problemas en cuanto a Interferencia y QoS.....	119
CONCLUSIONES.....	121
RECOMENDACIONES.....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125
APÉNDICE A.....	127
A.1 Introducción.....	127
A.2 Antecedentes.....	127
A.3 Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA.....	129
A.4 Acceso múltiple por división de tiempo TDMA.....	131
A.5 Duplexación por división de frecuencia FDD.....	133
A.6 Duplexación por división de tiempo TDD.....	134
A.7 Comparación de enfoques de administración de enlace aéreo en sistemas PMP.....	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Capas del Modelo OSI.....	6
2.	Red en bus.....	18
3.	Red en estrella.....	19
4.	Red en árbol.....	19
5.	Red en anillo.....	20
6.	Transmisor receptor HDSL.....	37
7.	Funcionamiento de ADSL.....	42
8.	Utilización de frecuencias en ADSL.....	43
9.	DMT sobre un bucle ideal.....	47
10.	DMT sobre un bucle real.....	48
11.	Configuración 1, para instalación ADSL.....	49
12.	Configuración 2, para instalación ADSL.....	50
13.	Configuración 3, para instalación ADSL.....	51
14.	Configuración 4, para instalación ADSL.....	52
15.	Configuración 5, para Instalación ADSL.....	53
16.	Enlace WiMax.....	66
17.	Modo de funcionamiento fijo de un enlace WiMax.....	77
18.	Grafica comparativa, en cuanto a costos enlace cableado y enlace inalámbrico...81	
19.	Aplicaciones de los sistemas WiMax.....	86
20.	Aplicaciones de redes WiMax.....	87
21.	Ondas Directas.....	90
22.	Ondas Reflejadas.....	91
23.	Refracción Troposférica.....	91
24.	Difracción Filo de Navaja.....	92

25.	Línea de visión directa entre dos puntos.....	94
26.	Zona de Fresnel para una señal de radio.....	95
27.	Solución más común para el efecto Fresnel.....	95
28.	Zona de Fresnel para enlace con Línea visión directa.....	98
29.	Propagación sin línea de visión directa.....	99
30.	Localización del CPE en un sistema NLOS.....	103
31.	Técnica OFDM.....	106
32.	OFDM vrs modulación multicarrier convencional.....	104
33.	El efecto de la sub-Canalización.....	107
34.	Definición de los componentes de un enlace aéreo en sistemas punto multipunto.....	128
35.	Asignación de canales Uplink en un sistema FDMA.....	129
36.	TDM con el hub controlando el canal.....	130
37.	TDMA con sitios alternantes que controlan y transmiten sobre el canal.....	131
38.	Plan de frecuencias PMP FDD para asignaciones de espectro contiguas y no contiguas.....	133
39.	Plan de frecuencias PMP TDD (superior) con el plan FDD correspondiente.....	135
40.	Planes de canal para sistemas PMP FDMA, FDD y TDD.....	136
41.	Esquema de transmisión entre el hub y el remoto.....	137
42.	Canales de guarda y anchos de banda de canal para sistemas FDD y TDD.....	138
43.	Canales de guarda estrechos y amplios.....	139

TABLAS

I.	Cuadro comparativo del grupo de normas 802.16.....	68
II.	Parámetros de un enlace WiMax.....	69
III.	Comparativa de WiMax frente a otras tecnologías.....	72
IV.	Diferencias técnicas entre IEEE 802.16 y IEEE 802.11.....	83
V.	Abreviaciones para rangos de frecuencias de radio.....	93
VI.	Comparativa entre bandas licenciada y banda no licenciada.....	116
VII.	Resumen comparativo de FDD y TDD.....	142

GLOSARIO

- AAS** Sistema de Antena Adaptativa son una parte opcional del estándar 802.16, estos tienen propiedades de concentradores del haz que pueden orientar su reflector en una dirección particular. Esto significa que mientras se está reflejando, la señal puede estar limitada hacia el requerimiento de la dirección del receptor, como un haz de luz.
- ADSL** Siglas de *Asymmetric Digital Subscriber Line* -"Línea de Abonado Digital Asimétrica". Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado.
- Ancho de banda** Se denomina así a la cantidad de datos que se pueden transmitir en una unidad de tiempo. Por ejemplo, una línea ADSL de 256 kbps puede, teóricamente, enviar 256000 bits -no bytes- por segundo.
- ARQ** *Automatic Repeat-reQuest*- es un protocolo utilizado para el control de errores en la transmisión de datos, garantizando la integridad de los mismos. Éste suele utilizarse en sistemas que no actúan en tiempo real, ya que, el tiempo que se pierde en el reenvío puede ser considerable y ser más útil emitir mal en el momento que correctamente un tiempo después.

ATM

El Modo de Transferencia Asíncrona o *Asynchronous Transfer Mode* con esta tecnología, a fin de aprovechar al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, sean estos de cable o radioeléctricos, la información no es transmitida y conmutada a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes -celdas ATM- de longitud constante y que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de los denominados canales virtuales y trayectos virtuales.

Backhaul

Red de retorno, conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a computadoras u otros equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Los backhaul conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación. Un Backhaul es usado para interconectar redes entre sí utilizando diferentes tipos de tecnologías alámbricas o inalámbricas.

Banda Ancha

Se refiere a la transmisión de datos en el cual se envían, simultáneamente, varias piezas de información, con el objeto de incrementar la velocidad de transmisión efectiva. En ingeniería de redes este término se utiliza, también, para los métodos en donde dos o más señales comparten un medio de transmisión.

Bitrate

Define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales. Así pues, el bit-rate es la velocidad de transferencia de datos.

BS	Estación Base.
CPE	El CPE es una antena de transmisión que trabaja en la frecuencia de los 2.5 MHz, normalmente puede tener un alcance diametral de varios kilómetros, el CPE, regularmente, es móvil y es parte fundamental de la tecnología WiMax basada en el protocolo de comunicaciones 802.16, a, b y g.
DHCP	Sigla en inglés de <i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> - es un protocolo de red que permite a los nodos de una red IP obtener sus parámetros de configuración automáticamente.
Difracción	Cuando entre el emisor y el receptor se encuentra una montaña o cordillera, puede ocurrir que las ondas modifiquen su trayectoria debido a la naturaleza del terreno -temperatura, humedad, etc.-
Downstream	Enlace en sentido descendente, de la central del operador hacia el cliente.
DSLAM	Son las siglas de <i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i> - Multiplexor digital de acceso a la línea de abonado-. Es un multiplexor localizado en la central telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios DSL, sobre cable de par trenzado de cobre.
E1	Es un formato europeo de transmisión digital ideado por el ITU-TS; el formato de la señal E1 lleva datos en una tasa de 2,048 millones de bits por segundo.

- ETSI** *European Telecommunications Standards Institute* o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones -fabricantes de equipos y operadores de redes- de Europa, con proyección mundial.
- FCC** La Comisión Federal de las Comunicaciones -*Federal Communications Comisión*- es una agencia estatal independiente de Estados Unidos. La FCC es la encargada de la regulación de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable.
- FDDI** *Fiber Distributed Data Interface*- es un conjunto de estándares ISO y ANSI para la transmisión de datos en redes de computadoras de área local (LAN) mediante cable de fibra óptica . Se basa en la arquitectura token ring y permite una comunicación tipo Full Duplex.
- FEC** *Forward Error Correction*- es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original. Se utiliza en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real donde no se puede esperar a la retransmisión para mostrar los datos.
- IEEE** Corresponde a las siglas de *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

IEEE 802.11	Es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI -capas física y de enlace de datos- especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local.
IEEE 802.16	Se trata de una especificación para las redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha fijas, no móvil.
LAN	es la abreviatura de <i>Local Area Network</i> -Red de Área Local o simplemente Red Local-. Una red local es la interconexión de varios ordenadores y periféricos. Su extensión esta limitada físicamente a un edificio o a un entorno de unos pocos kilómetros.
LOS	Acrónimo de " <i>Line of Sight</i> "- línea a Vista, es un enlace visual entre ambos extremos. Se dice o aplica el término para un enlace de radio que debe tener visibilidad directa entre antenas.
MAN	Una red de área metropolitana - <i>Metropolitan Area Network</i> ,- es una red de alta velocidad -banda ancha- que dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y vídeo, sobre medios de transmisión, tales como: fibra óptica y par trenzado de cobre a velocidades que van desde los 2 Mbit/s hasta 155 Mbit/s.
NLOS	Para los enlaces in línea de visión directa entre ellos.

OFDM	En inglés <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> , también llamada modulación por multitono discreto, en inglés <i>Discreet Multitone Modulation (DMT)</i> es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias.
Onda directa	Sin tocar terreno ni ionosfera. La atenuación es mínima, siendo únicamente la que se produce por el espacio abierto o agentes meteorológicos.
Onda reflejada	Llega al receptor después de reflejarse en la tierra (o mar). Sufre gran atenuación por la propia naturaleza del terreno y depende mucho de éste.
Perturbaciones	Son ráfagas de gran amplitud de ruido, con duración variable desde unos pocos hasta cientos de microsegundos y procedentes de diversas fuentes, impulso de disco, corriente de llamada, cambios de polaridad de la línea, rayos, etc.
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura, en inglés <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> , es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras. Estas dos ondas, generalmente, sinusoidales, están desfasadas entre si 90° en la cual una onda es la portadora y la otra es la señal de datos.
QoS	<i>Quality of Service</i> , Calidad de Servicio- garantiza que se transmitirá cierta cantidad de datos en un tiempo dado, <i>throughput</i> .

Refracción Troposférica	Cuando una capa de aire frío se encuentra entre dos capas de aire caliente, puede ocurrir que la onda de refracte, esto es, que modifique su trayectoria.
RF	El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden generar ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena.
RTC	Red Telefónica conmutada.
Ruido	Todo tipo de señal que no fue enviada desde la fuente, pero, por estar presente dentro de la banda de la señal transmitida y con niveles perceptibles, perturba la recepción de ésta.
SS	Estación del suscriptor.
T1	La tasa de transmisión original (1,544 Mbps) en la línea T-1 es comúnmente usada hoy en día en conexiones de Proveedores de Servicios de Internet (ISP) hacia la Internet. Otro servicio comúnmente instalado es un T-1 fraccionado, el cual es el alquiler de una cierta porción de los 24 canales en una línea T-1, con los otros canales que no se están usando.
UIT	Es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

Upstream	Enlace de ascendente, del cliente a la central del proveedor de servicio.
VoIP	Voz sobre Protocolo de Internet, también llamado Voz sobre IP -por sus siglas en inglés- o Telefonía IP, es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Internet Protocol).
WAN	Una red de área amplia, WAN, acrónimo de la expresión en idioma inglés <i>Wide Area Network</i> , es un tipo de red de computadoras capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000 km, dando el servicio a un país o un continente.
Wi-Fi	Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.
WiMAX	Del inglés <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i> , "Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas"- es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.16 MAN) que proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa con las estaciones base.
WISP	Proveedor de servicio de Internet inalámbrico, es un acrónimo para Wireless Internet Service Provider. Pueden ser hotspots Wi-Fi o un operador con una infraestructura Wi-Fi.

WLAN *Wireless Local Area Network*, es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible muy utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como extensión de éstas.

WMAN Red inalámbrica de área metropolitana.

RESUMEN

WiMax es una solución inalámbrica estandarizada pensada principalmente como una alternativa para tecnologías alambradas como módems de cable, DSL y enlaces T1/E1, para proporcionar acceso de la banda ancha a los suscriptores.

Actualmente, hay varias opciones para acceder a Internet.

- Acceso Banda ancha. En las casas, hay una conexión DSL o módem del cable. En la oficina, la compañía puede usar un T1 o una línea T3.
- Acceso Dial-up. Para quien aun utiliza dial-up, debe ser porque cualquier acceso de la banda ancha no está disponible, o le resulta costoso.

Los problemas principales con acceso de la banda ancha son que es bastante caro y no cubre todas las áreas.

La tecnología WiMax proporciona:

- alta velocidad de servicio de banda ancha;
- wireless en lugar de acceso alambrado, así que es mucho mas barato que el cable o DSL y mucho más fácil de extenderse a áreas rurales y urbanas.

WiMax representa una alternativa barata al suscriptor de línea digital (DSL) y acceso de banda ancha por cable. Los costos de la instalación para una infraestructura inalámbrica basada en 802.16 son menores a las soluciones hoy alambradas que a menudo requieren instalación de cables y romper construcciones y calles. Por esta razón, WiMax es una solución atractiva para proporcionar la conexión de última milla en redes del área metropolitanas inalámbricas.

OBJETIVOS

General

Analizar a profundidad redes de área metropolitana inalámbricas como una alternativa para ofrecer servicios de última milla como voz, video, datos y acceso a Internet de alta velocidad.

Específicos

1. Realizar un estudio de las redes de área metropolitana.
2. Realizar un estudio de las diferentes tecnologías de acceso de banda ancha para última milla.
3. Comparar WiMax con otras tecnologías de acceso de banda ancha para última milla en cuanto a cobertura, velocidad, costos de instalación y mantenimiento, aplicaciones.
4. Realizar un estudio de la tecnología WiMax para ambientes con línea de visión directa y sin línea de visión directa entre enlaces.

INTRODUCCIÓN

La Red de Acceso abarca los elementos que soportan los enlaces de telecomunicaciones entre los usuarios finales y el último nodo de la red. A menudo se denomina lazo de abonado o simplemente la última milla. Sus principales componentes son: los medios de comunicación (par de cobre, cable coaxial, fibra óptica, canal radioeléctrico) y los elementos que realizan la adecuación de la señal a los mismos.

La última milla, sin lugar a dudas, constituye un punto de mira de los científicos, tecnólogos y economistas en la búsqueda de alternativas para incrementar el aprovechamiento del espacio de señal dentro de los medios de transmisión, a un precio que permita la asimilación por los abonados finales, aprovechándose de la creciente necesidad de ancho de banda para la satisfacción de las necesidades de información, comunicación y entretenimiento en que la época actual nos sumerge.

El acceso de banda ancha es un desafío que se viene logrando desde la década pasada. El problema fundamental está en desarrollar tecnologías que permitan altas velocidades en la última milla, a través de medios de transmisión convencionales.

En este trabajo se realiza un estudio de una tecnología de acceso de última milla por medios inalámbricos denominada WiMax que permite brindar al usuario una gama de servicios integrados que incluyen, servicio de Internet de alta velocidad, servicios de voz y de video, interconexión de redes LAN, entre otros.

WiMax, proviene del ingles WordWide Interoperability for microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), es un estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana o MAN. Integra la familia de estándares IEEE 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI. WiMax es un sistema de conectividad en banda ancha que transforma las señales de voz y datos en ondas de radio. Éstas se transmiten por el aire, mediante una red de estaciones base, hasta un pequeño panel situado en el exterior del edificio del cliente. Es decir, que se puede hacer lo mismo que con cualquier conexión de voz y datos como, por ejemplo, la línea telefónica o el ADSL, pero sin necesidad de cables.

1. REDES DE ÁREA METROPOLITANA

1.1 Introducción a las redes de computadoras

1.1.1 ¿Qué es una red?

Una red no es más que un conjunto de dispositivos de datos autónomos interconectados a través de un medio de transmisión de tal forma que pueda intercambiar información y compartir recursos.

1.1.2 Usos de las redes

- Se comparten recursos tales como discos duros de alta capacidad, impresoras, software y hardware en general
- Trabajo colaborativo, proporciona un medio de comunicación efectivo entre personas (correo electrónico)
- Disponibilidad
- Investigación

1.1.3 Algunas aplicaciones

Los servicios que proporcionan las redes de datos a sus usuarios son básicamente tres:

Transferencia de Archivos, esto es, la transmisión de archivos entre dos sistemas de cómputo remotos entre sí, a través de una red de comunicaciones. Ejemplos de este servicio son las “descargas de archivos” en Internet.

Acceso Remoto a Archivos como Terminal (Acceso en Línea), donde de forma remota se actualiza o modifica un archivo residente en una computadora. Este tipo de servicios son utilizados en aplicaciones de teleproceso tales como: Cajero automático, terminales punto de venta, terminales de reservaciones, etc.

El Correo Electrónico, es un servicio de red especializado para comunicación entre personas.

1.1.4 Tipos de redes

Por su extensión geográfica, las redes se clasifican en:

Redes de área local (LAN)

- Transmisión confiable.
- Una red de área local es una red de comunicación de datos confinada a un área reducida, como un edificio o un aula.
- Área geográfica limitada cuarto (10m) edificio (100m) campus (10km).
- Enlaces de comunicación de bajo costo.

Redes de área amplia (WAN)

- Transmisión menos confiable 1 error en 100 Mbits transmitidos
- Velocidades de transmisión más bajas 9.6 Kbps a 45 Mbps
- Área geográfica más amplia ciudad (10 a 100 Km.)

Redes de área metropolitana (MAN)

- Diseñadas para interconectar sistemas de una ciudad a otra dentro de un país
- Velocidades transmisión de 1.5 Mbps a 2.4 Gbps
- Área geográfica de 100 a 1000 Kms.
- Costo transmisión es alto, por lo que son usualmente operadas por una red pública

Redes de área global

- Conectan países alrededor del mundo
- Velocidades entre 1.5Mbps a 2.4Gbps
- Cubre miles de kilómetros
- Tráfico pequeño pero se incrementa a diario con la necesidad que se origina de la globalización de las compañías de negocios
- Se comunican vía interfaces internacionales o regionales

1.1.5 Protocolos de comunicación

Al igual que los humanos, los equipos o dispositivos de procesamiento de datos, como por ejemplo las computadoras, necesitan de ciertas reglas para llevar a cabo la convivencia entre ellas, y en especial para lograr la comunicación. En los humanos algunos de los protocolos usados son el idioma, la escritura y símbolos que representan un mensaje. En las computadoras estos protocolos no son más que programas que son ejecutados en los equipos.

Los protocolos de comunicación de datos se definen como un conjunto de reglas y convenciones, que controlan el orden y significado de intercambio de información entre dos entidades de comunicaciones.

1.1.6 Modelo OSI de ISO

La existencia de múltiples fabricantes de equipo de cómputo y de comunicaciones, aunado a un sinnúmero de procedimientos de comunicación (protocolos), generó en los años 70 un gran problema de incompatibilidad entre los diferentes componentes de una red de computadoras, al tratar de integrarlos entre sí. Ante esta problemática, diversos organismos internacionales, tanto del sector público como del privado desarrollaron grandes esfuerzos por solucionarla, dirigiendo sus acciones en el desarrollo de estándares de comunicaciones. Uno de estos organismos es la ISO, quien en los años 70 propuso un modelo que sirviera como referencia, para que desarrolladores de software de comunicaciones y fabricantes de dispositivos de datos presentaran propuestas de estándares de comunicaciones, que en su caso, fueran aprobadas y convertidas en estándares.

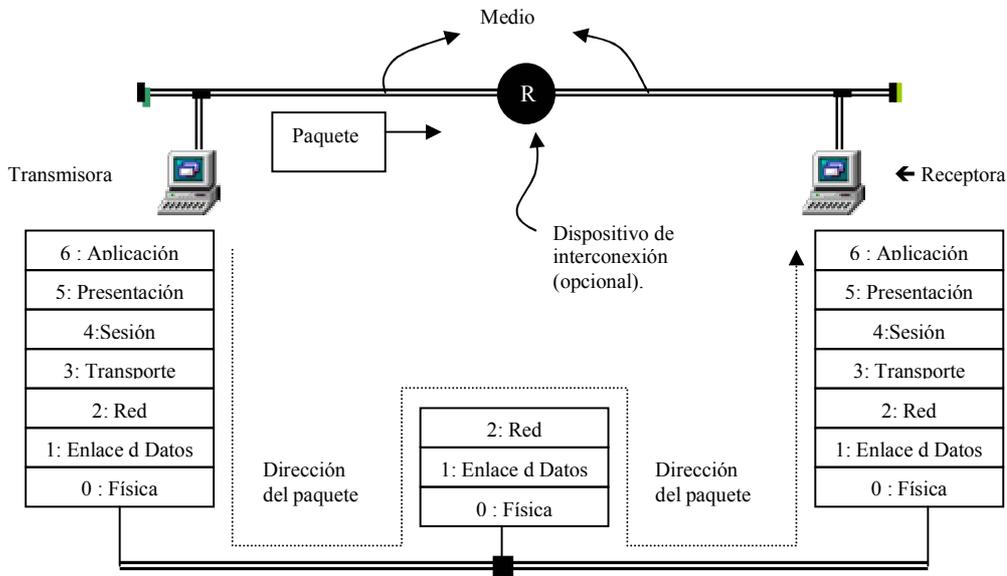
Este modelo se conoce como el “Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos” o simplemente “Modelo OSI” (del inglés: *Open System Interconnection*). Este modelo se creó tomando como base a la Arquitectura de la IBM, la SNA (*System Network Architecture*), ya que ésta ha sido un modelo de facto para las redes de teleproceso, y en su momento la más extendida del mundo.

El modelo de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*) surge en 1983 y es el resultado de la ISO para la estandarización internacional de los protocolos de comunicación. Los sistemas abiertos son aquellos que no dependen de un fabricante específico.

El modelo consta de 7 capas o niveles, cada capa realiza funciones específicas y posee un protocolo propio. Los servicios proporcionados por cada nivel son utilizados por el nivel superior.

El modelo OSI es conocido porque ofrece una explicación sencilla de la relación entre los complejos componentes de hardware y de protocolo de red. El modelo de referencia OSI, es un conjunto de reglas organizadas en capas, que describen los formatos y protocolos para la interconexión de sistemas de datos. El modelo de referencia OSI define protocolos de comunicación en siete capas. Cada capa tiene funciones muy definidas, que se interrelacionan con las funciones de las capas contiguas. Las capas inferiores definen el medio físico, conectores y componentes que proporcionan comunicaciones de red, mientras que las capas superiores definen como acceden las aplicaciones a los servicios de comunicación.

Figura 1. Capas del Modelo OSI



Fuente. Apuntes de redes, Julio Cesareo Lara Gallegos.
monografias.com/trabajos12/redes/redes.shtml

Las capas del modelo OSI son:

Capa Física:

Se ocupa de la transmisión del flujo de bits a través del medio físico. Define las características eléctricas del canal de comunicación.

Capa de Enlace de Datos:

Asegura una comunicación fiable entre nodos de red adyacentes. Divide la información a enviar en secuencias de tramas y procesa los acuses de recibo de dichas tramas, los límites de cada trama son definidos por esta capa, en caso de pérdida de una trama, debe ser capaz de retransmitirla.

Capa de Red:

Determina la trayectoria que tomarán los datos en la red. Controla la operación de la sub-red, ruteo de “paquetes” de información, control de congestión de la red, resolver problema de interconexión entre redes.

Capa de Transporte:

Asegura que el receptor reciba exactamente la misma información que envió el emisor.

Capa de Sesión:

Permite establecer sesiones entre usuarios en máquinas diferentes, controla el diálogo, sincronización de sesiones.

Capa de Presentación:

Traduce el formato y asignan una sintaxis a los datos para su transmisión en la red. Determina la forma de presentación de los datos sin preocuparse de su significado o semántica.

Capa de Aplicación:

Se entiende directamente con el usuario final, al proporcionarle el servicio de información distribuida para soportar las aplicaciones y administrar las comunicaciones por parte de la capa de presentación.

1.2 ¿Qué es una red de área metropolitana?

Una red de área metropolitana es una red de alta velocidad (banda ancha) que dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y video, sobre medios de transmisión tales como fibra óptica y par trenzado de cobre a velocidades que van desde los 2 Mbits/s hasta 155 Mbits/s.

El concepto de red de área metropolitana representa una evolución del concepto de red de área local a un ámbito más amplio, cubriendo áreas de una cobertura superior que en algunos casos no se limitan a un entorno metropolitano sino que pueden llegar a una cobertura regional e incluso nacional mediante la interconexión de diferentes redes de área metropolitana.

Las redes de área metropolitana tienen muchas aplicaciones, las principales son:

- Interconexión de redes de área local (LAN)
- Interconexión de centralitas telefónicas digitales (PBX y PABX)
- Interconexión ordenador a ordenador
- Transmisión de video e imágenes
- Pasarelas para redes de área extensa (WANs)

Una red de área metropolitana puede ser pública o privada. Un ejemplo de MAN privada sería un gran departamento o administración con edificios distribuidos por la ciudad, transportando todo el tráfico de voz y datos entre edificios por medio de su propia MAN y encaminando la información externa por medio de los operadores públicos. Los datos podrían ser transportados entre los diferentes edificios, bien en forma de paquetes o sobre canales de ancho de banda fijos. Aplicaciones de video pueden enlazar los edificios para reuniones, simulaciones o colaboración de proyectos.

Un ejemplo de MAN pública es la infraestructura que un operador de telecomunicaciones instala en una ciudad con el fin de ofrecer servicios de banda ancha a sus clientes localizados en esta área geográfica.

Las razones por las cuales se hace necesaria la instalación de una red de área metropolitana a nivel corporativo o el acceso a una red pública de las mismas características se resumen a continuación:

Ancho de banda

El elevado ancho de banda requerido por grandes ordenadores y aplicaciones compartidas en red es la principal razón para usar redes de área metropolitana en lugar de redes de área local.

Nodos de red

Las redes de área metropolitana permiten superar los 500 nodos de acceso a la red, por lo que se hace muy eficaz para entornos públicos y privados con un gran número de puestos de trabajo.

Extensión de red

Las redes de área metropolitana permiten alcanzar un diámetro entorno a los 50 kms, dependiendo el alcance entre nodos de red del tipo de cable utilizado, así como de la tecnología empleada. Este diámetro se considera suficiente para abarcar un área metropolitana.

Distancia entre nodos

Las redes de área metropolitana permiten distancias entre nodos de acceso de varios kilómetros, dependiendo del tipo de cable. Esta distancias se consideran suficientes para conectar diferentes edificios en un área metropolitana o campus privado.

Tráfico en tiempo real

Las redes de área metropolitana garantizan unos tiempos de acceso a la red mínimos, lo cual permite la inclusión de servicios síncronos necesarios para aplicaciones en tiempo real, donde es importante que ciertos mensajes atraviesen la red sin retraso incluso cuando la carga de red es elevada.

Integración voz/datos/video

Adicionalmente a los tiempos mínimos de acceso, los servicios síncronos requieren una reserva de ancho de banda; tal es el caso del tráfico de voz y video. Por este motivo las redes de área metropolitana son redes óptimas para entornos de tráfico multimedia.

Alta disponibilidad

Disponibilidad referida al porcentaje de tiempo en el cual la red trabaja sin fallos. Las redes de área metropolitana tienen mecanismos automáticos de recuperación frente a fallos, lo cual permite a la red recuperar la operación normal después de uno. Cualquier fallo en un nodo de acceso o cable es detectado rápidamente y aislado. Las redes MAN son apropiadas para entornos como control de tráfico aéreo, aprovisionamiento de almacenes, bancos y otras aplicaciones comerciales donde la indisponibilidad de la red tiene graves consecuencias.

Alta fiabilidad

Fiabilidad referida a la tasa de error de la red mientras se encuentra en operación. Se entiende por tasa de error el número de bits erróneos que se transmiten por la red. En general la tasa de error para fibra óptica es menor que la del cable de cobre a igualdad de longitud.

El ámbito de aplicación más importante de las redes de área metropolitana es la interconexión de redes de área local sobre un área urbana, pero otros usos han sido identificados, como la interconexión de redes de área local sobre un complejo privado de múltiples edificios y redes de alta velocidad que eliminan las barreras tecnológicas. A continuación se describen en mayor detalle estos escenarios de aplicación.

1.3 Interconexión de LANS en un área urbana

La situación más extendida para el uso de una MAN describe un gran número de usuarios localizados en diferentes departamentos y administraciones dentro de un área urbana, requiriendo un sistema para interconectar las redes de área local ubicadas en estos lugares.

El objetivo de las redes de área metropolitana es ofrecer sobre el área urbana el nivel de ancho de banda requerido para tareas tales como: aplicaciones cliente-servidor, intercambio de documentos, transferencia de mensajes, acceso a base de datos y transferencia de imágenes.

Cuando las LANs (del inglés Local Area Network, Red de área local) que han de ser conectadas están dispersas por un área urbana, la red de área metropolitana está bajo el control de un operador público mientras no se liberen las infraestructuras. Por el contrario, por razones legales, el cliente no puede comprar, instalar y hacer propias las facilidades de transmisión (cableado entre edificios) necesarias para construir una red de área metropolitana.

No se está hablando en esta variante de una red privada, sino de una red de área metropolitana pública propiedad de un operador, el cual ofrece un servicio sobre toda la ciudad. Hay clientes que quiere conectar su equipo en diferentes lugares (LANs, Ordenadores, Servidores) de la red de área metropolitana para obtener el nivel de ancho de banda requerido extendiendo el entorno típico de aplicaciones de LAN a un área urbana.

En este caso, el cliente ha de tener en cuenta que diferentes instituciones podrían estar conectadas a la misma red de área metropolitana pública, en consecuencia ciertos requisitos adicionales de seguridad, privacidad y gestión de red que deben ser satisfechos por el operador público. Los usuarios finales son conectados a la red de área metropolitana a través de nodos de acceso públicos, con lo cual los datos de una organización llegan evitando pasar a través de dispositivos de otras empresas. Estos mecanismos permiten que las redes de área metropolitana públicas ofrezcan seguridad en la transmisión de datos desde el punto de vista de la privacidad.

Las redes de área metropolitana públicas en diferentes ciudades son usualmente interconectadas por elementos de conmutación para formar una red de área extensa y, por lo tanto, no es necesario que el cliente instale nodos de acceso independientes para MAN y WAN.

En contraste con una LAN, muchos tipos de MAN permiten la transmisión no sólo de datos, sino también de voz y video. Una red MAN será recomendada cuando haya una necesidad para transportar simultáneamente diferentes tipos de tráfico tales como datos, voz y video sobre un área no mayor de 150 kms de diámetro para entornos públicos o privados.

Los objetivos son reducir el coste y al mismo tiempo mejorar el servicio al usuario. La reducción del coste se alcanza minimizando el coste de la transmisión, posible por la integración de voz y datos y por la mejora en la eficiencia de los sistemas. El servicio al cliente se alcanza a través de facilidades de información disponibles para los clientes. Adicionalmente, el cliente puede investigar nuevas aplicaciones tales como transmisión de imágenes y videoconferencia.

En este escenario las LAN y ciertos tipos de WAN (X.25 y Frame Relay) no son soluciones válidas porque tienen limitaciones de transmisión para voz y video. El acceso a la Red Digital de Servicios Integrados a través de redes MAN ofrece grandes capacidades necesarias para transferencia de tráfico multimedia.

1.4 Interconexión de LANS en un entorno privado de múltiples edificios

Este escenario describe una organización consistente en varios cientos de personas ubicadas en diferentes edificios en una gran zona privada (campus, administración, etc.), requiriendo un sistema para interconectar las redes de área local ubicadas en estos lugares.

El objetivo de la red es ofrecer sobre dicha área el nivel de ancho de banda requerido para tareas como: aplicaciones cliente-servidor, intercambio de documentos, transferencia de mensajes, acceso a base de datos y transferencia de imágenes. En resumen, poder extender las ventajas de las redes de área local a grandes redes privadas sobre entornos de múltiples edificios.

Las ventajas que ofrece una red privada de área metropolitana sobre redes WAN son:

- Una vez comprada, los gastos de explotación de una red privada de área metropolitana, así como el coste de una LAN, es inferior que el de una WAN, debido a la técnica soportada y la independencia con respecto al tráfico demandado.
- Una MAN privada es más segura que una WAN.
- Una MAN es más adecuada para la transmisión de tráfico que no requiere asignación de ancho de banda fijo.
- Una MAN ofrece un ancho de banda superior que redes WAN tales como X.25 o Red Digital de Servicios Integrados de Banda Estrecha (RDSI-BE).

Las posibles desventajas son:

- Limitaciones legales y políticas podrían desestimar al comprador la instalación de una red privada de área metropolitana. En esta situación, se podría usar una red pública de área metropolitana.
- La red de área metropolitana no puede cubrir grandes áreas superiores a los 50 kms de diámetro.

La tecnología más extendida para la interconexión de redes privadas de múltiples edificios es FDDI (del inglés: *Fiber Distributed Data Interface*; Interface de Datos Distribuidos por Fibra). FDDI es una tecnología para LAN que es extensible a redes metropolitanas gracias a las características de la fibra óptica que ofrece el ancho de banda y las distancias necesarias en este entorno.

1.5 Componentes de una red de área metropolitana

Los componentes de una red de área metropolitana son:

Puestos de trabajo

Son los sistemas desde los cuales el usuario demanda las aplicaciones y servicios proporcionados por la red.

Dentro de los puestos de trabajo se incluyen:

Estaciones de trabajo.

Computadoras centrales, computadoras personales (de aquí en adelante: PCs).

Nodos de red

Son dispositivos encargados de proporcionar servicio a los puestos de trabajo que forman parte de la red. Sus principales funciones son:

- Almacenamiento temporal de información a transmitir hasta que el canal de transmisión se libere.
- Obtención de los derechos de acceso al medio de transmisión.

Sistema de cableado

Está constituido por el cable utilizado para conectar entre sí los nodos de red y los puestos de trabajo.

1.6 Servicios de una red de área metropolitana

A continuación se presenta una clasificación de los posibles servicios que ofrecen las redes de área metropolitana:

Servicios "No orientados a Conexión"

Permite el transporte de datos sin establecer conexión previa.

Servicios "Orientados a Conexión"

Es necesario establecer una conexión previa al transporte de los datos del usuario.

Servicios Isócronos

Se utilizan cuando se tienen unos requisitos estrictos de ancho de banda como son los casos de transmisión de determinados servicios de audio y video. Determinadas aplicaciones requieren la transferencia constante de información a intervalos definidos (isócronos). En este caso no todas las tecnologías soportan dichas aplicaciones, tal es el caso de FDDI, si bien existe una nueva norma FDDI-II que soporta el tráfico isócrono.

1.7 Topología

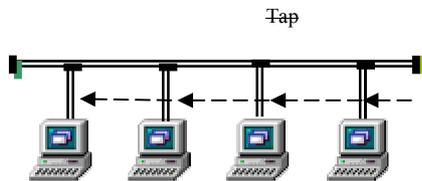
Por topología de una red habitualmente se entiende la forma de la red, es decir, la forma en que se lleva a cabo la conexión entre las computadoras. Las topologías más utilizadas son: en bus (lineal), en estrella, en árbol y en anillo.

Bus lineal

La topología en bus es un diseño sencillo en el que un solo cable, que es conocido como "bus", es compartido por todos los dispositivos de la red. El cable va recorriendo cada uno de las computadoras y se utiliza una terminación en cada uno de los dos extremos. Los dispositivos se conectan al bus utilizando generalmente un conector en T.

Las ventajas de las redes en bus lineal son su sencillez y economía. El cableado pasa de una estación a otra. Un inconveniente del bus lineal es que si el cable falla en cualquier punto, toda la red deja de funcionar. Aunque existen diversos procedimientos de diagnóstico para detectar y solventar tales problemas, en grandes redes puede ser sumamente difícil localizar estas averías.

Figura 2. Red en bus



Fuente. Apuntes de redes, Julio Cesareo Lara Gallegos.
www.monografias.com/trabajos12/redes/redes.shtml

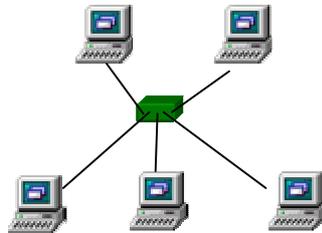
Estrella

Los nodos de la red se conectan con cables dedicados a un punto que es una caja de conexiones, llamada HUB o concentradores. En una topología en estrella cada estación de trabajo tiene su propio cable dedicado, por lo que habitualmente se utilizan mayores longitudes de cable.

La detección de problemas de cableado en este sistema es muy simple al tener cada estación de trabajo su propio cable.

Por la misma razón, la resistencia a fallos es muy alta ya que un problema en un cable afectará sólo a este usuario.

Figura 3. Red en estrella.



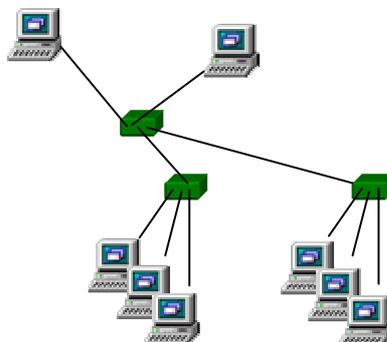
Fuente. Apuntes de redes, Julio Cesareo Lara Gallegos.
www.monografias.com/trabajos12/redes/redes.shtml

Árbol

La topología en árbol se denomina también topología en estrella distribuida. Al igual que sucedía en la topología en estrella, los dispositivos de la red se conectan a un punto que es una caja de conexiones, llamado HUB.

Estos suelen soportar entre cuatro y doce estaciones de trabajo. Los hubs se conectan a una red en bus, formando así un árbol o pirámide de hubs y dispositivos. Esta topología reúne muchas de las ventajas de los sistemas en bus y en estrella.

Figura 4. Red en árbol.



Fuente. Apuntes de redes, Julio Cesareo Lara Gallegos.
www.monografias.com/trabajos12/redes/redes.shtml

Anillo

En una red en anillo los nodos se conectan formando un círculo cerrado. El anillo es unidireccional, de tal manera que los paquetes que transportan datos circulan por el anillo en un solo sentido.

En una red local en anillo simple, un corte del cable afecta a todas las estaciones, por lo que se han desarrollado sistemas en anillo doble o combinando topologías de anillo y estrella.

La red Ethernet cuando utiliza cable coaxial sigue una topología en bus lineal tanto físico como lógico. En cambio al instalar cable bifilar, la topología lógica sigue siendo en bus pero la topología física es en estrella o en estrella distribuida.

Figura 5. Red en anillo.



Fuente. Apuntes de redes, Julio Cesareo Lara Gallegos.
www.monografias.com/trabajos12/redes/redes.shtml

1.8 Medios de transmisión.

1.8.1 Par trenzado

Consiste en dos alambres de cobre enroscados (para reducir la interferencia eléctrica). Puede correr unos kilómetros sin amplificación. Es usado en el sistema telefónico.

1.8.2 Fibra óptica

Su ancho de banda es limitado por la conversión entre señales ópticas y eléctricas. Los pulsos de luz rebotan dentro de la fibra. En una fibra monomodo los pulsos no pueden rebotar ya que el diámetro es muy pequeño y se necesita menor amplificación.

Además de estos también hay medios inalámbricos de transmisión. Cada uno usa una banda de frecuencias en alguna parte del espectro electromagnético. Las ondas de longitudes más cortas tienen frecuencias más altas, y así apoyan velocidades más altas de transmisión de datos.

1.8.3 Redes inalámbricas

Una de las tecnologías más prometedoras y discutidas en este tiempo es la de poder comunicar computadoras mediante tecnología inalámbrica. La conexión de computadoras mediante ondas de radio o luz infrarroja, actualmente esta siendo ampliamente investigado. Las redes inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar, como en almacenes o en oficinas que se encuentren en varios pisos.

Las Redes Inalámbricas a pesar de ser una tecnología que está todavía en pañales en la cual se deben de resolver varios obstáculos técnicos y de regulación, es una de las tecnologías más prometedoras y discutidas. No se espera que las redes inalámbricas lleguen a reemplazar a las redes cableadas.

Mientras que las redes inalámbricas actuales ofrecen velocidades de 2 Mbps, las redes cableadas ofrecen velocidades de 10 Mbps y se espera que alcancen velocidades de hasta 100 Mbps. Los sistemas de Cable de Fibra Óptica logran velocidades aún mayores, y pensando futuristamente se espera que las redes inalámbricas alcancen velocidades de solo 10 Mbps. Sin embargo se pueden mezclar las redes cableadas y las inalámbricas, y de esta manera generar una "Red Híbrida" y poder resolver los últimos metros hacia la estación. Se puede considerar que el sistema cableado sea la parte principal y la inalámbrica le proporcione movilidad adicional al equipo y el operador se pueda desplazar con facilidad dentro de un almacén o una oficina.

1.8.3.1 Clasificación de redes inalámbricas

De larga distancia

Estas son utilizadas para transmitir la información en espacios que pueden variar desde una misma ciudad o hasta varios países circunvecinos (mejor conocido como Redes de Área Metropolitana MAN); sus velocidades de transmisión son relativamente bajas, de 4.8 a 19.2 Kbps.

De corta distancia

Estas son utilizadas principalmente en redes corporativas cuyas oficinas se encuentran en uno o varios edificios que no se encuentran muy retirados entre si, con velocidades del orden de 280 Kbps hasta los 2 Mbps.

1.8.3.1.1 Tipos de redes de larga distancia

Redes de conmutación de paquetes (públicas y privadas)

Red Pública De Conmutación De Paquetes Por Radio no tienen problemas de pérdida de señal debido a que su arquitectura está diseñada para soportar paquetes de datos en lugar de comunicaciones de voz.

Las redes privadas de conmutación de paquetes utilizan la misma tecnología que las públicas, pero bajo bandas de radio frecuencia restringida por la propia organización de sus sistemas de cómputo.

Redes públicas de radio

Estas Redes proporcionan canales de radio en áreas metropolitanas, las cuales permiten la transmisión a través del país y que mediante una tarifa pueden ser utilizadas como redes de larga distancia y operan en un rango de 800 a 900 Mhz.

Redes telefónicas celulares

La comunicación celular se utiliza poco, o únicamente para archivos muy pequeños como cartas, planos, etc. Pero se espera que con los avances en la compresión de datos, seguridad y algoritmos de verificación de errores se permita que las redes celulares sean una opción en algunas situaciones.

Desventajas de la transmisión celular:

Son un medio un de transmitir información de alto precio debido a que los módems celulares actualmente son más caros y delicados que los convencionales, ya que requieren circuitería especial, que permite mantener la pérdida de señal cuando el circuito se alterna entre una célula y otra.

La pérdida de señal no es problema para la comunicación de voz debido a que el retraso en la conmutación dura unos cuantos cientos de milisegundos, lo cual no se nota, pero en la transmisión de información puede hacer estragos.

La carga de los teléfonos se termina fácilmente.

La transmisión celular se intercepta fácilmente (factor importante en lo relacionado con la seguridad). Las velocidades de transmisión son bajas.

Redes de área local (LAN).

Las redes inalámbricas se diferencian de las convencionales principalmente en la "Capa Física" y la "Capa de Enlace de Datos", según el modelo de referencia OSI.

La capa física indica como son enviados los bits de una estación a otra. La capa de Enlace de Datos (denominada MAC), se encarga de describir como se empacan y verifican los bits de modo que no tengan errores. Las demás capas forman los protocolos o utilizan puentes, enrutadores o compuertas para conectarse. Los dos métodos para remplazar la capa física en una red inalámbrica son la transmisión de Radio Frecuencia y la Luz Infrarroja.

Redes infrarrojas

Las redes de luz infrarroja están limitadas por el espacio y casi generalmente la utilizan redes en las que las estaciones se encuentran en un solo cuarto o piso, algunas compañías que tienen sus oficinas en varios edificios realizan la comunicación colocando los receptores/emisores en las ventanas de los edificios.

El principio de la comunicación de datos es una tecnología que se ha estudiado desde los 70's, Hewlett-Packard desarrolló su calculadora HP-41 que utilizaba un transmisor infrarrojo para enviar la información a una impresora térmica portátil, actualmente esta tecnología es la que utilizan los controles remotos de las televisiones o aparatos eléctricos que se usan en el hogar.

El mismo principio se usa para la comunicación de Redes, se utiliza un "transreceptor" que envía un haz de Luz Infrarroja, hacia otro que la recibe. La transmisión de luz se codifica y decodifica en el envío y recepción en un protocolo de red existente. Uno de los pioneros en esta área es Richard Allen, que fundó Photonics Corp., en 1985 y desarrolló un "Transreceptor Infrarrojo". Los primeros transreceptores dirigían el haz infrarrojo de luz a una superficie pasiva, generalmente el techo, donde otro transreceptor recibía la señal. Se pueden instalar varias estaciones en una sola habitación utilizando un área pasiva para cada transreceptor.

Redes de radio frecuencia

Para las Redes Inalámbricas de Radio Frecuencia, la FCC permitió la operación sin licencia de dispositivos que utilizan 1 Watt de energía o menos, en tres bandas de frecuencia: 902 a 928 MHz, 2,400 a 2,483.5 MHz y 5,725 a 5,850 Mhz. Estas bandas de frecuencia, llamadas bandas ISM, estaban anteriormente limitadas a instrumentos científicos, médicos e industriales. Para minimizar la interferencia, las regulaciones de FCC estipulan que una técnica de señal de transmisión llamada *spread-spectrum modulation*, la cual tiene potencia de transmisión máxima de 1 Watt. deberá ser utilizada en la banda ISM. Esta técnica ha sido utilizada en aplicaciones militares. La idea es tomar una señal de banda convencional y distribuir su energía en un dominio más amplio de frecuencia. Así, la densidad promedio de energía es menor en el espectro equivalente de la señal original. En aplicaciones militares el objetivo es reducir la densidad de energía abajo del nivel de ruido ambiental de tal manera que la señal no sea detectable. La idea en las redes es que la señal sea transmitida y recibida con un mínimo de interferencia.

Existen dos técnicas para distribuir la señal convencional en un espectro de propagación equivalente.

La secuencia directa: En este método el flujo de bits de entrada se multiplica por una señal de frecuencia mayor, basada en una función de propagación determinada. El flujo de datos original puede ser entonces recobrado en el extremo receptor correlacionándolo con la función de propagación conocida. Este método requiere un procesador de señal digital para correlacionar la señal de entrada.

El salto de frecuencia: Este método es una técnica en la cual los dispositivos receptores y emisores se mueven sincrónicamente en un patrón determinado de una frecuencia a otra, brincando ambos al mismo tiempo y en la misma frecuencia predeterminada. Como en el método de secuencia directa, los datos deben ser reconstruidos en base del patrón de salto de frecuencia. Este método es viable para las redes inalámbricas, pero la asignación actual de las bandas ISM no es adecuada, debido a la competencia con otros dispositivos, como por ejemplo las bandas de 2.4 y 5.8 Mhz que son utilizadas por hornos de Microondas.

1.8.3.2 El uso del espacio, del tiempo y del espectro en redes de radio frecuencia

El método de acceso, tal como la modulación de radio y el ancho de banda disponible, es importante para determinar la eficiencia y la capacidad de un sistema de radio.

Mientras la distancia incrementa, se origina que la señal de radio disminuya debido a la curvatura de la tierra o a obstáculos físicos naturales existentes.

Para el diseño los siguientes factores son importantes:

- Es necesaria una señal-interferencia, para una comunicación correcta.
- La posición de las antenas que realizan la transmisión. La cual puede ser limitada por las estaciones y perfectamente controlada por los puntos de acceso fijos.
- La función de la distancia para el nivel de la señal. Esta dada por el valor promedio de la señal, considerando las diferencias en altura de la antena de las terminales y los impedimentos naturales en la trayectoria.

1.8.3.3 Puntos de acceso

La infraestructura de un punto de acceso es simple: “Guardar y repetir”, son dispositivos que validan y retransmiten los mensajes recibidos. Estos dispositivos pueden colocarse en un punto en el cual puedan abarcar toda el área donde se encuentren las estaciones. Las características a considerar son:

- La antena del repetidor debe de estar a la altura del techo, esto producirá una mejor cobertura que si la antena estuviera a la altura de la mesa.
- La antena receptora debe ser más compleja que la repetidora, así aunque la señal de la transmisión sea baja, esta podrá ser recibida correctamente.

Un punto de acceso compartido es un repetidor, al cual se le agrega la capacidad de seleccionar diferentes puntos de acceso por la retransmisión. (Esto no es posible en un sistema estación-a-estación).

2. TECNOLOGÍAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA PARA ÚLTIMA MILLA

2.1 Historia

Los teléfonos funcionan sobre una red llamada Red Telefónica Conmutada (RTC). Cuando un usuario realiza una llamada, se debe establecer un camino entre su teléfono y el teléfono del que contesta. Para hacerlo, el teléfono de cada usuario llega a una central, que puede verse como un sitio donde llegan cables que se interconectan para conseguir las llamadas. Si las dos personas que quieren hablar viven cerca, es posible que sus teléfonos lleguen a la misma central. En ese caso, se unen esos cables, y pueden hablar.

Si la comunicación se hace entre usuarios pertenecientes a distintas centrales, se deben utilizar líneas que interconectan centrales (llamados troncales). Normalmente estas líneas están multiplexadas, de forma que puedan utilizarse para varias conversaciones simultáneamente.

Hay que decir que esta interconexión se ha hecho poco a poco, a lo largo de muchos años. Por tanto, los cables son de muy distinta calidad. Existen cables de un calibre, y cables de otro, en muchos casos se necesitan repetidores de señal, existen empalmes de cables que hacen que la señal se pierda, etc.

Además, se puede decir que está al máximo de su capacidad. El número de abonados crece constantemente, lo que hace que se requiera más capacidad de "interconexión" en las centrales, y más ancho de banda entre centrales.

La red que se desarrolló durante mucho tiempo para conectar el invento del teléfono de Alexander Graham Bell en 1876 no podía haber anticipado inventos posteriores como el PC, el módem e Internet. La red que se había desarrollado estaba planeada, diseñada y construida para un propósito básico: que dos personas hablaran entre sí durante períodos relativamente cortos de tiempo por teléfono. No existía la necesidad de construir una red donde todo el mundo pudiera usar el teléfono a la vez porque las estadísticas demuestran que la gente hace llamadas de forma más o menos aleatoria.

Por lo tanto, las conexiones a Internet resultan ser un problema, el problema es que mientras una conversación normal dura entre tres y siete minutos, una conexión a Internet no dura menos de media hora.

Con esta breve historia de la red telefónica conmutada, quiero dar a entender, que si bien ADSL y otras formas de acceder a Internet desde el domicilio pueden ser ventajosas para los usuarios debido a que se obtienen mayores velocidades de conexión, también lo son para las compañías de teléfono, pues se pueden ahorrar las grandes inversiones necesarias para poder soportar todo el tráfico, el habitual de voz y el de Internet.

Se han tratado de encontrar formas alternativas de acceder a Internet desde casa. Ejemplos son el módem de cable, las conexiones por satélite, ADSL y ahora el acceso inalámbrico según el estándar IEEE 802.16 también llamado WiMax.

2.2 Otros métodos para acceder a internet

Se pueden encontrar muchas soluciones para resolver el problema de la congestión causada por la limitación del ancho de banda y los modernos patrones de tráfico de los teléfonos (conversaciones más largas, debido a que ya no se utiliza el teléfono para hablar, sino también para Internet).

A continuación se presentan las características de las alternativas más comunes.

2.2.1 Módems de 56 kbps

Hoy siempre que se piensa en módems para conectarse mediante una línea telefónica, se piensa en una velocidad de 56Kbps. Sin embargo, es un caso especial de módems.

El límite teórico y físico de velocidad por una línea telefónica para operaciones full-duplex, está en 33.6Kbps, dentro de un bucle local analógico. Para romper esta barrera, utilizan una codificación de 7 bits, a 7000 Hz. Esto puede conseguirse bajo una serie de circunstancias, siendo la más destacable la que obliga a que solo exista una conversión analógica/digital y viceversa en todo el trayecto.

Es decir, los módems normales, transforman las señales digitales del ordenador en analógicas, y las envían por una línea telefónica a otro módem, que las vuelve a transformar en sentido inverso. Además, los 56 Kbps se consiguen únicamente en sentido downstream, es decir, de entrada. En sentido ascendente sigue existiendo el máximo de 33.6Kbps.

2.2.2 Módems de cable

En numerosos países, existe una red de TV por cable instalada desde hace muchos años. Esta red permite anchos de banda amplios, que llegan a casa del abonado, donde se transforman en señales de televisión. Las señales que se transmiten son en su gran mayoría, video analógico. Por otro lado, normalmente existe una serie de canales reservados para sentido ascendente, para permitir televisión interactiva.

Los módems de cable utilizan esta red para conexión a Internet. Convierten señales digitales de datos en señales que pueden ser transmitidas por cable coaxial. De esta forma, transportan paquetes de datos sobre canales de radiofrecuencia, utilizada para el video analógico.

El tráfico de datos de los módems de cable puede ser dirigido a un enrutador de Internet en la central de TV por cable. Si además, se permite tráfico de voz, se puede separar allí, y mandar a la RTC únicamente el tráfico de voz.

Los módems de cable, funcionan sobre redes de TV por cable existentes, lo cual es una ventaja. Además, los componentes de radiofrecuencia necesarios son relativamente baratos, y consiguen un alto ancho de banda en sentido downstream.

Sin embargo, tienen también inconvenientes. Los canales utilizados para sentido upstream son los comprendidos entre los 5 y los 50 Mhz, que recogen gran cantidad de ruido proveniente de electrodomésticos (hornos microondas, congeladores, etc.), lo que complica la comunicación en ese sentido, y muchas veces lo inutiliza, forzando el uso de otras alternativas, como módems convencionales sobre RTC para sentido ascendente.

2.2.3 Sistemas vía satélite

Al igual que las redes de TV por cable, los satélites están siendo utilizados para proporcionar TV de alta definición a muchos hogares. Son los llamados sistemas de difusión por satélite (DBS). Un único canal DBS puede trabajar sin problemas a 23 Mbps, aunque normalmente lo hacen a 400 Kbps.

Estos canales pueden aprovecharse para proporcionar acceso a Internet. El problema es que normalmente los canales solo son en sentido downstream, y debe utilizarse otros métodos para dirigir el tráfico upstream.

Esta técnica ofrece varias ventajas, por ejemplo, los satélites son absolutamente independientes del terreno, y funcionan igual en valles, montañas y océanos. Los servicios son independientes de la distancia, por lo que un satélite puede ofrecer los servicios a lugares alejados miles de kilómetros, siempre que estén dentro del área de cobertura del satélite. Además, los satélites combinan las tecnologías de voz digital, video y datos.

Sin embargo, tienen bastantes problemas serios y molestos: los servicios de satélite pueden quedar eclipsados por aviones o por satélites que se encuentran en órbitas más bajas; Los destellos solares pueden afectar a las señales, y deben apagarse durante unos minutos cuando el Sol pasa tras ellos; la vida de un satélite está determinada por la cantidad de combustible que transportan, cuando se agota el combustible, un satélite se convierte en algo inútil, a pesar de que los componentes electrónicos puedan seguir funcionando, debido a que el combustible se utiliza para compensar pequeños efectos gravitatorios.

2.2.4 Acceso de banda ancha a través del par de cobre

La familia XDSL

Todas las tecnologías de Línea de Abonado Digital (xDSL), de las que ADSL es un miembro destacado, y que se describe a continuación, tiene una serie de ventajas que no tienen las tecnologías anteriores. Por ejemplo, no tiene un alto coste de desarrollo inicial. Algunas tecnologías requieren la inversión de grandes sumas de dinero para levantar el vuelo (el coste de un satélite por ejemplo), sin embargo el coste de xDSL es paulatino, transformando los bucles locales de los nuevos abonados a líneas xDSL de forma gradual. Además, xDSL es bidireccional. Excepto los módems a 56 Kbps, las otras dos tecnologías vistas tienen serios problemas para el sentido upstream. xDSL permite los dos sentidos, aunque en algunos casos no tengan la misma velocidad en ambas direcciones.

La característica principal de xDSL es tratar de aprovechar y mejorar las capacidades del bucle local analógico de cobre de la RTC, incluyendo algún tipo de compatibilidad con los teléfonos existentes.

En xDSL, se suele decir que una tecnología es duplex cuando es simétrica, es decir cuando tiene la misma velocidad en las dos direcciones. Cuando no es duplex, se dice que es asimétrica.

DSL comenzó al mismo tiempo que RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), que se creó para fomentar la digitalización extremo a extremo de la RTC (que todo sea digital, el teléfono del usuario es digital, y transmite los datos digitales hasta otro teléfono digital, sin hacer conversiones analógicas para el transporte). Ahora se considera RDSI como la primera tecnología DSL.

Desde el comienzo de la telefonía se ha utilizado la capacidad de transmisión del par de cobre al máximo permitido por la telefonía disponible, comenzando por los sistemas de multiplexación por división de frecuencia y con técnicas de multiplexación digital, que permitieron el despliegue de sistemas de multiplicación de pares, es decir transportar varias conversaciones telefónicas sobre el mismo par físico simultáneamente. Todos estos sistemas utilizaban básicamente recursos de explotación eficiente de la planta de telecomunicaciones, pero el usuario final seguía disfrutando del servicio básico de telefonía.

El primer sistema DSL (Digital Subscriber line, o línea digital del abonado) que aparece esta basado en la transmisión de línea de los sistemas RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). Transmite 144 kbps, estructurados en dos canales B de 64 kbps., mas un canal D de 16 kbps para señalización y datos de baja velocidad mas 16 kbps de información de mantenimiento, lo que totaliza en línea una velocidad de 160 kbps. Los códigos de línea utilizados son el 4B3T y el 2B1Q. La RDSI no ha tenido el despliegue que en sus orígenes se previó debido a:

- Estrategias comerciales de los distintos operadores.
- La competencia de otras alternativas al servicio de datos.
- El precio de los dispositivos en casa del abonado.
- El coste de la instalación.

Tras una revisión de los sistemas xDSL, sus distintas aplicaciones y principales características técnicas se enumeran las limitaciones que presenta el par de cobre como recurso de transmisión y se describen las técnicas utilizadas en los sistemas ADSL y VDSL para afrontar dichas limitaciones. Se explica como estos sistemas intervienen en las redes de comunicaciones. Finalmente se enumeran los problemas prácticos al desplegar servicios de acceso de banda ancha basados en las técnicas ADSL y VDSL y las respuestas que se están dando en la actualidad a dichos problemas.

Los miembros de la familia xDSL más importantes aparecen a continuación.

2.2.4.1 HDSL (HIGH-BIT-RATE DSL, o DSL de alta velocidad)

HDSL simplemente es una extensión tecnológica de DSL, basada en la misma codificación 2B1Q o 4B3T en banda base que usa DSL y con el mismo método de cancelación de ecos.

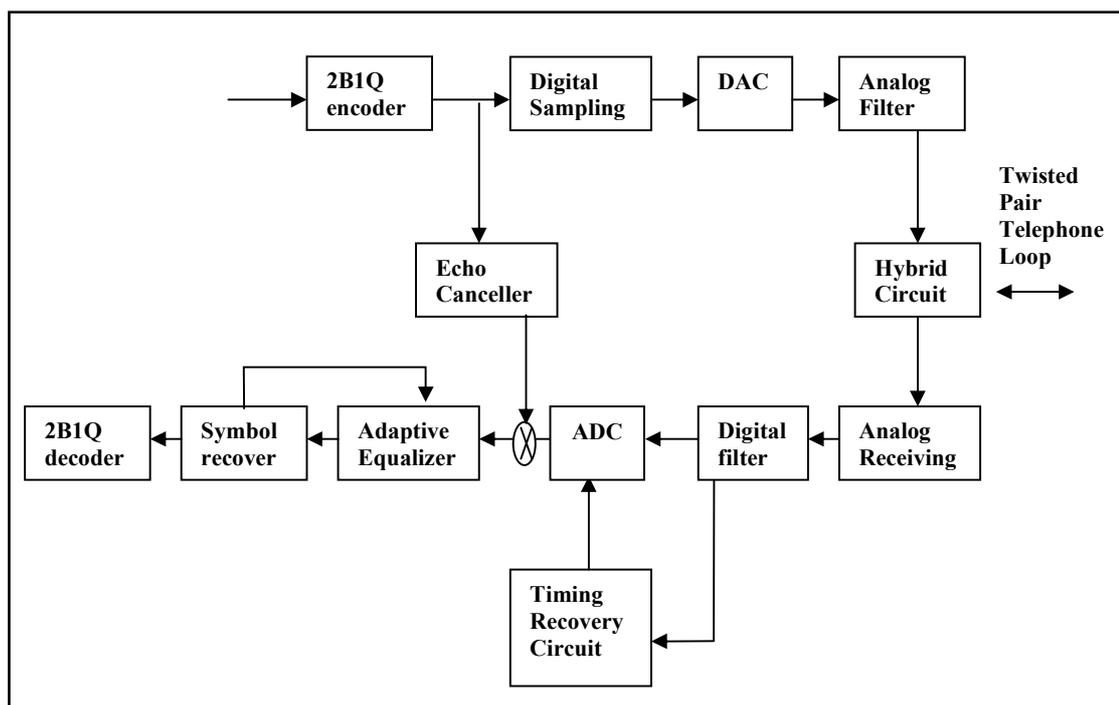
Las redes de circuitos alquilados, utilizadas para establecer redes corporativas, requieren resolver el acceso a las dependencias de las empresas. Por tal razón se desarrollan sistemas de transmisión digital por línea que van desde sistemas de transmisión propietarios con capacidades de nx64 o 2 Mbps a sistemas ópticos para aquellas empresas cuyo volumen lo justifique. Para este segmento del mercado se desarrolló la técnica HDSL (High Speed Digital Subscriber Line o línea digital de alta velocidad del abonado) sobre tres, dos o un par, esta última conocida también como SDSL, con velocidades de hasta 2 Mbps bidireccionales

Opera a 1.544Mbps (la velocidad de una T1) en Norteamérica, y a 2.048Mbps (una E1) en el resto del mundo, tanto en sentido ascendente como descendente. El HDSL original para un T1 utilizaba 2 pares de cobre de hasta 4.5 Km.; para una E1 se utilizaban 3 pares de cobre. Sin embargo, las últimas versiones, conocidas como HDSL2, utilizan un único par de hilos.

Un emisor-receptor de HDSL opera cinco veces mas rápido que uno DSL por lo que requiere mas poder de procesado de señal, que puede llegar a ser hasta 25 veces mas poder que un DSL debido a que los impulsos de eco llegan cinco veces mas rápido y pueden llegara a ser hasta cinco veces mas largos. HDSL es posiblemente la mejor manera de transmitir sobre líneas de par trenzado T1 o E1, con un menor ancho de banda y sin usar repetidores de señal, lo cual ahorra una gran cantidad de costes.

La estructura general de un emisor-receptor se muestra en la siguiente figura.

Figura 6. Transmisor receptor HDSL



Fuente: Goralski W. J. Adsl and DSL technologies.

Como se puede observar, los bits de salida se codifican usando 2B1Q y pasan a un filtro digital que dependiendo de que tipo de dato se trata (voz o datos) pasa a un convertidor analógico-digital para que los bits pasen a ser una señal que se pueda enviar por el cable de teléfono. Los bits de entrada hacen el camino inverso pero antes de llegar a ser decodificados primero pasan por un proceso para ecualizar el canal de forma adaptativa.

Los filtros analógicos se usan para minimizar los ruidos que se puedan generar en el medio. El timing recovery circuit se trata de un circuito que se usa para sincronizar ambos emisor-receptor.

Las aplicaciones típicas de HDSL son la conexión de redes a través de PBX, estaciones de antenas celulares, intercambio de puntos de servicios, servicios de Internet y redes privadas de datos.

2.2.4.2 SDSL (SYMMETRIC O SINGLE PAIR DSL, o DSL simétrico o de par único)

Como hemos visto, el objetivo de xDSL es reutilizar los bucles locales analógicos, por tanto lo mejor sería utilizar un único par de hilos, que es lo que utiliza el bucle local. SDSL utiliza un único par de hilos, con una longitud de hasta 3 Km. Normalmente tiene una velocidad de 768Kbps. Esta tecnología es más antigua que HDSL2. Ahora que HDSL2 le supera en calidad, se supone que caerá en desuso.

2.2.4.3 CDSL (Consumer DSL, O DSL de consumidor)

CDSL está muy relacionada con ADSL y RADSL. Éstas necesitan un filtro para conseguir la compatibilidad con los teléfonos analógicos. CDSL elimina ese filtro, limitando la velocidad y distancia.

2.2.4.4 IDSL (ISDN DSL o DSL de RDSI)

Como ya se ha dicho antes, RDSI se considera la primera tecnología DSL. IDSL toma el acceso básico de la RDSI (llamado BRI), formado por dos canales de 64Kbps, y un canal de 16Kbps (llamados canales B y D respectivamente) es decir 2B+D, lo que da una velocidad de 144Kbps. Funciona sobre un par de hilos de hasta 5.5 kilómetros.

2.2.4.5 ADSL (Asimetric DSL, o DSL asimétrico)

El problema de SDSL es que al tratar de conseguir velocidades simétricas, se limita la longitud del bucle local. ADSL aprovecha la naturaleza asimétrica de muchos servicios de banda ancha, y amplía la distancia a la que puede operar hasta los 5.5 kilómetros.

ADSL es un miembro de la familia xDSL, que resuelve algunas limitaciones de HDSL, HDSL2 y sus variantes.

Por ejemplo, HSDL, SDSL y sus variaciones raramente hacían concesiones a la voz analógica; sin embargo, la mayoría de la gente tiene teléfonos analógicos en sus casas, por lo que los usuarios de HDSL o SDSL deben adquirir equipos especiales de conversión o comprar teléfonos digitales.

Por otro lado, normalmente muchas de las actividades de los usuarios residenciales no necesitan la misma velocidad de acceso en sentido downstream que en sentido upstream. El uso suele ser asimétrico, necesitando más velocidad en sentido descendente que ascendente. Eso también se da en el caso de servicios de video bajo demanda, por ejemplo. Si se quiere tener video a través de xDSL, se necesita una gran cantidad de ancho de banda en sentido descendente, es decir hacia el usuario, que en sentido ascendente; después de todo, las órdenes *play*, *stop* o pausa son pequeños paquetes de datos.

Por tanto, la velocidad downstream es mucho mayor en ADSL que la velocidad upstream, pudiendo llegar a ser hasta diez veces mayor. La velocidad downstream máxima para ADSL es 8.192Mbps, aunque la mayoría de fabricantes y proveedores de servicios proporcionan un máximo de 4 a 6Mbps.

2.2.4.5.1 Cómo funciona

Desde la casa del abonado de una compañía telefónica, parte un cable que llega a una central. Ese cable es para uso exclusivo de ese abonado, y se utiliza para las comunicaciones de voz, que consumen aproximadamente los cuatro primeros Khz. del ancho de banda.

ADSL aprovecha el resto de ese ancho de banda para el tráfico de datos.

En casa del cliente, se instala un filtro o splitter, que separa la señal del cable de teléfono que llega en dos partes: uno para la voz analógica, y otra para el tráfico de datos.

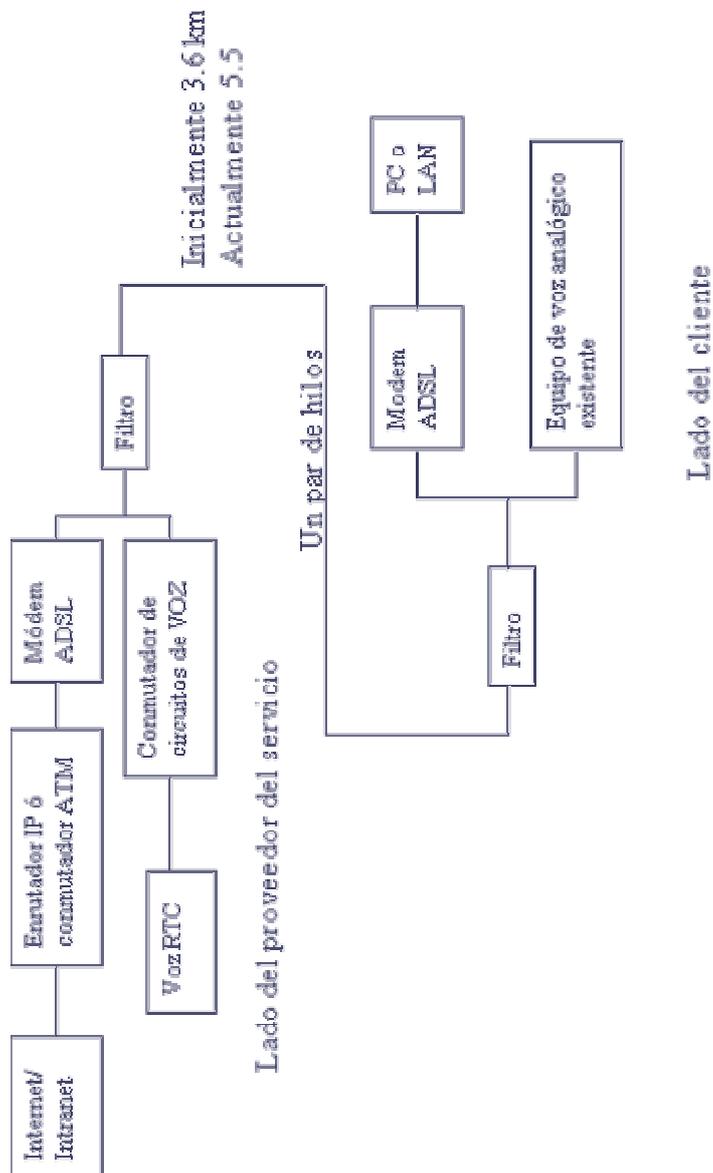
En la parte de la central, existe otro filtro, que hace la misma función. El tráfico de voz se dirige hacia la RTC, y el tráfico de datos hacia un servidor de acceso a Internet. Por tanto, el tráfico de datos sobre ADSL no es conmutado: el enlace ADSL forma un tipo de línea privada desde el PC del usuario o desde una LAN hacia cualquier otro lugar del mundo, dado que la línea ADSL llega a un enrutador IP o a un conmutador ATM conectado a Internet, que está en el lado del proveedor del servicio.

De esta forma, el tráfico de Internet, no pasa por la RTC como cuando la conexión es por módem: antes de entrar en la central, se separa la voz y los datos. Además, el usuario no tiene que reservar una línea especial para ADSL, sino que sirve la que ya existe para el teléfono, como se muestra en la figura 7.

Como hemos visto, CDSL es una tecnología parecida a ADSL, pero que elimina la necesidad del filtro, bajando su velocidad máxima de transmisión.

En la arquitectura ADSL documentada en el ATM Forum, al módem ADSL le llaman ATU-R (ADSL Transmission Unit, Remote Side, o Unidad de transmisión ADSL, lado remoto), y al módem ADSL del lado del proveedor del servicio que aparece en la figura 7, le llaman ATU-C (ADSL Transmission Unit, CO Side, o Unidad de transmisión ADSL, lado de central).

Figura 7. Funcionamiento de ADSL.



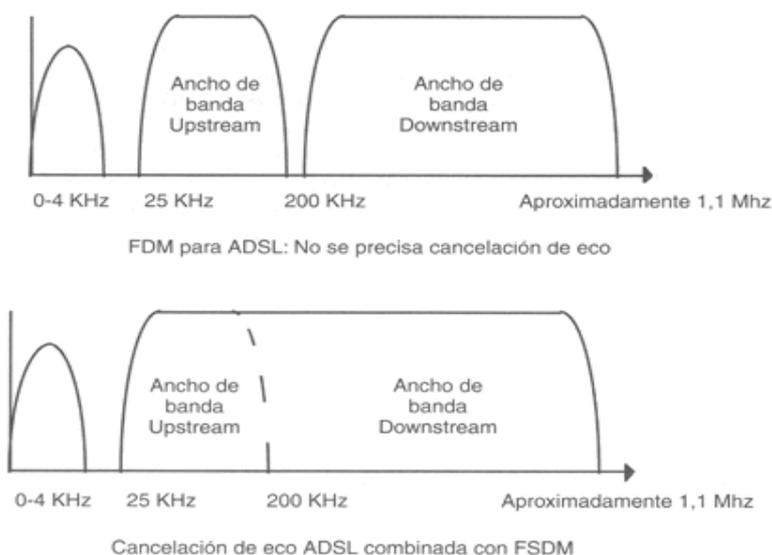
Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

2.2.4.5.2 Cómo se usa el rango de frecuencias

Como se ha mencionado, el filtro separa la señal del cable que llega al usuario en dos distintos: uno para el teléfono analógico, y otro para el tráfico ADSL. Lo que hace es separar las frecuencias en dos partes. Los 4Khz más bajos corresponden a la voz analógica; el resto corresponde a ADSL. Como se muestra en la figura 8.

Los productos ADSL, hacen uso del resto de la frecuencia, tanto para el tráfico de subida como el de bajada. Como se utiliza el mismo par de hilos para comunicación full-duplex, se debe dividir el rango de frecuencias en dos bandas, una upstream y otra downstream, o utilizar la misma banda para los dos sentidos y utilizar cancelación de eco, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Utilización de frecuencias en ADSL.



Fuente: Goralski W. J. Adsl and DSL technologies.

Cuando se utiliza el mismo rango de frecuencias para enviar señales en ambas direcciones de manera simultánea sobre el mismo medio físico, se requiere algún tipo de control de eco. La cancelación de eco elimina la posibilidad de que la señal en una dirección sea interpretada como una señal producida por el dispositivo del otro extremo. A ese efecto se le llama eco, y se produce normalmente porque una parte de la señal enviada se refleja y vuelve al emisor, en los puntos del cable donde las impedancias no están adaptadas. Esa reflexión podría ser interpretada como una señal originada en el extremo remoto del circuito. Los canceladores de eco restan electrónicamente la señal enviada de la señal recibida.

En la parte superior de la figura 8. se ve lo que ocurre cuando se utiliza división de frecuencia para los canales. Los primeros 4Khz se dedican a la voz analógica. La banda de 175Khz es dedicada al tráfico upstream (desde casa del usuario hacia Internet), y la banda de 900Khz se utiliza en sentido downstream (aquí se ve la asimetría de ADSL, hay más ancho de banda para un sentido que para otro).

En la parte inferior de la figura 8, se ve el uso de las frecuencias cuando no se utiliza división de frecuencia. El tráfico en los dos sentidos se solapa en el rango 25-200Khz, por lo que se requiere cancelación de eco.

2.2.4.5.3 Descripción de la modulación

Como hemos visto, el filtro separa la señal que llega al usuario en dos distintas: una para el teléfono analógico, y otra para el tráfico ADSL. Lo que hace es separar las frecuencias en dos.

La modulación utilizada para ADSL es una técnica de modulación para la transmisión de datos a gran velocidad sobre el par de cobre. La primera diferencia entre esta técnica de modulación y las usadas por los módems en banda vocal (V.32 a V.90) es que éstos últimos sólo transmiten en la banda de frecuencias usada en telefonía (300 Hz a 3.400 Hz), mientras que los módems ADSL operan en un margen de frecuencias mucho más amplio que va desde los 24 KHz hasta los 1.104 KHz, aproximadamente.

Otra diferencia entre el ADSL y otros módems es que el ADSL puede coexistir en un mismo bucle de abonado con el servicio telefónico cosa que no es posible con un módem convencional pues opera en banda vocal, la misma que la telefonía.

Al tratarse de una modulación en la que se transmiten diferentes caudales en los sentidos Usuario → Red y Red → Usuario, el módem ADSL situado en el extremo del usuario es distinto del ubicado al otro lado del bucle, en la central local.

Los productos ADSL utilizan normalmente modulación CAP (Carrierless amplitude/phase, o fase/amplitud sin portadora) y la tecnología DMT (Discrete Multitone o multitonos discretos). La primera vez que se describió el estándar para la capa física en el ANSI se eligió DMT. Aún así, en los primeros dispositivos, se utilizó CAP, debido al retraso en el desarrollo de sistemas basados en DMT (CAP es un tipo de modulación utilizado durante mucho tiempo).

Aquí se describe únicamente DMT, pues actualmente es el más utilizado.

DMT trabaja dividiendo el ancho de banda del bucle local en un gran número de subcanales separados a igual distancia unos de otros. Técnicamente, se denominan subportadoras. Por encima de la banda dedicada a la voz, el ancho de banda se extiende normalmente hasta los 1.1Mhz, dividido en 256 subcanales, comenzando desde los 0Hz. Cada canal ocupa 4.3125Khz.

Algunos de los subcanales son especiales, y otros no se utilizan. Por ejemplo, el canal #64 (en los 276Khz) está reservado para una señal piloto, y los subcanales desde el #1 hasta el #6 se reservan para la voz analógica.

Como el #6 llega hasta 25.875Khz, es normal ver los 25Khz como punto de partida para los servicios ADSL.

Se reservan 32 subcanales para el sentido ascendente, comenzando desde el #7. Si se utiliza cancelación de eco, se usan 250 subcanales para sentido descendente; si se utiliza FDM quedan 218 canales o menos, pues no pueden solaparse.

En general, de los 256 subcanales disponibles, solo 249 se utilizan normalmente para transferencias de información.

Normalmente, cada uno de los subcanales emplea su propia técnica de codificación basada en QAM.

La ventaja de DMT frente a QAM es la división en subcanales. Esto permite que cada subcanal pueda monitorizarse y evaluar su rendimiento por separado, para conseguir que subcanales con mejores características transporten más bits por baudio que otros. Esto puede suceder por interferencias o cualquier otro motivo. La cantidad total de datos transmitidos es la suma de todos los bits QAM enviados a través de todos los subcanales activos (algunos subcanales pueden estar completamente desactivados por ser muy malos para la transmisión).

La figura 9 muestra la tecnología DMT funcionando sobre un bucle local ideal: un tendido recto, de un par de hilos de calibre 24 de menos de 5.5Km y sin mucho ruido exterior (imposible de encontrar en el mundo real). Los efectos reales de atenuación vendrían dados por las distancias y frecuencias implicadas.

Figura 9. DMT sobre un bucle ideal.



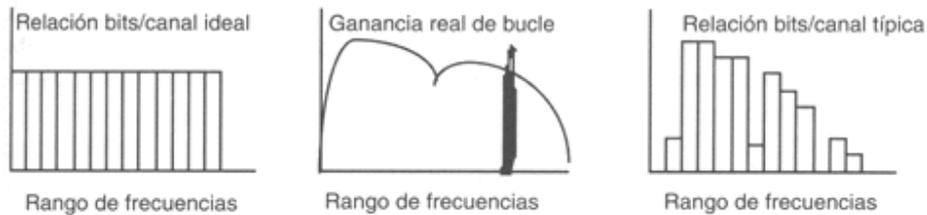
Fuente . Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

A lo largo del rango de frecuencias, en la parte izquierda, existe un determinado número máximo de bits por segundo y por subportadora (subcanal) que el dispositivo desearía transmitir y recibir. La figura central muestra la ganancia del bucle ideal descrito (la ganancia es el término recíproco a la atenuación), y se ve que es mayor o menor dependiendo de la frecuencia. Los dispositivos DMT pueden medir la ganancia de cada subportadora y ajustar el número de bits por segundo en cada canal, de modo que quede reflejada la ganancia actual de la línea. En la parte derecha se muestra el número de bits transmitido por cada canal.

Sin embargo, el mundo real no es así. Se pueden tener bucles locales con empalmes entre cables de distinto calibre, bobinas de carga para reforzar la señal, etc., que hacen que la ganancia real no sea la ideal.

En la figura 10 aparece la ganancia real de un bucle. La primera muestra que aparece es debida a un empalme entre dos hilos de distinto calibre. El segundo ruido es producido por una estación de radio AM cercana. Las estaciones de radio transmiten en el mismo rango de frecuencias en las que escuchan los dispositivos ADSL; como los hilos del bucle local actúan como antenas, no parece extraño que esta señal quede recogida.

Figura 10. DMT sobre un bucle real



Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

Como se ve en la tercera parte de la figura, el dispositivo DMT mide la ganancia de cada subportadora, y ajusta el número de bits por segundo. En la muesca debida a la unión de los cables, el subcanal transmite muchos menos bits por baudio. En el caso del ruido por la estación AM, el subcanal queda incluso desactivado.

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas. Y cuanto mayor es la longitud del bucle, tanto mayor es la atenuación total que sufren las señales transmitidas. Ambas cosas explican que el caudal máximo que se puede conseguir mediante los módems ADSL varíe en función de la longitud del bucle de abonado. La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación Señal/Ruido con la que trabaja cada una de las subportadoras, y esa disminución se traduce en una reducción del caudal de datos que modula a cada subportadora, lo que a su vez implica una reducción del caudal total que se puede transmitir a través del enlace entre el ATU-R y el ATU-C.

2.2.4.5.4 Instalación de ADSL

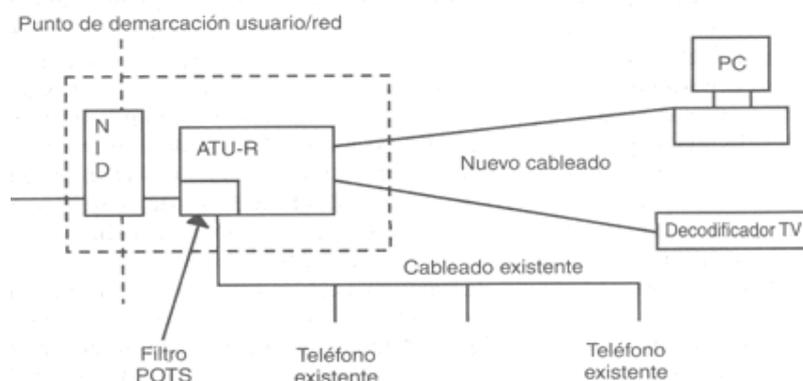
Lo que se hace es poner en el punto de demarcación (punto de donde salen todos los cables a los teléfonos de la casa) un filtro. A él se enganchan todos esos cables, y uno nuevo, el que lleva el tráfico ADSL, que normalmente llega hasta el modem ADSL colocado cerca del PC.

Esta opción es la más cómoda, debido a que el cableado interno de la casa hacia los teléfonos es propiedad del usuario, no de la compañía de teléfonos, por lo tanto, el proveedor del servicio no debería tocar esos cables.

Sin embargo, hay otras alternativas. Las dos primeras pasan por agrupar el filtro y el módem ADSL en un solo aparato, y colocarlo en distintos sitios.

Se puede colocar el filtro y el modem en el punto de demarcación, como se muestra en la figura 11. Habría que instalar nuevos cables desde allí al PC o a un decodificador de TV, si se está utilizando el acceso ADSL para video bajo demanda

Figura 11. Configuración 1, para instalación ADSL

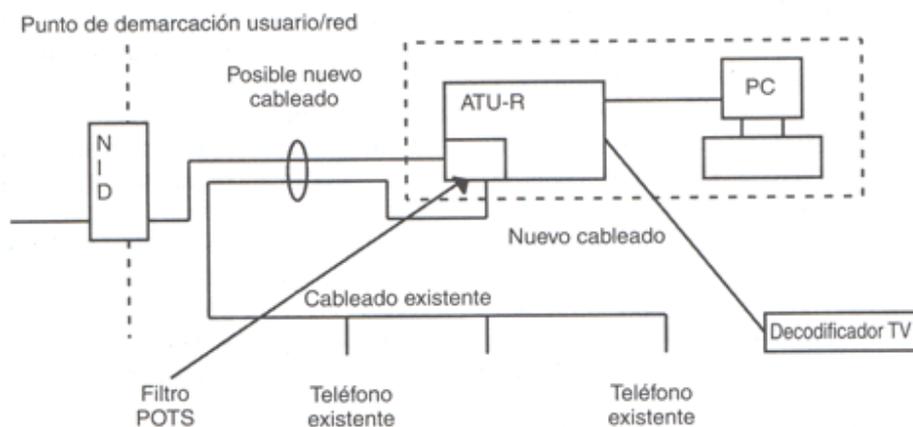


Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

Otra opción es llevar el par filtro-modem al PC o cerca de él, si es externo. En este caso, es posible que se necesite un nuevo cableado desde el punto de demarcación hasta el PC. Este cableado sería doble (de "ida y vuelta"). En el filtro se separa la voz y los datos, y la voz vuelve hacia el punto de demarcación, donde se une al cableado ya existente.

Este método tiene el problema de que el servicio de voz analógica depende completamente de la presencia de la ATU-R (filtro y modem ADSL), aunque éste no es un problema ADSL. Un inconveniente más serio es que el recorrido en paralelo que hacen las señales de voz analógica y de ADSL desde el punto de demarcación al filtro, puede provocar el acople del ruido de la voz en el enlace ADSL; esos ruidos pueden ser el timbre, la marcación por pulsos, el momento del corte de la comunicación, etc.

Figura 12. Configuración 2, para instalación ADSL

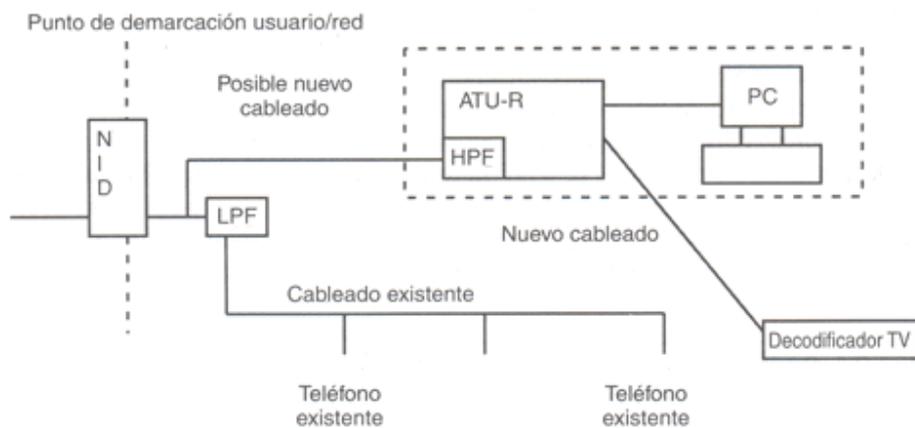


Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

Estas dos configuraciones presentan un problema. En el modem ADSL se encuentra el filtro que separa la voz analógica de los datos ADSL. Esos elevan la posibilidad de interferencias sobre los bits ADSL procedentes del timbre del teléfono y otras señales de alto voltaje. Además, localizan un único punto de fallo tanto para los servicios ADSL como para los servicios de voz analógica.

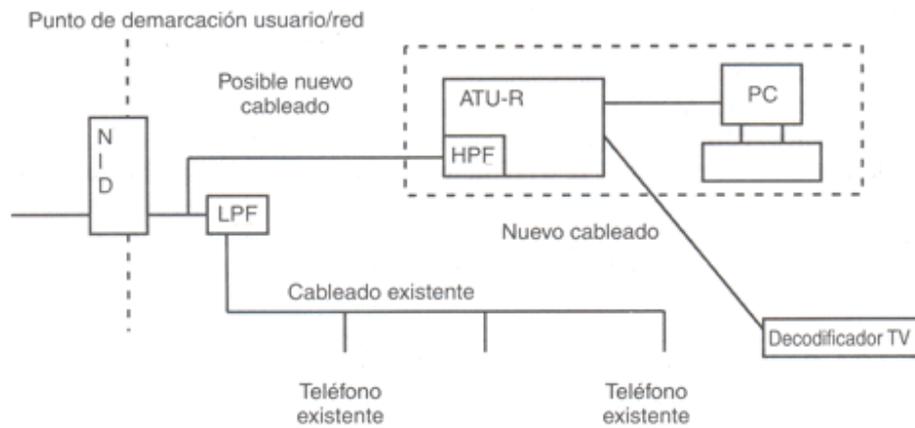
Otra opción es dividir el filtro en dos: uno paso bajo que deja pasar la voz analógica, y otro paso alto, que deja pasar el tráfico ADSL. En el punto de demarcación, se tiene un nuevo cable que va hacia el dispositivo ADSL. En él, se coloca un filtro paso alto, que deja pasar solo la información de ADSL. Entre los teléfonos ya instalados y el punto de demarcación, se instala un filtro paso baja, que elimina los datos. Como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Configuración 3, para instalación ADSL



Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

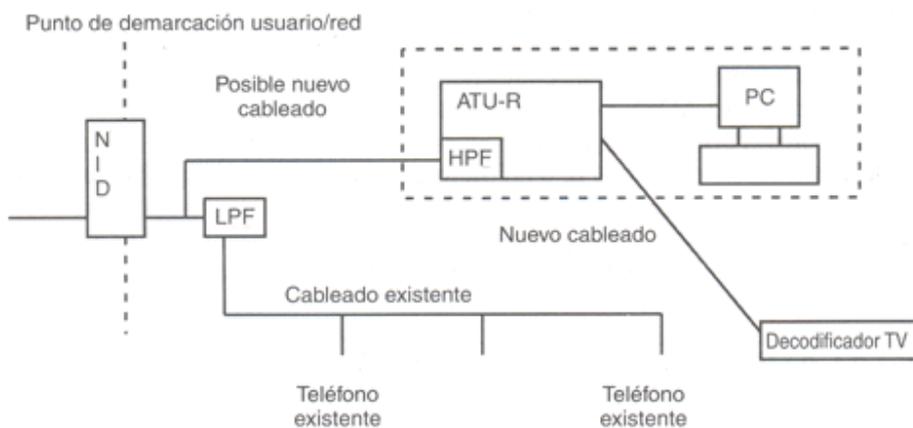
Figura 14. Configuración 4, para instalación ADSL

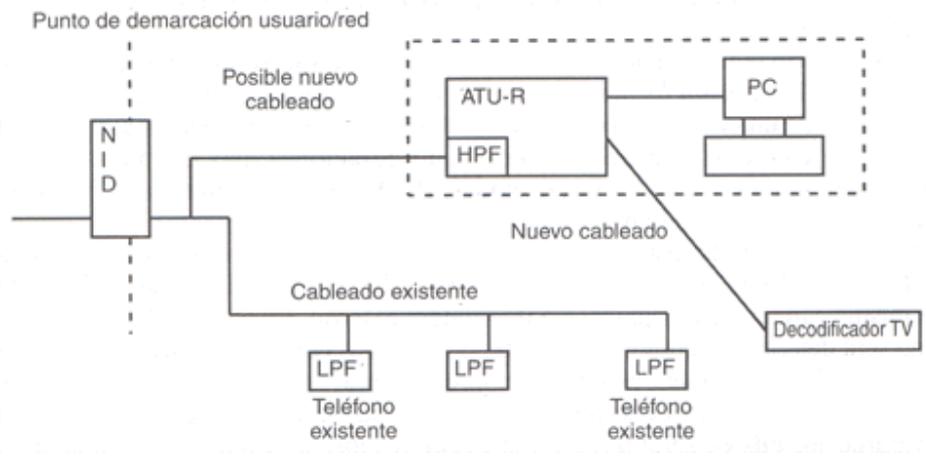
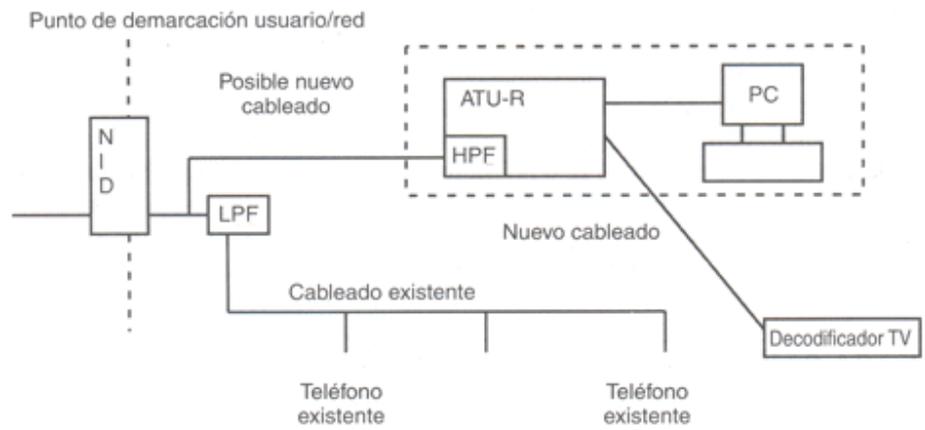


Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

Otra posible configuración es llevar el filtro paso-baja a todos los teléfonos. Cada teléfono y cada roseta disponen de un filtro paso bajo instalado. Como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Configuración 5, para Instalación ADSL.





Fuente. Marco Antonio Gómez Martín, Junio 2001 ACCESO A INTERNET DESDE EL DOMICILIO

Estas dos últimas configuraciones tienen un problema: los filtros paso alto y paso bajo deben estar preparados para trabajar juntos (normalmente deben ser del mismo fabricante). Al separarlos, puede parecer que son totalmente independientes, y no es verdad. Especialmente en este último caso, hay que tener especial cuidado si después de hacer toda la instalación, se va a añadir un nuevo teléfono. El filtro debe ser del mismo tipo que los que ya hay instalados.

Por todo esto, las instalaciones que se realizan ahora, separan el modem ADSL del filtro, y éste último agrupa tanto el filtro paso baja como el paso alta. El filtro se coloca en el punto de demarcación, y el modem ADSL en el PC o cerca de él (si es externo). En este caso, se elimina el problema del acoplamiento al tener el filtro y el modem en el mismo dispositivo, y solo se requiere un cable nuevo hasta el módem.

2.2.4.5.5 DSLAM

Como antes se ha explicado, el ADSL necesita una pareja de módems por cada usuario: uno en el domicilio del usuario (ATU-R) y otro (ATU-C) en la central local a la que llega el bucle de ese usuario.

Esto complica el despliegue de esta tecnología de acceso en las centrales. Para solucionar esto surgió el DSLAM ("*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*" o multiplexor de ADSL): un chasis que agrupa gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems ATU-C, y que además concentra el tráfico de todos los enlaces ADSL hacia una red WAN.

La integración de varios ATU-Cs en un equipo, el DSLAM, es un factor fundamental que ha hecho posible el despliegue masivo del ADSL. De no ser así, esta tecnología de acceso no hubiese pasado nunca del estado de prototipo dada la dificultad de su despliegue, tal y como se constató con la primera generación de módems ADSL.

Estas son las ventajas del acceso ADSL:

Gran ancho de banda en el acceso: permite el intercambio de información en formato digital a gran velocidad entre un usuario y la central local a la que se conecta mediante un par de cobre. Este ancho de banda está disponible de forma permanente.

Se aprovecha una infraestructura ya desplegada, por lo que los tiempos de implantación de los servicios sobre la nueva modalidad de acceso se acortan. El acceso es sobre un medio no compartido, y por tanto intrínsecamente seguro.

La técnica DSL que ha despertado en los últimos tiempos mayor atención es sin duda la ADSL (Asymetrical Digital Subscriber Line o línea digital asimétrica de abonado). Esta técnica fue desarrollada en principio para la distribución de señales de TV con el fin de que las operadoras de telefonía pudieran competir con las de cable en el negocio de distribución de TV, de ahí sus objetivos iniciales de capacidad (8 Mbps hacia el abonado y 640 kbps en sentido inverso) que hacían posible la transmisión de 4 canales comprimidos de TV simultáneamente a cada abonado.

Esta técnica no encontró, sin embargo, su aplicación en la distribución de señales de video, sino en el acceso a Internet de alta velocidad, ya que por la misma época el desarrollo de la Web sobre Internet popularizó de forma exponencial el empleo de la red. Una característica importante en esta técnica es su compartición del espectro con la telefonía o la transmisión RDSI sobre el mismo par, lo que permite el empleo simultáneo del par de cobre para la conversación telefónica y la transmisión de datos.

2.2.4.6 RADSL (Rate adaptative DSL, O ADSL de velocidad adaptable)

Es parecida a ADSL, pero gracias a la modulación DMT (que también utiliza ADSL) es capaz de adaptarse a cambios en las condiciones de la línea y ajustar las velocidades por separado para maximizar el rendimiento de cada línea individual.

2.2.4.7 SHDSL

Recientemente ha surgido una nueva técnica de transmisión simétrica, evolución del HDSL, que presenta unas características superiores en cuanto alcance y una menor perturbación sobre otras transmisiones en el mismo mazo de cable. Esta nueva técnica recibe el nombre de HDSL 2 en Estados Unidos y SDSL en Europa o también SHDSL por el organismo internacional UIT. SHDSL transporta en forma simétrica hasta 2 Mbps y puede adaptar la velocidad de transmisión a las características de línea.

2.2.4.8 VDSL

VDSL (*Very High Data Rate Digital Subscriber line*) es la técnica que permite la mayor velocidad de transmisión sobre el par de cobre: 52 Mbps hacia el abonado y 13 Mbps en sentido inverso; se pueden realizar varias configuraciones simétricas y asimétricas. Técnicamente VDSL es una extensión de ADSL pero trabajando sobre bucles más cortos debido a su alta velocidad; también permite el uso simultáneo de telefonía sobre el par. Esta técnica concibe su aplicación en conjunción con el despliegue de acceso en fibra óptica hasta las proximidades del abonado (fibra óptica hasta el edificio), utilizando solo el cobre en el último tramo, de forma que ya se puede hablar de distancias aceptables para el VDSL. Las velocidades obtenidas vuelven a abrir de nuevo las posibilidades de distribución de TV a través del par de cobre.

Las velocidades son muy altas, pero limitan la distancia a solo 300-1.300 metros sobre un par de cobre trenzado. El objetivo es que al final de ese cable de cobre, exista una red de fibra que transporte celdas ATM.

2.2.4.9 Problemas técnicos de despliegue de DSL

El par de cobre, desplegado con el objetivo de transportar señales de voz en la banda de 300 a 3400 Hz presenta una serie de dificultades cuando se pretende transmitir por él mayores anchos de banda.

2.2.4.9.1 Alcance y tipos de bucle

El objetivo de los sistemas ADSL es llegar a la mayor parte de los abonados dentro del área de servicio. El área de servicio es aquella que esta servida por una central de conmutación o una unidad remota de abonados, donde se pueda ubicar el banco de módems y multiplexor digital DSL. Este ha de ser el primer objetivo a cubrir por un sistema DSL, teniendo en cuenta además, que pueden encontrarse en la planta externa empalmes de distinto calibre, axial como derivaciones del par sin terminar. Que añaden discontinuidades de impedancias y reflexiones que hay que compensar.

2.2.4.9.2 Crecimiento de la atenuación con el aumento de frecuencia

2.2.4.9.3 Perturbaciones

Son ráfagas de gran amplitud de ruido, con duración variable desde unos pocos hasta cientos de microsegundos y procedentes de diversas fuentes, impulso de disco, corriente de llamada, cambios de polaridad de la línea, rayos, etc.

La comunicación a través de cualquier medio se ve expuesta a numerosas inclemencias que afectan al contenido final de la información recibida. Se define como perturbación todo conjunto de actuaciones externas e internas sobre el sistema de transmisión, que provocan que la señal recibida por la fuente colectora no sea exactamente igual a la enviada por la fuente emisora. Una perturbación puede ser generada en el interior del sistema de transmisión o provenir del exterior, de otro sistema, que se denomina sistema perturbador.

Existen varios tipos de perturbaciones, que se pueden clasificar en los siguientes grupos:

1. Distorsión lineal
2. Distorsión no lineal
3. Diafonía
4. Ruidos
5. Interferencias
6. Ecos

En general, tanto las distorsiones como la diafonía son perturbaciones internas, mientras que el ruido y las interferencias son externos. No obstante, algunos tipos de diafonía y ruido pueden considerarse perturbaciones externas e internas, respectivamente.

Las distorsiones se producen siempre en presencia de la señal; las diafonías, ruidos e interferencias existen, en cambio, con independencia de la presencia de señal.

Existe una diferencia fundamental entre los ruidos y los otros tipos de perturbaciones; en efecto, los ruidos puede decirse que tienen siempre carácter aleatorio, sean en su aparición, sea en sus características de amplitud o de fase.

En cambio, las distorsiones y diafonías tendrán normalmente el carácter de las señales originadas por las fuentes de los sistemas de transmisión perturbado en su caso perturbador.

2.2.4.9.3.1 Ruido

Se pueden definir como todo tipo de señal que no fue enviada desde la fuente, pero, por estar presente dentro de la banda de la señal transmitida y con niveles perceptibles, perturba la recepción de esta. Bajo esta denominación general podrían entrar algunas perturbaciones de las ya vistas, aunque, debido a que actúan bajo mecanismos bien diferentes a los otros ruidos, se ha considerado conveniente separarlas. Así pues, una vez excluidas las distorsiones y las diafonías, al resto de las posibles perturbaciones de origen electromagnético que aparezcan sobre la señal se denominarán ruidos.

A continuación se definen los diferentes tipos de ruido:

Ruido térmico: es una perturbación de carácter aleatorio que aparece de forma natural en los conductores por agitación térmica de los electrones; es dependiente de su temperatura, aumentando la potencia del mismo con ella. Se suele denominar ruido blanco debido a que en la gama de frecuencias particular de trabajo, se puede considerar con densidad espectral uniforme.

El ruido térmico es independiente de la frecuencia. No obstante en telefonía, al medirlo, se realiza una ponderación dando a cada frecuencia un peso en función del efecto producido en el oído humano.

Ruido impulsivo: es de carácter aleatorio en cuanto a su aparición; suele darse como impulsos de corta duración, de amplitud variable, pero comparable con la señal, con un amplio espectro de frecuencias. Es producido normalmente por inducciones, consecuencia de conmutaciones electromagnéticas. Diafonía y ruido impulsivo son los parámetros que más deterioran la transmisión en sistemas de datos de alta velocidad. El ruido impulsivo es energía que se presenta en pulsos cortos de forma aleatoria, causante de errores en la transmisión, y no se puede determinar de forma precisa el origen. El ruido impulsivo en las líneas telefónicas puede ser de importancia secundaria en las comunicaciones de voz, pero es una fuente primaria de errores en una transmisión de datos. A pesar del desarrollo de modelos matemáticos para diseñar y crear sistemas robustos para la transmisión de datos sobre canales con niveles aceptables de ruido impulsivo, es de gran importancia el buen estado de la red de cobre para minimizar el ruido impulsivo que puede aparecer a través de las líneas de par trenzado.

Ruido de interferencia: es el tipo de ruido producido sobre una línea de comunicaciones, por otras circundantes o, en general, por cualquier fuente de radiación electromagnética que, por la proximidad, afecta negativamente, todo el mundo ha sufrido alguna vez de la intromisión de ruidos al utilizar el teléfono, producidos por la presencia cercana de una emisora de radio. Habitualmente se evita con un adecuado blindaje de la línea de comunicaciones.

Ruido de cuantificación: es inherente a los métodos de transmisión de señales previamente cuantificadas, como es el de la codificación de señales analógicas mediante señales digitales.

2.2.4.9.4 Diafonía

Seguramente alguna vez hemos detectado la presencia de este fenómeno al estar conversando a través de una línea telefónica y percibir con un nivel menor en el mismo canal telefónico la señal de otra conversación. Este fenómeno también puede ser visualizado con señal existente en un conductor durante la medición y verse esta contaminada con una pequeña porción de señal conocida, que fluye por otro circuito en la cercanía (física). No se refiere a ruidos ni a la recepción de señales de radio, sino solo a interferencias de señales no seseadas. Esto sucede en pares trenzados adyacentes, y no solo en cables multipares sino también en cables de audio paralelos entre si, o que transportan señales de muy diferente amplitud, sino también en instalaciones de video, comunicaciones, etc. Este fenómeno también llamado crosstalk o diafonía y depende fuertemente del tipo de aislante de los cables y de la separación entre los mismos.

La diafonía es definida como el acoplamiento inductivo y capacitivo entre diferentes hilos dentro del mismo mazo o mazos adyacentes. Aunque este efecto es conocido a frecuencias vocales y de ahí que los pares del bucle de abonado sean trenzados en la mayor parte de su recorrido. Existen dos tipos de diafonía: la paradiafonía cuando la fuente de la señal perturbadora esta colocada en el mismo punto que el receptor perturbado, y la telediafonía cuando el receptor esta colocado en el lado remoto.

La diafonía además puede ser auto, cuando es producida por sistemas de la misma tecnología o foránea, cuando son sistemas diferentes.

2.2.4.10 Problemas prácticos del despliegue de DSL

2.2.4.10.1 Interoperabilidad

Un problema previo a cualquier despliegue es el de asegurar la compatibilidad entre los módems a ambos lados de la conexión DSL. Aunque los esfuerzos de estandarización han sido grandes, los sistemas son lo suficientemente complejos para que la compatibilidad siga siendo un tema de preocupación.

2.2.4.10.2 Caracterización de los bucles

Aunque las técnicas DSL han sido diseñadas para cubrir el mayor porcentaje posible de los bucles existentes, antes de incurrir en los costes de la instalación propiamente dicha, es necesario conocer las características del bucle del abonado solicitante del servicio, para determinar el grado de prestaciones que este bucle puede soportar.

2.2.4.10.3 Segmentación de la oferta comercial

Particularmente en los sistemas ADSL y VDSL que ofrecen velocidades variables de transmisión en función de las condiciones del bucle, existe el problema crucial de cómo rarificar.

Las posibles limitaciones en las garantías de velocidades, no solo provienen de bucle en si, sino del grado de sobre subscripción en el multiplexador, la red ATM, el Proveedor de servicio, etc. Por todo ello, los operadores ofrecen un numero limitado de categorías, con servicios a distintas velocidades, limites garantizados muy por debajo de los limites teóricos de las tecnologías y tarifas planas.

2.2.4.11 Los problemas de instalación

La instalación ideal de los sistemas DSL es el “plug-and-play”: el usuario va a su tienda preferida, compra el modem, y mediante una llamada a su operador, se suscribe al servicio del que dispone prácticamente de forma inmediata, ya que el operador puede suministrarlo de forma automática.

La instalación de una línea ADSL puede resultar problemática si el fabricante no proporciona un sistema con filtros distribuidos. Si el filtro necesario para dividir las frecuencias de voz por un lado y datos por otro, es centralizado debe situarse en la entrada del hilo de cobre a la vivienda, siendo necesario el tendido de una nueva línea dentro de la casa para la conexión del modem ADSL. Por el contrario, los filtros distribuidos se insertan directamente en la roseta de conexión de cada teléfono o fax, filtrando las frecuencias de datos, por lo que se puede decir que respetan la estructura de cableado que tenga el usuario, evitando tendidos adicionales y permitiendo movilidad del punto de conexión ADSL dentro de la red de telefonía del abonado, pues el propio modem ADSL filtra la frecuencias de fonía.

En la actualidad, dependiendo de la zona geográfica aproximadamente un 20% de los abonados se conectan directamente a concentradores de abonados remotos. Estos concentradores están desatendidos y, en ocasiones, en armarios de intemperie. La ubicación de equipos de multiplexación de banda ancha en estas localizaciones suele ser extremadamente problemática: falta de espacio, insuficiente suministro de energía, disipación, etc. Esto hace que hoy día los abonados que son atendidos desde estos concentradores normalmente no puedan disponer del servicio ADSL.

3. WIMAX

3.1 Introducción

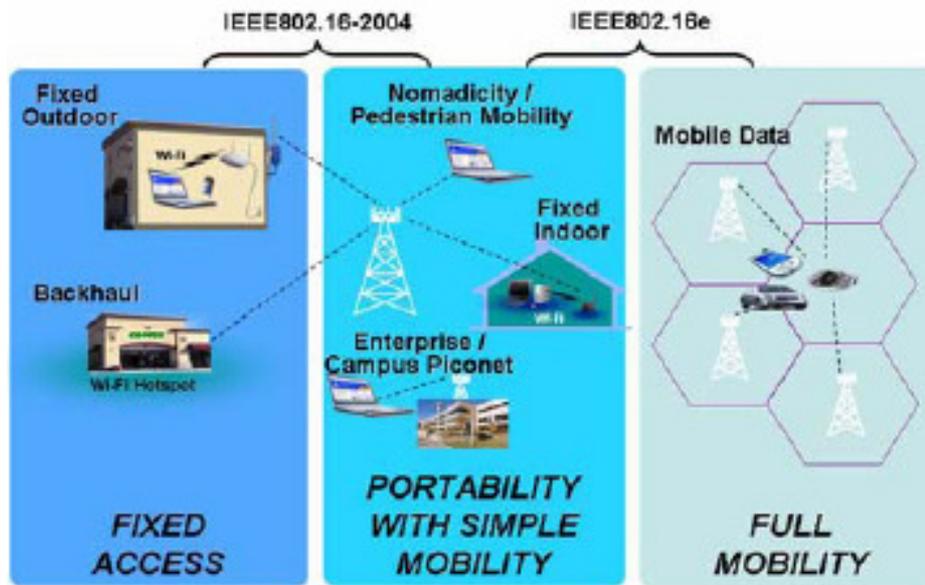
WiMax (del inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en redes de área metropolitana o MAN. Integra la familia de estándares IEEE 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI.

La disponibilidad de tecnología probada la creación de estándares y grupos de trabajo y la gran necesidad de llevar el acceso multiservicios a zonas no abastecidas hacen de esta tecnología no solo un mecanismo de competitividad sino una herramienta social, la cual puede ser implementada en relativamente cualquier parte del mundo.

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias. Está basada en OFDM (del inglés, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, multiplexación por división de frecuencia ortogonal) con 256 subportadoras puede cubrir un área de 48 kilómetros permitiendo la conexión sin visión directa, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de 75 Mbps.

WiMax se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana.

Figura 16. Enlace WiMax



Fuente: Intel Technology Journal, Volume 8, Issue 3, 2004

3.2 Estandarización

En el año 2002 fue publicada la primera versión la 802.16, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor, pensada para cubrir la "última milla", utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz.

Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMax, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. También se pensó para enlaces fijos, pero llega a extender el rango alcanzado desde 40 a 70 kilómetros, operando en la banda de 2 a 11 GHz, parte del cual es de uso común y no requiere licencia para su operación. Es válido para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para redes en malla, y no requiere línea de visión directa. Emplea las bandas de 3.5 GHz y 10.5 GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia, y las de 2.4 GHz y 5.725-5.825 GHz que son de uso común y no requieren disponer de licencia alguna.

La norma se creó para construir redes inalámbricas a escala metropolitana que proporcionan a los abonados todo tipo de servicios modernos accesibles sin conexiones de cable. Se trata de la primera norma para sistemas inalámbricos de la MAN inalámbrica, clase de acceso inalámbrico en banda ancha. La norma describe estaciones de base y aparatos telefónicos de abonado.

Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (*Media Access Layer* o capa de acceso al medio) que soporta múltiples enlaces físicos. Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso.

El estándar IEEE 802.16-2004 define los parámetros de la interfase inalámbrica para acceso de banda ancha a nivel físico y de acceso al medio (MAC). Las principales diferencias que existen con la versión anterior, el 802.16a, se relacionan con el consumo de potencia en los sistemas. Como siguiente fase se prevé la adición de movilidad bajo la versión 802.16e.

Tabla I. Cuadro comparativo del grupo de normas 802.16

NORMA	802.16	802.16a
Aprobada	Diciembre de 2001	Enero 2003
Gama de frecuencias, Ghz	10-66	2-11
Condiciones de trabajo	Visibilidad directa	Posibilidad de funcionamiento sin visibilidad directa
Velocidad binaria de transmisión, Mbits/s	32-134	1.0-75
Modulacion	QAM, una subportadora	QAM, una subportadora, OFDM, 256 portadoras, OFDM, 2048 subportadoras
Radio de celula, km	2-5	4-6

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones, Informe sobre las tecnologías de acceso para las comunicaciones de banda ancha

A raíz de los avances hechos bajo este estándar y en realidad debido también al grado de madurez alcanzado por la tecnología, a la mayor participación de fabricantes y vendedores, a las necesidades del mercado de disponer de equipamientos estándar y de menor costo y a los avances regulatorios en materia de espectro radioeléctrico en diferentes partes del mundo, en 2003 se fundó el Foro WiMax. Basándose en los lineamientos definidos por el estándar 802.16, el Foro WiMax se enfoca en promover la interoperabilidad entre diferentes marcas para soluciones de última milla.

En torno a este estándar se han definido los siguientes parámetros, entre los más importantes, para la transmisión inalámbrica:

Tabla II. Parámetros de un enlace WiMax

A nivel físico:	A nivel de acceso al medio (MAC):
Frecuencias entre 2 y 6 GHz	Multiplexaje TDMA dinámico
Canalización reducida, 5 y 10 MHz	Duplexaje TDD y FDD
Anchos de banda de más de 10 Mbps	ARQ (retransmisión inalámbrica)
Codificación adaptativa	Ajuste dinámico del tamaño del paquete
Modulación adaptativa	QoS
Ecualización adaptativa	Servicios punto-multipunto y de malla
Diversidad de antena	Uso de DHCP y TFTP para el aprovisionamiento de usuarios
Control de potencia de transmisión	Encriptación DES
Portadora única u OFDM	Modulación y codificación adoptivos

Fuente: Tele-Semana boletín de Telecomunicaciones WiMax Forum

El Foro WiMax integra hoy en día a más de 100 miembros entre los cuáles se tienen fabricantes de chips, fabricantes de equipos y prestadores de servicios. En particular, el Grupo de Trabajo de Certificación (*Certification Working Group*) tiene como tarea definir las pruebas de interoperabilidad necesarias para alcanzar la certificación WiMax en equipos. La primera fase de certificación involucra equipos en 5.8 y en 3.5 GHz, mientras que una segunda fase involucra equipos en 2.5 GHz. Es importante recalcar que el concepto de WiMax se basa en la interoperabilidad.

Por lo mismo, para que un equipo pueda ser certificado como WiMax debe de haber pasado pruebas de interoperabilidad con otros. Los lineamientos actuales definen que deben ser al menos tres las empresas con equipos estándar dispuestas a hacer pruebas antes de que estas se puedan iniciar.

3.2.1 La importancia de la interoperabilidad

El objetivo principal del WiMax Forum es acelerar la introducción de servicios de acceso inalámbrico de banda ancha de una manera eficiente y baja en costos. Estos sistemas serán escalables hasta miles de usuarios y gracias a su interoperabilidad, los proveedores de servicio serán capaces de comprar equipos de más de un fabricante reduciendo el riesgo de la inversión y creando un mercado con precios competitivos.

Las redes WiMax ofrecerán portabilidad, permitiendo el uso nómada, donde los clientes serán capaces de llevar su modem WiMax o su computadora portátil con uno incorporado a cualquier lugar donde haya cobertura por parte de la red.

Al permitir productos basados en estándares con menos variantes y mayores volúmenes de producción, WiMax puede impulsar una reducción en el costo de los equipos y hacer de la banda ancha inalámbrica un competidor con las otras tecnologías de acceso existentes. Una sola estación base proveerá suficiente velocidad de datos para ofrecer simultáneamente a más de 60 negocios con conectividad del tipo E1 y cientos de hogares con conectividad tipo DSL. Esto representa un cambio radical en el modelo de negocio de acceso inalámbrico con el beneficio para los fabricantes y operadores involucrados.

En general las características para un producto WiMax totalmente funcional incluirán la capacidad de funcionamiento fuera del campo de visión (*Non-Line-Of-Sight* o NLOS por sus siglas en inglés), una capa física OFDM, TDD y FDD duplexación y un protocolo inteligente MAC para el *uplink/downlink* (enlace de subida/enlace de bajada) para reducir la latencia.

3.3 Características

Un radio WiMax tiene la capacidad de entregar varios canales de servicio desde la misma conexión física. Esto permite que múltiples suscriptores estén conectados al mismo radio; cada uno con una conexión privada con el protocolo y nivel de servicio que éste requiera.

Esta solución garantiza tener múltiples suscriptores que se encuentran en un mismo edificio. Adicionalmente a los servicios que WiMax puede ofrecer, como se verá con más detalle en el capítulo siguiente, la tecnología de transmisión OFDM es una solución robusta para operar en condiciones donde no hay línea de visión directa (NLOS) a distancias de varios kilómetros. Esto es un requerimiento obligatorio para un negocio de servicio inalámbrico en la Última Milla.

Tabla III. Comparativa de WiMax frente a otras tecnologías.

	WiMax 802.16	Wi-Fi 802.11	Mobile-Fi 802.20	UMTS y cdma 2000
Velocidad	124 Mbit/s	11-54 Mbit/s	16 Mbit/s	2 Mbit/s
Cobertura	40-70 Km.	300 m	20 Km.	10 Km.
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Desventajas	Interferencias	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

Fuente. **Fuente. José Manuel Huidobro** WiMax. ¿El sustituto de Wi-Fi?

Estas velocidades tan elevadas se consiguen gracias a utilizar la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency División Multiplexing*, multiplexión por división de frecuencia ortogonal), con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la TV digital, sobre cable o satélite, así como para Wi-Fi (802.11a) por lo que está suficientemente probada. Soporta los modos FDD y TDD para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.

Soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como a ráfagas, siendo independiente de protocolo; así, transporta IP, Ethernet, ATM etc. y soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz sobre IP (VoIP), datos y video. Por ejemplo, la voz y el video requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

También, se contempla la posibilidad de formar redes malladas para que los distintos usuarios se puedan comunicar entre sí, sin necesidad de tener visión directa entre ellos. Esto permite, por ejemplo, la comunicación entre una comunidad de usuarios dispersos a un coste muy bajo y con una gran seguridad al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

Una de las principales limitaciones en los enlaces a larga distancia vía radio es la limitación de potencia, para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere. Sin embargo, los más recientes avances en los procesadores digitales de señal hacen que señales muy débiles (llegan con poca potencia al receptor) puedan ser interpretadas sin errores, un hecho del que se aprovecha WiMax.

La norma IEEE 802.16-2004 cuenta en un protocolo de acceso que, en contraste con el acceso usado bajo 802.11, no permite colisiones de datos y, por consiguiente, usa el ancho de banda disponible más eficazmente. Ninguna colisión significa que no hay pérdida de ancho de banda debido a retransmisión de los datos. Toda la comunicación es coordinada por la estación base. Otras características de la norma 802.16-2004 incluyen:

- **Conectividad mejorada del usuario:** La norma 802.16-2004 mantiene a mayor número de usuarios conectados en virtud de su flexible ancho de canal y la modulación adaptativa. La norma 802.16-2004 puede servir a los subscriptores de velocidades bajas sin desperdiciar ancho de banda. Cuando los subscriptores encuentran condiciones ruidosas o baja potencia de señal, el esquema de la modulación adaptable los mantiene conectados.

- **La más Alta calidad de servicio:** esta norma también permite a los proveedores del servicio asegurar QoS para clientes que lo requieren y proveer niveles de servicio para los requerimientos de diferentes clientes. Por ejemplo, la norma 802.16-2004 puede garantizar alto anchos de banda a clientes comerciales o baja latencia para la voz y las aplicaciones de video.

- **Ancho de banda flexible:** Conforme la distancia entre un subscriptor y la estación base (BS) incrementa, o conforme el subscriptor se empieza a mover caminando o manejando un automóvil, se vuelve más un desafío para ese subscriptor transmitir exitosamente hacia la estación base a un nivel de potencia dado. Para las plataformas potencia-sensibilidad como computadoras portátiles, no es posible transmitir a la estación base sobre distancias largas si el ancho de banda del canal es angosto. Las normas IEEE 802.16-2004 y IEEE 802.16e tienen flexible ancho de banda de canal entre 1.5 y 20 MHz para facilitar la transmisión encima de los rangos más largos y a los tipos diferentes de plataformas del subscriptor.

- **Antena inteligente:** Antenas inteligentes son usadas para aumentar la densidad espectral (es decir, el número de bits que pueden ser transmitidos en un canal determinado en un tiempo determinado) y para aumentar la relación señal-ruido para ambas soluciones, Wi-Fi y WiMax. Debido al desempeño y tecnología, la norma 802.16-2004 apoya varios tipos de antena inteligente adaptable incluyendo:
 - **Antenas receptoras con diversidad de espacio:** Más de una antena que recibe la señal. Las antenas necesitan ser separadas por lo menos a media longitud de onda para operar eficazmente. Manteniendo la mitad de esta distancia como mínimo asegura que las antenas son incoherentes, esto es, las antenas serán impactadas diferentemente por los efectos de las señales que llegan por medio de los caminos múltiples.

- **Diversidad Simple de antena:** detecta la potencia de la señal de múltiples (dos o más) antenas enganchadas y conmuta esa antena en el receptor, para escoger la señal que tenga la mayor potencia.
- **Haz piloto de antenas:** Forma el patrón de un arreglo de antena para producir altas ganancias en la dirección señalada. Incrementa la ganancia de antena, la relación señal a ruido y velocidad.

3.4 Arquitectura WiMax

La arquitectura de la tecnología WiMax está constituida por 2 bloques principales, la estación base y el receptor WiMax utilizado por los usuarios. Este último generalmente es denominado bajo la sigla CPE (*Customer Premise Equipment*). Se consideran sólo estos bloques ya que los estándares 802.16 no especifican alguna tecnología en especial para la conexión con el núcleo de la red, no es parte del sistema WiMax.

Estación Base WiMax

La estación base WiMax corresponde a los equipos, que generalmente son ubicados en casetas, con los resguardos de clima y energía necesarios en la mayoría de los equipos de telecomunicaciones.

Una estación base teóricamente puede cubrir hasta 50 kilómetros, pero en la práctica se consideran alrededor de 10 kilómetros.

Así como las antenas de las estaciones base de las redes celulares, las antenas WiMax pueden ser omnidireccionales o direccionales.

El CPE WiMax

Un *Customer Premise Equipment* (CPE) es un equipo que puede tener por separado la antena, venir todo integrado en una sola caja o ser un tarjeta PCMCIA que se ocupe en las computadoras portátiles. El acceso a una estación base WiMax es como acceder a una red WiFi, pero con una cobertura y transferencia de datos mayor.

3.5.1 Modos de funcionamiento

WiMax tiene dos formas de funcionamiento:

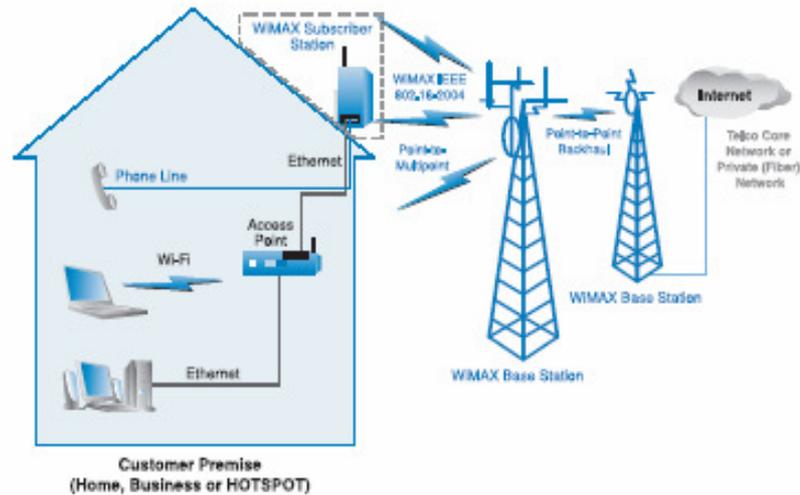
Fijo y Móvil o Portátil

3.5.1 Fijo

La norma IEEE 802.16-2004 (que revisa y reemplaza la versión IEEE 802.16a y 802.16REVd) fue diseñada para modelos de acceso fijo. Esta norma puede ser llamada "inalámbrico fijo" porque usa una antena montada al sitio del suscriptor. La antena se monta a un tejado o mástil, similar a un plato de televisión de satélite. IEEE 802.16-2004 también puede ser instalada en interiores en cuyo caso debe ser tan robusto como en instalaciones al aire libre.

La norma 802.16-2004 es una solución inalámbrica para acceso a Internet de banda ancha fija que proporciona interoperabilidad. Esta tecnología proporciona una alternativa inalámbrica al módem del cable, la línea digital del suscriptor de cualquier tipo (xDSL) y circuitos de portador óptico (OC-x).

Figura 17. Modo de funcionamiento fijo de un enlace WiMax



Fuente. Intel Corp. Understanding Wi-Fi and WiMax as Metro-Access Solutions

3.5.2 Móvil o portátil

Gran parte del centro de interés de la comunidad WiMax es el escenario en donde el abonado, al parecer, tiene una conexión inalámbrica de banda ancha que puede proporcionar conectividad en un entorno portátil y hasta móvil. Esta oferta de servicio requeriría tarjetas de datos habilitadas por WiMax para PC y potencialmente conduciría a soluciones incorporadas y a nuevos tipos de dispositivos. Este escenario de uso es el más atractivo, ya que implica un acceso a banda ancha y otros servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar. Al mismo tiempo, implementar una solución portátil/móvil también es un mayor desafío y no será la primera solución WiMax que ingrese al mercado.

La norma IEEE 802.16e es una enmendadura a la norma 802.16-2004 agregando portabilidad para los clientes móviles con adaptadores para conectar directamente a la red WiMax.

La norma IEEE 802.16-2004 mejora la entrega de la última-milla en varios aspectos importantes:

- Interferencia Multi-trayecto
- Retardo de propagación
- Robustez

La interferencia del multi-trayecto y retardo de propagación mejoran el comportamiento en situaciones donde no hay un trayecto del línea-de-vista directo entre la estación base y la estación del suscriptor. En la norma 802.16-2004 el control de acceso al medio (MAC) es optimizado para los de larga distancia porque se diseña para tolerar retardos más largos y variaciones de retardo.

3.6 Comparativa frente a otras tecnologías

Las redes WiMax poseen una serie de características que las hacen muy atractivas, entre las que cabe destacar:

Bajo costo: en general, una red WiMax tiene costes globales menores que una red de cable equivalente (cobre, fibra óptica o coaxial), ya que el ahorro en obra civil (zanjas, tendido de cable, etc.) compensa, en la mayoría de los casos, los costes derivados de la obtención de licencias de operación en las bandas reservadas.

Rapidez de despliegue: pueden desplegarse y ponerse operativas en mucho menos tiempo que las redes cableadas ya sea de fibra o cobre.

Accesibilidad: permiten llevar los servicios a áreas de difícil cobertura por otros medios, debido a baja densidad de población, accidentes geográficos, etc.

Baja inversión inicial: la estrictamente necesaria para desplegar las estaciones base que cubren el área definida, y los equipos de abonado. Los costos de inversión son relativamente bajos, especialmente comparados con los costos de recableado de la planta instalada de cobre o la inversión necesaria para la instalación de nueva fibra. Adicionalmente a esto, la facilidad en la instalación de los equipos permite la reducción de costos por tiempo de instalación para la puesta en marcha de los nuevos servicios.

La instalación de estaciones base WiMax es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que por los operadores móviles puede ser visto como una amenaza, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

Los gastos que entraña la creación de nuevas redes DSL, la modificación o el acondicionamiento de las líneas existentes, o la reconversión de plantas de cable existentes para transmitir tráfico bidireccional podrían ser muy elevados.

Debido a factores independientes de la tecnología, tales como la adquisición de sitios y los costos de preparación, por no mencionar los requisitos de energía, tanto de RF como eléctrico, el costo de desplegar una red WiMax es aproximadamente el mismo que el de una red 3G [excluyendo los costos del espectro ya incurridos] y mucho más caro que el de una típica red Wi-Fi. Por supuesto, la cobertura Wi-Fi sería mucho más limitada mientras que WiMax podrá aprovechar los beneficios con relación a los costos asociados con una red núcleo “All-IP” (todo-IP) ubicada “detrás” de las estaciones base.

Los costos del despliegue no son triviales, la mayor cantidad de sitios de celda, como resultado del uso de bandas de frecuencia más altas, eleva los costos de adquisición/leasing y de construcción de los sitios, independientemente de la tecnología que se despliega. Además, los desafíos logísticos de conseguir suficientes sitios para desplegar una red móvil pueden ser importantes, independientemente del factor costo. Por consiguiente, es natural que la logística de encontrar suficientes sitios para una red WiMax móvil ininterrumpida en 3.5GHz, sin mencionar el impacto en los costos, sea incluso más desalentadora. Esta es una de las razones por las cuales los potenciales operadores WiMax quieren usar bandas de frecuencias más bajas (por ejemplo, 2.5GHz y más bajas). Dicho esto, es probable que WiMax tenga una estructura de menor costo respecto de la red núcleo o la porción de la red que se encuentra “detrás” de las estaciones base.

Específicamente, WiMax utiliza un núcleo todo IP lo que significa que es escalable y, por tanto, puede soportar un mayor nivel de tráfico de usuarios para una cantidad dada de recursos de la red. Es importante destacar, sin embargo, que 3G también está en transición hacia un núcleo todo IP, momento en que reducirá significativamente su propia estructura de costos y logrará mayor escalabilidad de la que es posible en la actualidad.

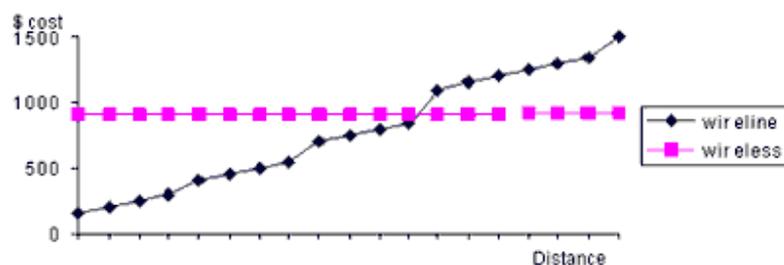
En cuanto al costo, ya se ha mencionado que el despliegue de una red de acceso radial WiMax no es básicamente más económico que una red 3G, en particular cuando se considera que el costo actual de la infraestructura (estaciones base, etc.) representa sólo un modesto porcentaje de los gastos de capital totales: los costos de adquisición del sitio y de preparación son tecnológicamente agnóstico y, por lo general, cuestan mucho más que el equipo desplegado en el sitio. Hay ahorros inherentes en la red núcleo debido a que WiMax adopta una infraestructura todo IP. Estos operadores móviles tendrán los mismos ahorros en costos en el largo plazo.

Crecimiento adaptado a la demanda: una vez realizado el despliegue inicial, un sistema de acceso WiMax crece proporcionalmente a la demanda, ya que los equipos terminales se instalan según vayan apareciendo nuevos clientes, sin necesidad de introducir cambios en la infraestructura hasta que el número de usuarios no alcance unos ciertos límites.

Bajo costo de mantenimiento, en comparación con los sistemas cableados, en los que el mantenimiento de la planta externa representa una parte muy importante en los costes globales de operación. Estos sistemas son también más inmunes a acciones de vandalismo, robos, degradación, etc.

Retorno rápido de la inversión: los enlaces WiMax proporcionan al operador de red un rápido retorno de las inversiones y le permiten definir un modelo de negocio atractivo en un mercado competitivo. Desde otro punto de vista, la tecnología WiMax tiene diversas características económicas que lo hacen atractivo para implementar del 20 al 50 por ciento de las nuevas redes telefónicas. En algunos casos – por Ej.: terreno adverso o abonados muy dispersos WiMax sería incluso mucho más atractivo que las redes cableadas.

Figura 18. Gráfica comparativa, en cuanto a costos enlace cableado y enlace inalámbrico



Fuente. Chandar Dhawan. Remote Access Networks: Pstn, Isdn, Adsl, Internet and Wireless.

Según se puede observar en la gráfica anterior, WiMax tiene un costo incremental mucho menor que el cobre, y es mucho más barato de instalar cuando las densidades de abonados son bajas.

Aspecto Operativo: En el ámbito operativo, la elección de la tecnología de acceso, depende en gran medida de la experiencia previa del proveedor, en los medios de transporte a utilizar, además del estado actual de la red sobre la que se va a realizar la implementación.

De este modo, la implementación de xDSL, está limitada a las áreas donde los abonados están conectados por pares de cobre. En este caso es necesario evaluar las condiciones de la planta de cobre disponible para conocer la factibilidad de implementar esta tecnología.

En el caso de las redes HFC, la instalación se reduce a las empresas proveedoras de TV por cable, las cuales tienen la red instalada y disponible para su implementación. La instalación del sistema de transmisión de datos en estos proveedores, requiere la migración de una red que solamente envía información en sentido downstream (desde la central al abonado) hacia una red full duplex, para lo cual es necesario incorporar amplificadores bidireccionales.

De todas las tecnologías que hemos tratado, WiMax, es la que permite una instalación más rápida y menos dependiente de las características del proveedor.

Finalmente y en el caso de las tecnologías de fibra óptica, su instalación apunta más a clientes corporativos que a residenciales, ya que el ancho de banda que se maneja es considerablemente superior.

Tabla IV. Diferencias técnicas entre IEEE 802.16 y IEEE 802.11

Criterio	802.11	802.16	Diferencias técnicas
Rango	Optimizado para varios cientos de metros (añadir más APs para más cobertura)	Optimizado para más de 50 Km. Tamaño típico de celda de 7 a 10 Km	El nivel físico de 802.16 tolera mayor multitrayecto y dispersión de retardo (reflexiones) gracias a los 256 FFT (frente a los 64 FFT del 802.11)
Cobertura	Optimizado para interiores, corto rango.	Optimizado para exteriores con NLOS: el estándar da soporte a técnicas avanzadas de antenas	Los sistemas 802.16 tienen un sistema de ganancia mayor en general, consiguiendo mayor penetración a través de obstáculos y distancias mayores
Escalabilidad	Pensado para aplicaciones LAN, de uno a decenas de usuarios con una suscripción por terminal.	Diseñado para soporte eficiente de uno a cientos de terminales, con ilimitadas suscripciones por cada terminal	El protocolo MAC usado en 802.11 hace uso de CSMA/CA mientras que 802.16 emplea TDMA dinámico. 802.11 sólo puede usarse en frecuencias sin licencia y con un limitado número de canales. 802.16 puede usarse en todas las frecuencias disponibles, soportando múltiples canales celulares.
Tasa bruta	Pico de 2,7 bit/s/Hz Más de 54 Mbit/s en canal de 20 MHz	Pico de 5 bit/s/Hz Más de 75 Mbit/s en canal de 20 MHz	Modulaciones mayores unidas a mayor corrección de errores resultan en un uso más eficiente del espectro
QoS	No soporta calidad de servicio en el estándar actual.	Soporte de calidad de servicio en MAC para voz, video y servicios de niveles diferenciados	802.11 utiliza el MAC basado en contienda de Ethernet. 802.16 es un MAC con TDMA dinámico y con ancho de banda bajo demanda

Fuente. **Fuente. José Manuel Huidobro** WiMax. ¿El sustituto de Wi-Fi?

3.7 Redes WiMax beneficios

Reducción del Coste y del Riesgo de Inversión

- Múltiples fuentes/suministradores con garantía de interoperabilidad (WiMax Certified™)

Escalabilidad de equipamiento y capacidad

- Canalizaciones flexibles:
- Acomodación del espectro disponible (en bandas licenciadas y no licenciadas).
- Incorporación de nuevos sectores para optimizar la capacidad por celda, permitiendo adaptarse al número de usuarios reales en cada momento.
- Adecuación del protocolo MAC a un funcionamiento eficaz para cualquier número de abonados (desde uno hasta varias centenas).

Cobertura

- Técnicas avanzadas para asegurar un funcionamiento correcto en condiciones NLOS
- Su gran ganancia de sistema le permite solventar a mayores distancias los obstáculos típicos (vegetación, paredes, etc.)

Calidad de Servicio

- Capa MAC con TDMA dinámico para soportar eficazmente servicios sensibles al retardo, tales como voz y video.
- Niveles de servicio diferenciados mediante asignación de ancho de banda bajo demanda: nx64, E1 para empresas, *best effort* para entornos residenciales.

Interconexión de Puntos de Acceso Wi-Fi

- WiMax permite la interconectividad de los puntos de acceso de las zonas WiFi hacia la red troncal preservando sus características (bitrate, etc.).

3.8 Aplicaciones

El sistema podría soportar fácilmente datos de tipo Internet genéricos y datos en tiempo real y, en particular, aplicaciones bidireccionales tales como voz, videoconferencia o juegos interactivos.

Las primeras versiones de WiMax están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radio enlaces por microondas. Las próximas ofrecerán total movilidad, por lo que competirán con las redes celulares.

Los primeros productos que están empezando a aparecer en el mercado se enfocan a proporcionar un enlace de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. WiMax podría llegar a sustituir con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radio enlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste muy competitivo frente a otras alternativas.

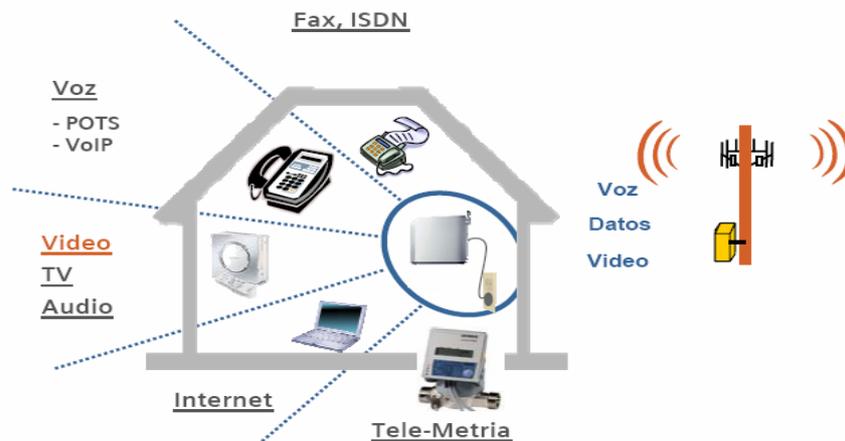
En los países en desarrollo resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia.

Los accesos inalámbricos de banda ancha se han convertido en la opción más eficiente a la hora de implantar conectividad en el ámbito empresarial. Los accesos inalámbricos permiten integrar una elevada variedad de servicios, tales como:

- Acceso a recursos locales / Internet.
- Servicio integrado de datos/voz.
- Video bajo demanda, etc.

Por otra parte los accesos inalámbricos ofrecen un alto grado de escalabilidad y movilidad, siendo estas, características que convierten a este tipo de sistemas en un medio de comunicación ideal, permitiendo de esta forma extender de manera fiable y eficiente la conectividad ofrecida por otros medios que pudieran estar ya implantados como sistemas ópticos, sistemas XDSL, ATM, FRAME RELAY, etc.

Figura 19. Aplicaciones de los sistemas WiMax

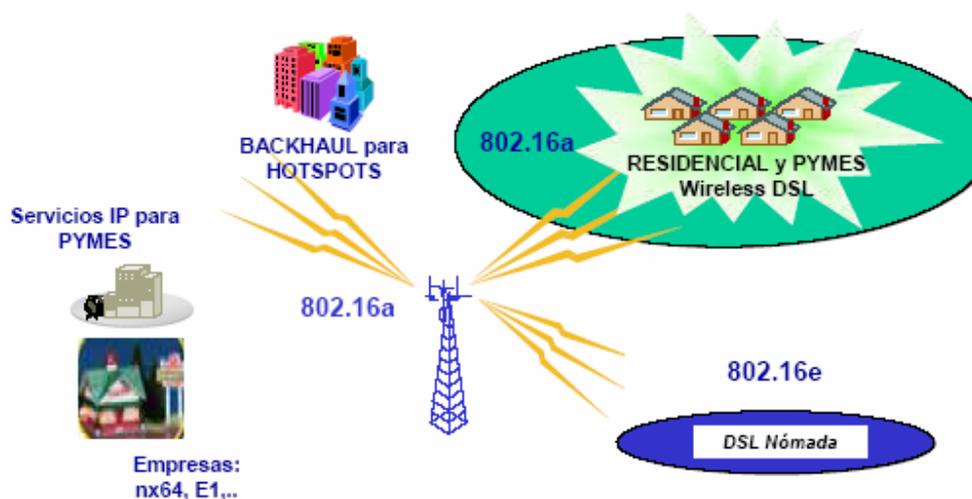


Fuente WiMax – Jaime Martínez Aplicaciones y Servicios SIEMENS

Backhaul inalámbrico en una red celular

Los radios de microondas han sido usados prácticamente desde el comienzo de la industria celular para proveer backhaul, o transporte de tráfico de voz y datos de sitios de celdas distantes a la red núcleo del operador. En general, los operadores utilizan cobre, enlaces de fibra o radios de microondas que operan a frecuencias mucho más altas que las de WiMax, pero eso no significa que los operadores en el futuro no vayan a estar abiertos a la idea de usar WiMax. En gran parte, la decisión del operador estará basada en la disponibilidad de espectro suficiente para cumplir con los requisitos de su backhaul, en particular dado los mayores requerimientos como resultado de los servicios de datos 3G. Algunos operadores incluso hasta podrían considerar usar WiMax en un espectro que no requiere licencia para las necesidades de su backhaul, pero este escenario es improbable en la mayoría de los casos ya que la posibilidad de interferencia existiría y esta interferencia podría impactar en forma negativa sobre la calidad de toda la red.

Figura 20. Aplicaciones de redes WiMax



Fuente. José-Ignacio Alonso Montes. Tecnologías Inalámbricas de Banda Ancha para acceso a Internet

4. WIMAX TECNOLOGÍA PARA AMBIENTES CON LÍNEA DE VISIÓN DIRECTA Y SIN VISIÓN DIRECTA ENTRE ENLACES

4.1 Introducción

Mientras varias tecnologías disponibles actualmente para acceso fijo de banda ancha inalámbrica únicamente pueden proveer cobertura en línea de visión directa (LOS line of sight por sus siglas en Inglés), la tecnología WiMax ha sido optimizada para proveer una excelente cobertura en enlaces sin línea de visión directa (NLOS no line of sight). Los avances en la tecnología WiMax proveen lo mejor de ambos casos cobertura mayor de hasta 50 kilómetros en línea de visión directa en condiciones típicas y hasta 8 kilómetros en enlaces sin línea de visión directa.

4.2 Propagación terrestre

4.2.1 Ondas aéreas

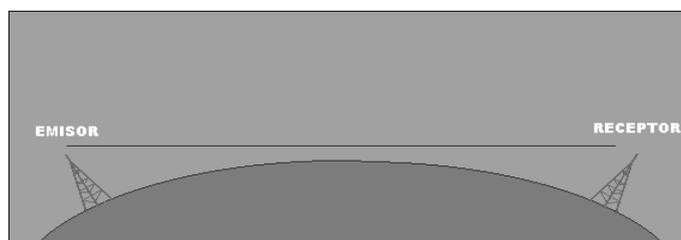
Son aquellas que parten de la antena del emisor y llegan hasta la antena del receptor a través del propio aire pero sin llegar a la ionosfera. Según su trayectoria pueden ser: Ondas directas, reflejadas y otras influenciadas por ciertos efectos como son por refracción troposférica o por difracción.

4.2.2 Onda directa

Sin tocar terreno ni ionosfera. La atenuación es mínima, siendo únicamente la que se produce por el espacio abierto o agentes meteorológicos (lluvia, nieve,...) Es la típica de frecuencias superiores a 30MHz (V-U-SHF).

Un claro ejemplo lo tenemos en los emisores de radiodifusión FM y TV, en los que para conseguir máximas distancias es imprescindible tener la antena emisora lo más alta posible (o ubicaciones de repetidores o reemisores en cotas altas del terreno). Otro ejemplo lo tenemos en los radioenlaces de microondas (SHF o frecuencias $>3\text{GHz}$) en los que es imprescindible que haya visión directa para establecerse la comunicación.

Figura 21. Ondas directas

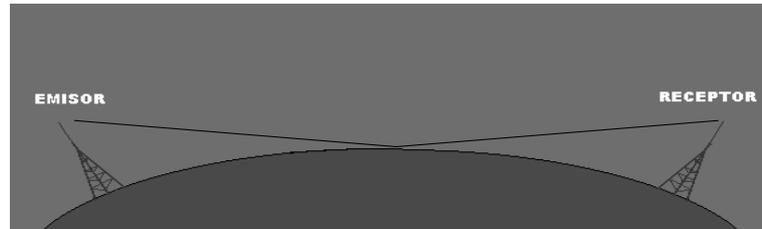


Fuente. Ismael Escalona Reveron. Radiopropagación

4.2.3 Onda reflejada

Llega al receptor después de reflejarse en la tierra (o mar). Sufre gran atenuación por la propia naturaleza del terreno y depende mucho de éste. En ocasiones favorece el establecimiento de la comunicación a largas distancias.

Figura 22. Ondas reflejadas

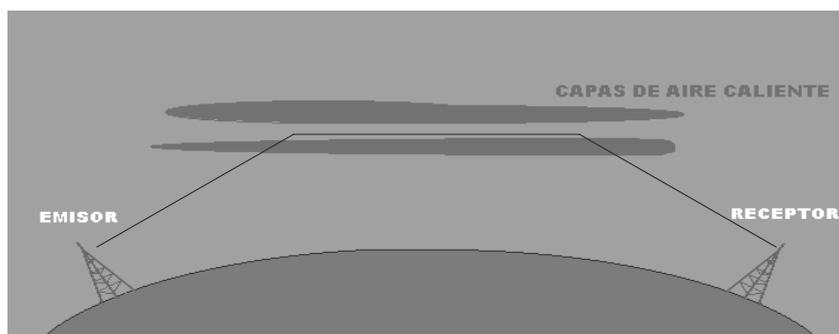


Fuente. Ismael Escalona Reveron. Radiopropagación

4.2.4 Refracción troposférica

Cuando una capa de aire frío se encuentra entre dos capas de aire caliente, puede ocurrir que la onda se refracte, esto es, que modifique su trayectoria

Figura 23. Refracción troposférica



Fuente. Ismael Escalona Reveron. Radiopropagación

4.2.5 Difracción (filo de la navaja)

Cuando entre el emisor y el receptor se encuentra una montaña o cordillera, puede ocurrir que las ondas modifiquen su trayectoria debido a la naturaleza del terreno (temperatura, humedad, etc.) consiguiéndose incluso, niveles de ganancia, en lugar de atenuaciones.

Figura 24. Difracción filo de navaja



Fuente. Ismael Escalona Reveron. Radiopropagación

4.2.6 Ondas de radio u ondas hertzianas

Las ondas de radio u ondas Hertzianas son ondas electromagnéticas. Como una onda de radio es una vibración, al cabo de un período, la onda habrá recorrido una distancia llamada longitud de onda. La longitud de onda es una característica esencial en el estudio de la propagación; para una frecuencia dada depende de la velocidad de propagación de la onda.

El ámbito de las frecuencias de las ondas de radio se extiende de algunas decenas de kilohertzios hasta los límites de los infrarrojos.

Tabla V. Abreviaciones para rangos de frecuencias de radio.

Abreviatura	Definición	Rango de frecuencias
ELF	Extremadas bajas frecuencias / extremely low frequencies	30 a 3000 Hz
VLF	Muy bajas frecuencias / very low frequencies	3 a 30 KHz
LF	Bajas frecuencias / low frequencies	30 a 300 kHz
MF	Medianas frecuencias / medium frequencies	0.3 a 3 MHz
HF	Altas frecuencias / high frequencies	3 a 30 MHz
VHF	Muy altas frecuencias / very high frequencies	30 a 300 MHz
UHF	Ultra altas frecuencias / ultra high frequencies	Arriba de los 300 Mhz
SHF y EHF	Frecuencias Super elevadas y Extremadamente altas frecuencias	

Fuente. Ismael Escalona Reveron. Radiopropagación

4.3 El efecto Fresnel

La línea visual es el espacio libre directo que existe entre dos puntos. Usando unos prismáticos en un día claro es muy sencillo determinar si existe línea visual entre dos puntos separados unos pocos kilómetros.

Los siguientes obstáculos pueden oscurecer una línea visual:

- Accidentes topográficos, como montañas
- La curvatura de la tierra
- Edificios y otros objetos
- Árboles

Si alguno de estos obstáculos es lo suficientemente alto, puede bloquear la línea visual entre dos puntos

Figura 25. Línea de visión directa entre dos puntos



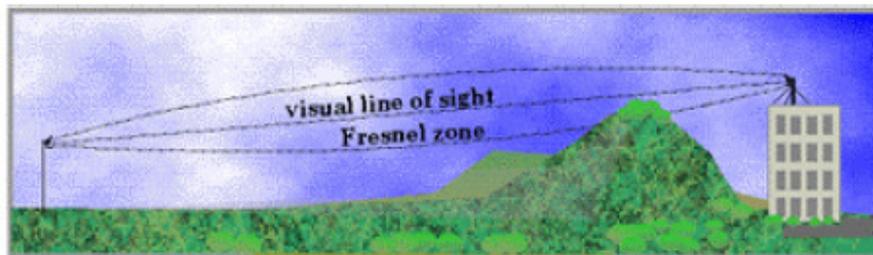
Fuente. Estándares inalámbricos (Pasado, presente y futuro de las redes wireless)
www.basicsl.net/catalogos/historiaWireless.pdf

Los obstáculos que pueden interferir con la línea visual, también pueden hacerlo con la línea de datos, pero hay que considerar el efecto Fresnel. Si un gran obstáculo, como un cerro, una colina o un edificio, está muy próximo a la línea visual, puede dañar la señal de radio, o reducir su potencia. Esto ocurre incluso si el obstáculo no corta la línea visual.

La zona Fresnel para una señal de radio es un área elíptica alrededor de la línea visual. Su grosor varía dependiendo de la longitud de la línea y de la frecuencia de la señal.

Como puede verse en la figura # 26, cuando un objeto grande queda dentro de la zona Fresnel, se produce una difracción que causa que la señal reflejada alcance la antena receptora un poco más tarde que la señal directa. Como esta señal reflejada está fuera de fase respecto a la señal directa, esto puede reducir su potencia e incluso cancelar la señal. Si los obstáculos son “blandos” como árboles u otros similares, la señal se atenúa (se reduce su calidad). En resumen, el hecho de “ver” el punto de conexión no garantiza que se pueda establecer un enlace inalámbrico de calidad.

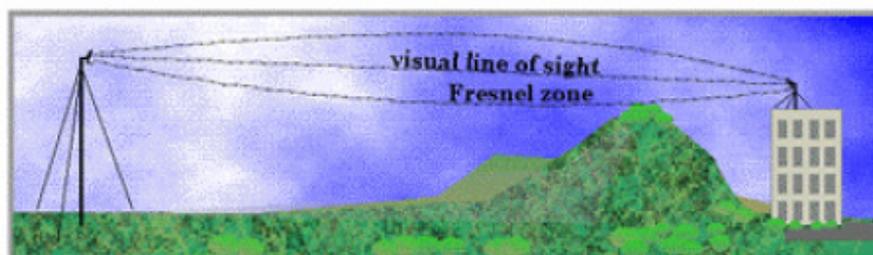
Figura 26. Zona de Fresnel para una señal de radio



Fuente. Estándares inalámbricos (Pasado, presente y futuro de las redes wireless)
www.basicsl.net/catalogos/historiaWireless.pdf

La solución más común para el efecto Fresnel es elevar las antenas para salvar los obstáculos. Evidentemente esto no siempre es posible y se produce el problema típico de tener línea visual y que el enlace no funcione.

Figura 27. Solución más común para el efecto Fresnel



Fuente. Estándares inalámbricos (Pasado, presente y futuro de las redes wireless)
www.basicsl.net/catalogos/historiaWireless.pdf

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo.

En óptica y comunicaciones por radio, una zona de Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución concéntricos teóricamente infinitos que definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular (generalmente). Fresnel divide el resultado en zonas de difracción por la abertura circular.

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de una antena de radio. Esta zona se debe determinar primero, para mantenerla libre de obstrucciones.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF ("RF LoS", línea vista de radio frecuencia), que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea el RF LoS es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. En este punto, el radio r se puede calcular como sigue:

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

Donde:

r = radio en metros (m).

d = distancia en kilómetros (km).

f = frecuencia transmitida en megahercios (MHz).

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}}$$

Donde:

R_n = radio de la n ésima zona de Fresnel.

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en km.

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en km.

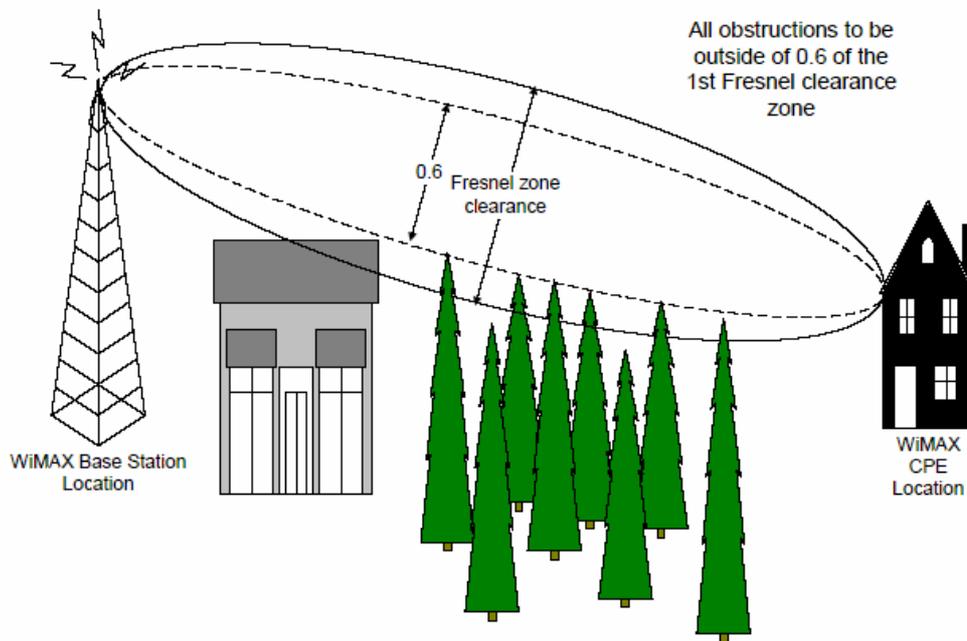
d = distancia total del enlace en km.

f = frecuencia en MHz.

4.4 Comparación entre enlaces sin línea de visión directa y enlaces con línea de visión directa

El canal de radio de un sistema de comunicaciones inalámbricas es a menudo descrito como enlace con línea de visión directa (LOS) y sin línea de visión directa (NLOS). En un enlace LOS, una señal viaja a través de un camino directo y sin obstáculos entre el transmisor y el receptor. Un enlace LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel este libre de cualquier obstrucción, (ver la figura 28). Si este criterio no se cumple, entonces se produce una significativa reducción en el nivel de intensidad de la señal recibida. El espacio libre requerido por Fresnel depende en la frecuencia de operación y la distancia entre el transmisor y el receptor.

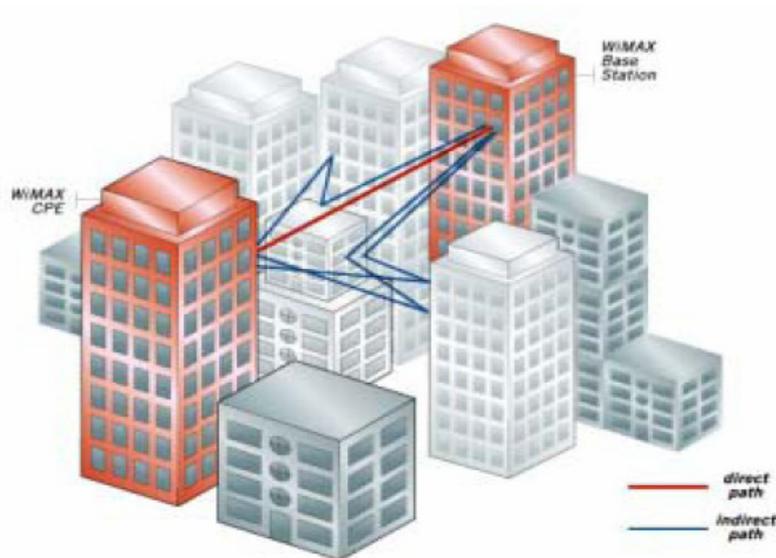
Figura 28. Zona de Fresnel para enlace con Línea visión directa



Fuente. WiMax forum. WiMax's technology for LOS and NLOS environments

En un enlace sin línea de visión directa (NLOS), una señal alcanza al receptor a través de reflexiones, dispersiones y difracciones. La señal que llega al receptor esta formada por una composición de señales que llegan a través de las anteriores formas de propagación (reflexiones, dispersiones y difracciones) como se muestra en la figura 29. Estas señales tienen diferentes retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa frente a la señal que se transmite por el camino directo.

Figura 29. Propagación sin línea de visión directa



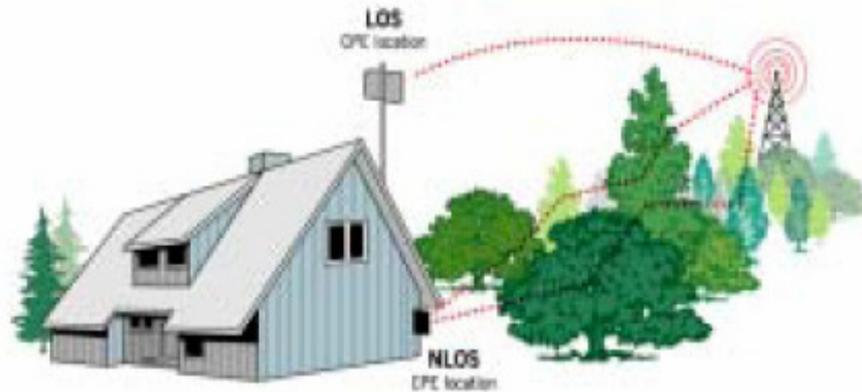
Fuente. WiMax forum. WiMax's technology for LOS and NLOS environments

El fenómeno de múltiple trayecto puede también causar el cambio en la polarización de la señal. Así el rehúso de frecuencias, que normalmente se hace en los despliegues LOS, puede ser problemático en el caso de los NLOS. Sin embargo hay varias ventajas que hacen los despliegues NLOS deseables. Por ejemplo, estrictos requerimientos de planificación y restricciones en la altura de la antena, a menudo no permiten a la antena ser posicionada para un LOS. Para despliegues celulares contiguos a gran escala, donde el rehúso de frecuencia es crítico, bajar la antena es una ventaja para reducir la interferencia co-canal entre células adyacentes. Esto a menudo fuerza a las estaciones base a operar en condiciones de NLOS, ya que los sistemas LOS no puede reducir la altura de las antenas porque perderían la visibilidad directa con el receptor.

Como un sistema de radio usa señales de múltiple trayectoria como una ventaja, esta es la clave para proveer servicios en condiciones de enlaces sin línea de visión directa. Un producto que simplemente incrementa la potencia para penetrar las obstrucciones (algunas veces llamados “casi de línea vista”) no es tecnología de enlaces NLOS. Las condiciones de cobertura de ambos casos LOS y NLOS son gobernadas por las características de propagación de su medio ambiente, pérdida de trayectoria y calculo del radio enlace.

La tecnología de un sistema NLOS y el mejoramiento de las características en WiMax hacen posible el uso de un equipo dentro de las instalaciones del cliente como muestra la figura 30. Esto tiene dos retos principales; primero superar las perdidas por penetración en la construcción y segundo, alcanzar distancias razonables con transmisores de baja potencia y ganancia de antena que están usualmente asociados con CPE que se instalan dentro de las casas. WiMax hace esto posible, y en la cobertura de sistemas NLOS pueden estar aun más lejos mejorando la potencia con algunas capacidades opcionales de WiMax

Figura 30. Localización del CPE en un sistema NLOS.



Fuente. WiMax forum. WiMax's technology for LOS and NLOS environments

4.5 Soluciones tecnología sin línea de visión directa (NLOS)

La tecnología WiMax, resuelve o minimiza los problemas resultantes de las condiciones de los sistemas NLOS usando:

- Tecnología OFDM
- Subcanalización
- Antenas direccionales
- Diversidad en transmisión y en recepción
- Modulación Adaptativa
- Técnicas de corrección de errores
- Control de potencia

4.5.1 OFDM modulación por división en frecuencia ortogonal

OFDMA consiste en una técnica de acceso múltiple basado en OFDM, en el cual a cada usuario se le asigna una o más subportadoras, con lo cual los usuarios comparten un determinado ancho de banda. La forma en que las subportadoras son asignadas dependerá de la estrategia de despliegue del operador, ya que tienen directa relación con la calidad de servicio y la tasa de transferencia de éstos.

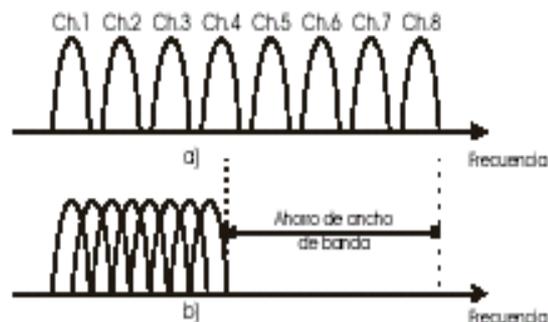
OFDM es la tecnología de base para el 802.16a que es un estándar de IEEE para redes de área metropolitana inalámbrica que puede proveer extensión inalámbrica para acceso de última milla de banda ancha en instalaciones de cable y DSL. El mismo cubre el rango de frecuencias de 2 a 11 GHz y alcanza hasta 50 kilómetros lineales, brindando conectividad de banda ancha inalámbrica sin necesidad de que exista una línea directa de visión a la estación de base. La velocidad de transmisión de datos puede llegar a 70 Mbps. Una estación de base típica puede albergar hasta seis sectores.

El origen del OFDM es en la década del 50/60 en aplicaciones de uso militar que trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras. La transmisión sin línea de visión directa ocurre cuando entre el receptor y el transmisor existen reflexiones o absorciones de la señal lo que resulta en una degradación de la señal recibida lo que se manifiesta por medio de los siguientes efectos: atenuación plana, atenuación selectiva en frecuencia o interferencia Inter.-símbolo. Estos efectos se mantienen bajo control con el W-OFDM que es una tecnología propietaria de WI LAN quién recibió, en 1994, la patente 5, 282,222 para comunicaciones inalámbricas de dos vías y banda ancha OFDM (WOFDM). Esta patente es la base para los estándares 802.11a, 802.11g, 802.11a R/A, 802.16 a estándares para HiperMAN.

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

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

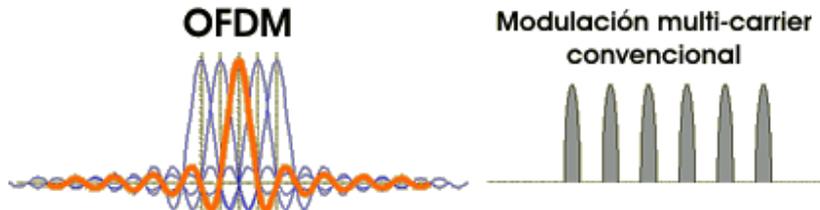
Figura 31. Técnica OFDM



Fuente. Alejandro Velasco. Métodos de modulación de frecuencia

OFDM tiene una alta eficiencia de espectro, resiliencia a la interfaz RF y menor distorsión multi-ruta. Actualmente OFDM no sólo se usa en las redes inalámbricas LAN 802.11a, sino en las 802.11g, en comunicaciones de alta velocidad por vía telefónica como las ADSL.

Figura 32. OFDM vrs modulación multicarrier convencional



Fuente. Alejandro Velasco. Métodos de modulación de frecuencia

El reto de todos los días para la industria es lograr mayores velocidades de transmisión en las redes de datos/Internet. Una propuesta es el esquema de transmisión W-OFDM (Wide-band Orthogonal Frequency Division Multiplexing), este método como otros codifica los datos dentro de una señal de radio frecuencia (RF).

Transmisiones convencionales como AM/FM envían solamente una señal a la vez sobre una frecuencia de radio, mientras que OFDM envía una señal de alta velocidad concurrentemente sobre frecuencias diferentes. Esto nos permite hacer un uso muy eficiente del ancho de banda y tener una comunicación robusta al enfrentar ruido y reflejos de señales.

La tecnología OFDM parte una señal de alta velocidad en decenas o centenas de señales de menor velocidad, que son transmitidas en paralelo. Esto crea un sistema altamente tolerante al ruido, al mismo tiempo es muy eficiente en el uso del ancho de banda y por lo tanto permite una amplia cobertura de área punto a punto y multipunto.

Actualmente, existen equipos con la capacidad de transmitir desde 1.5Mbps hasta 30Mbps en 25MHz de ancho de banda y pronto se estarán produciendo equipos que superaran velocidades de 100Mbps. Adicionalmente a la velocidad, se cuenta con opciones de seguridad que hacen virtualmente imposible descifrar la señal que se transmite.

Los equipos con tecnología OFDM ayudan a las empresas a evitar los altos costos de instalación de cable, a eliminar rentas mensuales o cargos por licenciamiento. Son la solución ideal en distancias moderadas para redes de información punto a punto, multipunto, acceso de alta velocidad a Internet, extensiones de LAN/WAN, Videoconferencia, Telefonía, Telemetría, Control, Etc.

4.5.2 W-OFDM – Banda ancha con multiplexación por división en frecuencia ortogonal

Esquema de transmisión que codifica la información en múltiples radio frecuencias simultáneamente. Dando como resultado, mayor seguridad y mayor velocidad. Esto lo convierte en el esquema más eficiente en el uso del ancho de banda en la industria.

W-OFDM es la base del estándar IEEE 802.11a que a su vez es la base para el estándar propuesto IEEE 802.16

Características de OFDM:

Ancho de Banda: 30Mbps

Altamente inmune a interferencias

Punto-a-Punto, 8 a 10Km

Multi-Punto, 3 a 5Km

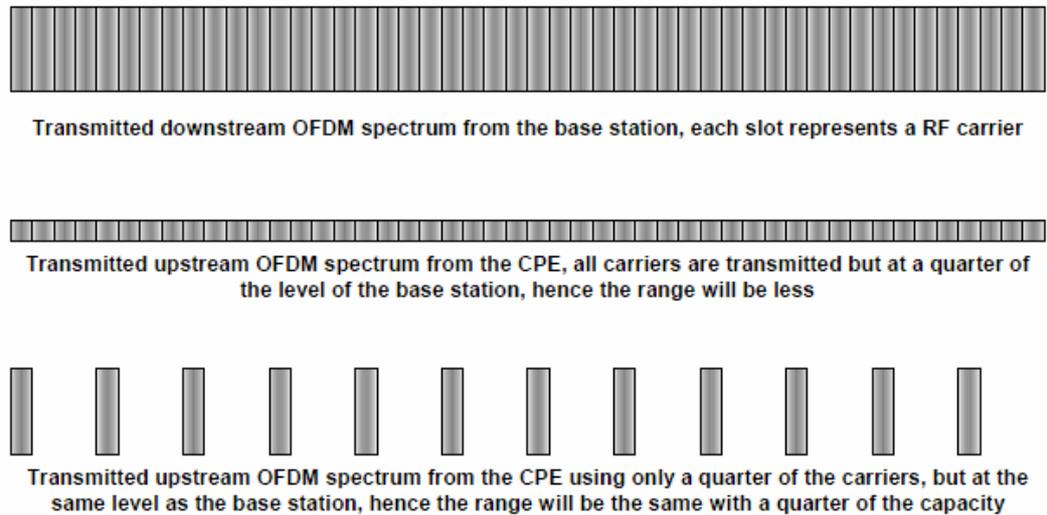
Próximamente: 45Mbps, 90Mbps, 155Mbps

4.5.3 Sub-canalización

La sub-canalización en el enlace ascendente es opcional en WiMax. Sin la sub-canalización, las restricciones regulatorias y la necesidad para un coste efectivo de los CPEs, causa que el enlace sea asimétrico, este provoca que el rango de sistema esté limitado en el enlace ascendente.

La sub-canalización permite que el enlace sea balanceado de tal forma que la ganancia del sistema es similar en ambos enlaces (ascendente y descendente). La sub-canalización concentra la transmisión de potencia en unas pocas portadoras OFDM, esta es la forma de incrementar la ganancia del sistema que puede ser usada para extender el alcance del sistema, superar las pérdidas de penetración, o reducir el consumo de potencia del CPE.

Figura 33. El efecto de la sub-canalización.



Fuente. WiMax forum. WiMax's technology for LOS and NLOS environments

4.5.4 Diversidad de transmisión y recepción

Los esquemas de diversidad son usados para obtener una ventaja de multi-trayecto y las reflexiones de la señal que ocurren en condiciones de NLOS. La diversidad es una característica opcional en WiMax. El algoritmo de diversidad ofrecido por WiMax en ambos sentidos, en el transmisor y en el receptor incrementa la disponibilidad del sistema.

La diversidad ha demostrado ser una herramienta efectiva para coadyuvar con los retos de la propagación de un sistema sin línea vista (NLOS). La opción de transmisión en diversidad en WiMax utiliza la codificación en espacios de tiempo para proporcionar una fuente de transmisión independiente, esto combate la interferencia. Para la diversidad en recepción, varias técnicas se combinan para mejorar la disponibilidad del sistema.

4.5.5 Antenas para aplicaciones inalámbricas fijas

Las antenas direccionales disminuyen el margen de desvanecimiento para obtener más ganancia, esto incrementa la disponibilidad del enlace. El retardo es además reducido por antenas direccionales en la Estación Base y en el CPE. El patrón de antena suprime cualquier señal de multi-trayectoria que llega en los lóbulos laterales y lóbulos traseros. La efectividad de estos métodos ha sido proveída y demostrada en desarrollos exitosos, en los cuales el servicio opera bajo un significativo desvanecimiento en enlaces sin línea vista.

Los sistemas de antenas adaptativos (AAS) son una parte opcional del estándar 802.16. Estos tienen propiedades de concentradores del haz que pueden orientar su reflector en una dirección particular. Esto significa que mientras se está reflejando, la señal puede estar limitada hacia el requerimiento de la dirección del receptor, como un haz de luz. Cuando está recibiendo, el AAS puede solo hacerlo en la dirección del reflector desde donde la señal deseada está llegando. Ellos también tienen la propiedad de suprimir la interferencia del canal adyacente de otros sitios.

Los sistemas de antenas adaptativos son consideradas para desarrollos futuros que podrían eventualmente mejorar la reutilización y la capacidad del espectro para una red WiMax.

4.5.5.1 Tecnología de antena múltiple en sistemas WiMax

Los sistemas ‘Adaptative Array Antena’ son una parte opcional del estándar 802.16. Estos sistemas representan la más avanzada tecnología de antenas inteligentes (Smart Antena) al día de hoy. Estos, tienen propiedades de ‘beamforming’ que permiten conducir el haz principal de la antena hacia una determinada localización. Esto significa que mientras están transmitiendo, la señal puede ser limitada a la dirección requerida por el receptor. Estos sistemas también tienen propiedades de supresión de la interferencia co-canal desde otras localizaciones con lo cual consiguen además mejorar la relación señal a ruido SNR.

El uso de estas antenas va ligado normalmente al empleo de la tecnología ‘MIMO’ (Multiple Input/Multiple Output). Esta tecnología presenta una serie de ventajas del procesado de diferentes señales espaciales. La principal es la diversidad de las antenas y el multiplexado espacial. Al usar varias antenas, MIMO ofrece la capacidad de recibir datos coherentemente desde varios caminos o rutas (multitrayecto), mediante antenas receptoras separadas espacialmente, esta información es procesada gracias al uso de DSP’s (digital signal processing) con elevadas capacidades de procesamiento.

En el downlink (enlace de bajada, de la estación base hacia el suscriptor) cuando múltiples señales son radiadas desde el arreglo de antenas, de tal forma que ellas forman un haz que va dirigido hacia el CPE, la amplitud y la fase de las señales de cada antena es ajustada de forma que se combinan coherentemente en el CPE.

En el uplink (enlace de subida, del suscriptor hacia la estación base), el CPE mandará la señal a la BS, se producirá un procesamiento espacio-tiempo donde la BS ajustará la ganancia y fase de cada antena para cuando la señal del CPE sea recibida. Así la combinación coherente y la supresión de la interferencia se llevan a cabo, ya que la señal deseada se combina coherentemente y el ruido es combinado incoherentemente. Produciendo por lo tanto una mejora de la SNR.

En orden para incrementar el rango y la confiabilidad de los sistemas WiMax, la norma IEEE 802.16.2004 apoya la técnica opcional de antena múltiple tal como sistemas de Antenas Adaptativas (AAS) y sistema de Múltiple Entrada – Múltiple Salida (MIMO).

Las expectativas del ancho de banda en sistemas inalámbricos para transportar altas velocidades de datos hacia multitudes de gente en varias localizaciones geográficas donde las transmisiones por medio de cable son muy costosas, inconvenientes, o indisponibles. WiMax es una tecnología entusiasta para hacer del ancho de banda inalámbrico comercialmente disponible para un mercado masivo empleando la recomendación IEEE 802.16.

Hay diferentes ventajas para usar tecnología de antenas múltiples sobre tecnología de antena simple:

Arreglo de Ganancia: Esto es la ganancia obtenida por utilizar múltiples antenas de modo que la señal agrega coherentemente.

Ganancia de Diversidad: Esto es la ganancia obtenida por utilizar trayectorias múltiples de modo que la probabilidad de que cualquiera de una de las trayectorias este mala no limitara el rendimiento. Efectivamente, la ganancia de diversidad refiere a la técnica en que el transmisor o el receptor logran múltiples “vistas” en el desvanecimiento de canal. Este esquema mejora el rendimiento por medio de incrementar la estabilidad la fuerza de la señal recibida en presencia de una señal inalámbrica desvanecida. La diversidad se puede aprovechar en las dimensiones de el espacio (antena), temporal (tiempo), o espectro (frecuencia).

Rechazo de Interferencia de canal adyacente (CCIR): Así es el rechazo de las señales, haciendo uso de la respuesta de interferencia de diferentes canales.

Las capacidades de alto desempeño y la baja interferencia de sistemas MIMO y AAS hacen de ellas técnicas atractivas sobre otras técnicas de altas velocidades para los Sistemas WiMax en costos de licencias de frecuencia.

4.5.6 Modulación adaptativa

Las técnicas de modulación Adaptativa de los sistemas WiMax permiten ajustar el esquema de modulación de la señal dependiendo de las condiciones de la relación señal ruido (SNR) que existen en el enlace de radio. Cuando el enlace de radio presenta una alta calidad, la más alta modulación es usada, dando al sistema la mayor capacidad. Durante un desvanecimiento de la señal, el sistema WiMax puede desplazar a la señal a un esquema de modulación menor para mantener la calidad y estabilidad del enlace. Esta característica permite al sistema superar los desvanecimientos selectivos en el tiempo.

La característica clave de la modulación Adaptativa es que incrementa el rango sobre el que un esquema de alta modulación puede ser usado, de esta forma el sistema puede ser flexible a condiciones de desvanecimiento, como caso opuesto se tiene un esquema fijo que es calculado para las de peores condiciones.

4.5.7 Técnicas de corrección de error

Las técnicas de corrección de errores han sido incorporadas a WiMax para reducir los requerimientos de señal ruido. El FEC (Strong Reed Solomon), la codificación convolutiva y otros algoritmos son usados para detectar y corregir errores, mejorando el throughput. Estas técnicas de corrección ayudan a recuperar tramas erróneas que pueden haber sido perdidas por desvanecimientos selectivos de frecuencia o ráfagas de errores. El ARQ (Automatic repeat request) es usado para corregir errores que no pueden ser corregidos por el FEC. Esto mejora significativamente el BER para similares niveles umbrales.

4.5.8 Control de potencia

Los algoritmos de control de potencia son usados para mejorar el rendimiento del sistema, estos son implementados por la estación base, la cual manda información sobre el control de potencia a cada CPE para que regule su nivel de potencia de transmisión, de forma que el nivel recibido en la estación base sea un nivel predeterminado.

En ambientes con cambios dinámicos por desvanecimiento este nivel predeterminado significa que el CPE sólo puede transmitir suficiente potencia para llegar a este requerimiento. Lo opuesto sería que el CPE transmitiese el nivel basándose en las condiciones peores.

El control de potencia reduce sobre todo el consumo de potencia del CPE y la potencia por interferencia con otras estaciones base co-localizadas. Para LOS la potencia transmitida por el CPE es aproximadamente proporcional a la distancia a la estación base. Para NLOS esto depende altamente del nivel de obstaculización existente.

4.6 Enlaces WiMax en banda exenta de licencia

En la mayoría de los mercados, el espectro que no requiere licencia y que podría emplearse para WiMax es 2.4GHz y 5.8GHz. Debido a que el espectro no requiere licencia, la barrera para ingresar es baja, por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando el espectro. En algunos casos, esto puede ser ventajoso por razones obvias. Desafortunadamente, también existen varias desventajas.

Hay cuatro desventajas principales relacionadas con el uso del espectro que no requiere licencia.

Interferencias: debido a que el espectro que no requiere licencia puede ser utilizado por varios sistemas diferentes de RF, hay altas probabilidades de que ocurran interferencias. Los sistemas de RF que no requieren licencia pueden incluir desde las redes rivales de WiMax o los puntos de acceso de Wi-Fi. Los teléfonos inalámbricos y Bluetooth (sólo 2.4GHz) también usan este espectro. Tanto WiMax como Wi-Fi soportan la DFS (Dynamic Frequency Selection - Selección Dinámica de Frecuencia) que permite que se utilice un nuevo canal si fuera necesario (por ejemplo, cuando se detectan interferencias). No obstante, DFS también puede introducir una mayor latencia que, a su vez, afecta las aplicaciones en tiempo real como VoIP.

Mayor competencia: Los operadores que utilizan el espectro que no requiere licencia tienen que asumir que otro operador fácilmente podría ingresar en el mercado empleando el mismo espectro. En gran medida, el número relativamente alto de puntos de acceso públicos Wi-Fi se debe a este hecho. No obstante, los gastos de capital relacionados con la instalación de un punto de acceso Wi-Fi de carácter comercial son relativamente triviales (cientos de dólares, cuanto mucho) en comparación con el costo relacionado con desplegar una red WiMax, que podría ser equivalente al costo de desplegar una red celular.

Potencia limitada: Otra desventaja del espectro que no requiere licencia es que los entes reguladores del gobierno por lo general limitan la cantidad de potencia que puede transmitirse.

Disponibilidad: Mientras el espectro de 2.4GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8GHz no se encuentra disponible en varios países.

Dadas estas desventajas, los operadores evaluarán cuidadosamente el uso potencial del espectro que no requiere licencia, en particular 2.4GHz, antes de instalar una red. Hay excepciones, entre las que se incluyen las regiones rurales o remotas, donde hay menos probabilidades de interferencia y competencia.

4.7 Enlaces WiMax en la banda que necesita licencia

El espectro que requiere licencia tiene un precio potencialmente alto, pero bien lo vale, en especial cuando la oferta del servicio requiere una alta calidad de servicio. La mayor ventaja de tener el espectro que requiere licencia es que el licenciataria tiene uso exclusivo del espectro, está protegido de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen o tienen un alquiler del espectro.

El espectro que requiere licencia se encuentra en 700MHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz; de éstas, las últimas dos bandas de frecuencia son las que en la actualidad reciben mayor atención.

2.5GHz

La banda del espectro 2.5GHz es más interesante ya que está disponible para uso terrestre en América del Norte, América Latina. Si este escenario tuviera lugar, el licenciataria de la 2.5GHz aún tendría que decidir usar el espectro para WiMax y no para su oferta de servicio celular 3G.

3.5GHz

La banda de frecuencia 3.5GHz en la actualidad está disponible en casi todos los países, con excepción de los Estados Unidos. Además de los desafíos de propagación RF inherentes a esta banda muchas licencias europeas restringen la manera en que se puede usar el espectro. El Foro WiMax en la actualidad está solicitando a los entes reguladores que modifiquen esta política. Además, en algunas regiones del mundo como el Japón y Corea, se están usando porciones del espectro para ofrecer servicios satelitales.

700MHz

En este momento, no hay un perfil WiMax para el espectro 700MHz, sin embargo, al menos hay cierto interés dentro de la comunidad de WiMax de introducir WiMax en esta banda de frecuencia.

La banda del espectro 700MHz es muy utilizada en muchas regiones del mundo, entre ellas América del Norte y la mayor parte de Europa. En la actualidad, este espectro está siendo utilizado por emisoras análogas de TV lo que significa que la capacidad de desplegar WiMax o cualquier otra tecnología inalámbrica en esta banda del espectro está limitada debido a las preocupaciones acerca de la posibilidad de que haya interferencias entre los servicios.

Es una banda del espectro muy atractiva en regiones remotas debido a las condiciones de propagación favorables que existen en esta frecuencia más baja (cuanto más baja es la frecuencia, más lejos se puede propagar la señal, si las demás condiciones son las mismas).

2.3GHz

El empleo de la banda del espectro 2.3GHz está muy limitado en este momento a ciertas aplicaciones, no es atractivo para WiMax, en especial porque el uso en los canales adyacentes limita el ancho de banda disponible.

Tabla VI. Comparativa entre bandas licenciada y banda no licenciada.

BANDA LICENCIADA	BANDA NO LICENCIADA
2.5 Ghz (2.5 a 2.69 Ghz) / 3.5 Ghz (3.3 a 3.8 Ghz)	5Ghz (5.5 a 5.85 Ghz)
Proporciona control sobre el uso del espectro y de las interferencias Mas barreras administrativas por la compra del espectro	Se regulan en términos de control de potencia de salida de transmisión
Mejoras en calidad de servicio Menor numero de interferencias Mejora en la recepción sin visibilidad directa	Menor tiempo de despliegue de la solución Bajo coste inicial
Sistema de modulación: OFDM con 256 subportadoras Mecanismo de acceso múltiple: OFDMA	Sistema de modulación: OFDM con 256 subportadoras Mecanismo de acceso múltiple: OFDMA
Frequency Division Duplexing (FDD): Utiliza un par de canales (uplink/downlink) Proporciona tecnología para voz Diseñado para trafico simétrico	Frequency Division Duplexing (FDD): Utiliza un único canal (uplink/downlink) No puede transmitir y recibir a la vez Diseñado para trafico Asimétrico
Permite cubrir grandes distancias en aplicaciones punto multipunto Proporciona servicios móviles de banda ancha	Soluciones punto a punto Soluciones punto multipunto para zonas rurales

Fuente. INTEL Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions

Ambas soluciones WiMax con licencia y libre de licencia son soluciones basadas en el standard IEEE 802.16-2004, el cual utiliza multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) en la capa física (PHY). OFDM proporciona el beneficio de incrementar la relación señal a ruido (SNR) de la estación del suscriptor.

Duplexación se refiere al proceso de crear canales bidireccionales para enlaces de transmisión de datos de subida y enlace de bajada. La duplexación por división de tiempo (TDD) y duplexación por división de frecuencia (FDD) ambos son utilizados por la norma 802.16-2004. Los enlaces que trabajan en la banda que necesita licencia usan duplexación por división de frecuencia (FDD) mientras los enlaces exentos de licencia utilizan duplexación por división de tiempo (TDD).

FDD requiere dos pares de canales que están separados para minimizar la interferencia, uno para la transmisión y uno para la recepción. La mayoría de las bandas de FDD se asigna para voz porque la arquitectura bidireccional de FDD permite manejar la voz con los retrasos mínimos. FDD, sin embargo, agrega los componentes adicionales al sistema y por consiguiente aumenta los costos.

TDD es útil en ambientes donde los pares de canales no están disponibles por restricciones de regulación, o donde enlaces exentos de licencia son usados. TDD emplea un solo canal para ambos enlaces, de subida y de bajada. Un sistema TDD puede asignar dinámicamente el ancho de banda del enlace, tanto de subida como de bajada, dependiendo de la cantidad de tráfico.

Un sistema TDD opera primero transmitiendo en el enlace de bajada desde la estación base a la estación del suscriptor. Después de un corto periodo de guarda, típicamente 1 milisegundo, la estación del suscriptor empieza a transmitir a la misma frecuencia en la dirección de subida.

4.8 Problemas en cuanto a interferencia y QoS

La interferencia es el corte o degradación de una señal transmitida por potencia extraña o indeseada de RF. La interferencia impide la habilidad de un receptor de RF de distinguir entre la señal transmitida y la potencia de RF de fondo que existe en un punto específico en tiempo.

Las causas de potencia indeseada de RF pueden ser:

Ruido

Fuentes de energía de RF que no están en el mismo espectro de RF pero todavía afectan al receptor de RF debido a armónicas en bandas o canales de frecuencia de RF adyacente. Un sistema del teléfono celular, por ejemplo, puede generar este tipo de ruido.

El espectro directo solapado por fuentes no identificadas

Fuentes de potencia de RF que están en el mismo espectro de RF pero no pueden ser identificadas por el receptor de RF porque ellos usan un protocolo de RF diferente o esquema de codificación/modulación.

El espectro directo solapado por fuentes identificadas

Fuentes de energía de RF que están en el mismo espectro de RF y pueden ser identificadas por el receptor de RF porque utilizan el mismo protocolo y los mismos esquemas de codificación/modulación del receptor de RF.

La potencia indeseada de RF puede evitarse a través de:

Amplificadores de Potencia y tecnologías de la antena

Implementando sectorización y polarización de la antena para ayudar a minimizar los efectos de interferencia de fuentes de energía de RF a una distancia del receptor (efectos del campo lejano). Controlando la dirección de la antena y potencia pueden ayudar mitigar la interferencia pero puede aumentar costos. La canalización de OFDM controla el ruido.

Filtrando

Implementando filtros pasa-banda para minimizar los efectos de fuentes de energía RF que están fuera del espectro de operación del receptor o dentro de un canal específico del espectro operado (ambos, efecto del campo local y lejano).

CONCLUSIONES

1. Existe un muy rico espectro de tecnologías de acceso que pueden aplicarse para superar las limitaciones de la última milla, en una red que se encarga de servir a usuarios finales. Saber cuál de estas tecnologías utilizar y dónde implementarlas es el punto crítico para el éxito del negocio de un proveedor de servicios. Consecuentemente, las compañías de telecomunicaciones desarrollaron la tecnología xDSL, la cual transforma las líneas telefónicas ordinarias en líneas digitales de alta velocidad para servicios de Internet. Las compañías de Cable han realizado del mismo modo un gran trabajo, tratando de aprovechar su infraestructura para proveer a sus clientes con una variedad de servicios de banda ancha. La nueva era de TV digital, posiciona a estos proveedores de servicios en una oportunidad inmejorable para la distribución de nuevos servicios. Los operadores Wireless también están buscando el modo de utilizar las tecnologías existentes (WLL, MMDS, LMDS, WiMax, etc.) para entregar anchos de banda importante a las casas de los usuarios.
2. La versión fija del estándar WiMax, 802.16-2004, aborda una necesidad particular del mercado, que es la disponibilidad de una solución de bajo costo basada en los estándares que pueda brindar acceso de banda ancha y de voz básicos en regiones del mundo donde la economía de un servicio de línea alamburada fijo no tiene sentido. Además, el estándar fijo puede servir para impulsar la implementación de puntos de acceso de Wi-Fi mientras que, a la vez, reduce los costos de operación y mejora la experiencia del usuario a través de velocidades de datos más altas.

3. La tecnología WiMax puede proveer cobertura en ambos sistemas tanto de línea vista como en sistema sin línea vista. El sistema sin línea vista tiene ventajas de implementación que permiten al Operador llevar banda ancha en datos a una amplia gama de clientes
4. La tecnología WiMax representa una oportunidad creciente para los proveedores de servicio y para los proveedores de chipsets que operan en las bandas con licencia y las exentas de licencia. Este trabajo se ha concentrado en diversos problemas específicos relacionados con las instalaciones exentas de licencia.
5. Los principales beneficios de WiMax son: construir con QoS, el apoyo de antenas inteligentes, basado en estándares, modulación OFDM, puede trabajar en ambientes con línea sin visión directa.

RECOMENDACIONES

1. Verificar todos los parámetros necesarios antes de la instalación del enlace WiMax LOS, incluir en este paso la instalación de la antena a modo de lograr la máxima calidad del enlace.
2. Verificar que cables, conexiones y equipos estén debidamente aterrizados, verificar fuentes de alimentación, integridad de cables y ductos, alineación de antenas.
3. Utilizar un diseño de red correcto que incluya inspección de sitios y soluciones especializadas de antena, para ofrecer Contratos de Nivel de Servicio (SLAs) para mercados especializados.
4. El proveedor de servicio debe asegurarse de:
tener acceso al sitio 24 horas por día, los 7 días de la semana, que el edificio o instalaciones no tengan material físico que no sea amigable con RF y de que la infraestructura ofrezca protección contra las inclemencias del tiempo, como viento y rayos.
5. Capacitar, periódicamente, al personal que dará servicio al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. Taub, Herbert y Donald L Schilling. Principles of communication systems. Segunda edición. 1986 Singapore
2. IEEE. "Recommended Practice for Local and Metropolitan Area Networks Coexistence of Fixed Broadband". IEEE Std 802.16. 2004. USA 12 Mayo2004.
3. Manual del radioaficionado moderno, PUBLICACIONES MARCOMBO
4. RADMANESH MATTHEW. Radio frequency and microwave electronics illustrated,
5. IEEE . "802.16 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks," 2004, pp.
6. Muñoz, David. Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal. México: Alfaomega, 2001
7. WiMAX forum
www.wimaxforum.org/home
8. IEEE 802.16 Working Group
www.wirelessman.org/
9. Canarias Wireless, Comunidad Inalámbrica de las Islas Canarias
www.canariaswireless.net/
10. "IEEE 802.16* and WiMAX", whitepaper de Intel
www.intel.com/ebusiness/pdf/wireless/intel/80216_wimax.pdf
11. wikipedia.org/wiki/WiMax
12. IEEE 802.16 Backgrounder, May 24, 2002
ieee802.org/16/pub/backgrounder.html
13. NetworkDictionary.com: IEEE 802.16: Broadband Wireless MAN Standard (WiMAX)
www.networkdictionary.com/protocols/80216.php

14. WiMAX Forum™.
www.wimaxforum.org
Page 2 of 24 Business Case Models for Fixed Broadband Wireless
Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard
October 10, 2004
15. www.unstrung.com/
16. IEEE 802.16.3c-01/29r4, "Channel Models for Fixed Wireless Applications,"
www.ieee802.org/16.
17. Intel Corp., IEEE 802.16* and WiMAX: Broadband Wireless Access for
Everyone, 2003.
www.intel.com/ebusiness/pdf/wireless/intel/80216_wimax.pdf
18. WiMAX Forum, WiMAX's Technical Advantage for Coverage in LOS and
NLOS Conditions,
www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf
19. www.intel.com/sites/corporate/tradmarx.htm
Intel Technology Journal, Volume 8, Issue 3, 2004
20. How DSL Works , How WiMAX Works
by Edward Grabianowski and Marshall Brain
www.unstrung.com/document.asp?
21. IEEE 802.16 Working Group
wirelessman.org/
22. "IEEE 802.16* and WiMAX", whitepaper de Intel
www.intel.com/ebusiness/pdf/wireless/intel/80216_wimax.pdf
23. Ya está aquí WiMax, el futuro inalámbrico. *Carlos Burgos* - Noticias
www.noticias.com. - 30/08/2004

APÉNDICE A

A.1 Introducción

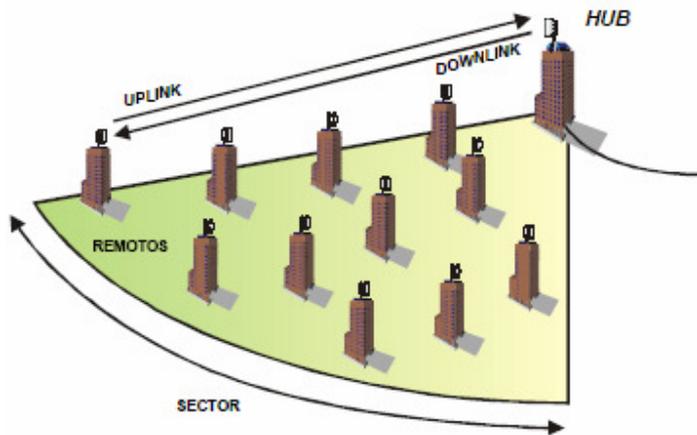
En el presente apéndice se introduce y discute conceptos relacionados con la administración del enlace aéreo utilizado en radio sistemas punto-a-multipunto (PMP) para acceso inalámbrico en banda ancha (BWA – Broadband Wireless Access). Se examina las técnicas de administración de enlace aéreo de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA – Frequency Division Múltiple Access), duplexación por división de frecuencia (FDD - Frequency División Duplexing), y duplexación por división de tiempo (TDD - Time Division Duplexing), incluyendo su utilización subyacente del acceso múltiple por división de tiempo (TDMA - Time Division Múltiple Access).

A.2 Antecedentes

Los sistemas PMP utilizan un número de tecnologías de avanzada con el fin de que sus aplicaciones sean sencillas, confiables, efectivas y competitivas.

Un elemento importante es la forma en que se administrará el enlace aéreo. En un sistema PMP, la administración del enlace aéreo es el método por medio del cual el espectro radial se pone a disposición de los usuarios. Los diversos enfoques tienen diversos efectos sobre el operador del sistema.

Figura 34. Definiciones de componentes para un enlace aéreo en sistemas punto-multipunto



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

La Figura 34 presenta los términos más comúnmente usados y sus correspondientes definiciones, incluyendo:

- Hub: el bloque de construcción de un sistema PMP es el hub, el punto central dentro de un área de cubrimiento de radio. Todo el tráfico PMP fluye a través de hubs.
- Remotos o terminales de suscriptor: los hubs se comunican con terminales remotos, los cuales están ubicados en la localidad del cliente. El enlace aéreo existe entre los hubs y los remotos.
- Downlink y uplink: las comunicaciones desde el hub a los remotos se presentan en el downlink. El uplink representa comunicaciones en la dirección contraria.

- Canal (no mostrado): el ancho de banda global de radio está dividido en unidades llamadas canales. Un canal es el volumen de ancho de banda con una asignación conocida de frecuencia, administrado como una corriente individual de información.
- Sector: para concentrar la potencia y aumentar la cobertura, el área de 360° del hub se divide en sectores. Los sectores PMP típicamente se encuentran dentro de los 22.5° y los 90°.

A.3 Acceso múltiple por división de frecuencia – FDMA

El FDMA es un sistema fijo de asignación de espectro que se basa en principios de multiplexación de división de frecuencia (FDM – Frequency Division Multiplexing). Aunque todos los enfoques de administración del enlace aéreo subdividen el espectro disponible en canales fijos de frecuencia, la premisa fundamental de un sistema FDMA es que cada canal está asignado y dedicado a un suscriptor único o a una unidad de sitio remoto única dentro de un sector PMP como puede verse en la figura 35. Cada canal se utiliza para transmisión en un solo sentido.

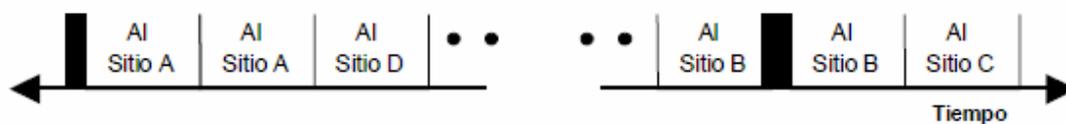
Figura 35. Asignación de canales Uplink en un sistema FDMA



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

Los sistemas PMP descritos como FDMA utilizan FDMA para el uplink, y multiplexación por división de tiempo (TDM) sobre el downlink. Con el hub utilizando TDM sobre el downlink, el canal se divide en divisiones de tiempo. Las divisiones de tiempo pueden direccionarse flexiblemente a cualquier destinatario, como se muestra en la Figura 36.

Figura 36. TDM con el hub controlando el canal



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

La utilización dedicada del canal es uno de los principales inconvenientes de un sistema FDMA. Siendo una asignación fija, ningún otro usuario tendrá acceso al canal, aun si cuenta con la capacidad necesaria. Los sistemas PMP FDMA también resultan en un gran número de enlaces radiales o canales. Esto hace que la planeación de frecuencias y la administración de la capacidad sean mucho más difíciles, y que la falta de flexibilidad general para añadir/eliminar/modificar suscriptores limite la eficiencia de la administración de cambios.

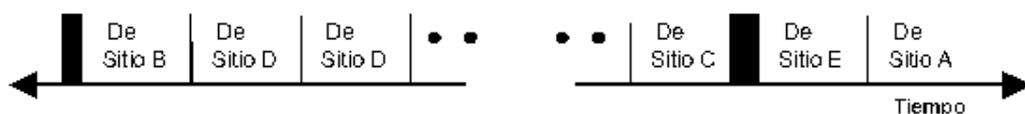
En gran parte debido a su ineficiente utilización del espectro, a aspectos complejos de planeación de frecuencia y de administración de capacidad, y a la falta de flexibilidad en la administración de cambios, los sistemas FDMA se consideran insatisfactorios para aplicaciones PMP.

A.4 Acceso múltiple por división de tiempo – TDMA

El TDMA se desarrolló originalmente en los años 60 para sistemas de comunicación satelital. Es un método utilizado para administrar la asignación de recursos de un receptor único (o canal de recepción) entre transmisores múltiples (o remotos en PMP).

El principio del TDMA es que la totalidad del canal estará disponible para todos los suscriptores, pero su control o asignación momentánea se rige por sus necesidades individuales. La asignación de canales se hace en el tiempo, siendo la división de tiempo (timeslot) interna fija la unidad básica de asignación. Por tanto, sitios múltiples transmiten sobre el canal en los momentos designados para sus divisiones de tiempo asignadas, según se muestra de la Figura 37. La captura, el control/transmisión, y la liberación del canal deben ocurrir continuamente y a través de sitios múltiples, con un alto grado de precisión.

Figura 37. TDMA con sitios alternantes que controlan y transmiten sobre el canal



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

Los aspectos que pueden mencionarse o inferirse en relación con la utilización de TDMA en sistemas PMP incluyen los siguientes:

- Debido a que el recurso se asigna como divisiones de tiempo, el hub y las unidades de suscriptor en un sistema PMP sobre la misma portadora y en el mismo sector deben ser capaces de establecer y mantener sincronización.
- La sincronización debe responder por retardos de propagación, ya que dos transmisiones nunca podrán sobreponerse en la unidad receptora (el hub en FDD, o el hub o el suscriptor en TDD).
- El control del sistema se hace desde el hub.
- Las unidades remotas deberán contar con un medio para transmitir sus requerimientos al hub.
- Una unidad remota deberá ser capaz de filtrar el tráfico de otras unidades remotas.
- La administración TDMA añade overhead (carga) de canal, el cual afecta la capacidad de trabajo.

El verdadero valor de TDMA es su capacidad de asignar dinámicamente recursos según sea necesario, la cual es una característica frecuentemente llamada asignación dinámica de ancho de banda (DBA - Dynamic Bandwidth Allocation). Por tanto, el recurso del canal de frecuencia (el cual se divide en tiempo) es utilizado muy eficientemente por la población de suscriptores. Esta capacidad, no obstante, viene acompañada de una mayor complejidad del sistema.

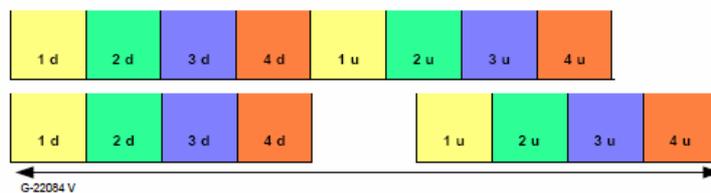
A.5 Duplexación por división de frecuencia – FDD

Los esquemas de duplexación ofrecen una forma para administrar los flujos de tráfico upstream y downstream. En FDD, estos flujos ocurren sobre dos canales de frecuencia, el uplink y el downlink.

Se utiliza TDMA para asignación de recursos sobre el uplink. En PMP, solamente debe utilizarse TDM sobre el downlink. En este modo, TDM es altamente eficiente y, allí donde puede utilizarse, ofrece toda la flexibilidad y los beneficios de la asignación dinámica de ancho de banda, con muy poca de la complejidad del TDMA. Muchos sistemas satelitales y de radio utilizan variaciones de FDD.

En sistemas FDD, los canales se dividen entre uplinks y downlinks. Éstos se acoplan en pares, cada uno de los cuales tiene la misma separación de frecuencia. La Figura 38 muestra este arreglo de asignaciones de frecuencias contiguas y no-contiguas.

Figura 38. Plan de frecuencias PMP FDD para asignaciones de espectro contiguas (arriba) y no contiguas (abajo).



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

Utilizando el Canal 1 en la figura como un ejemplo, el hub transmite a sus remotos sobre el Canal 1d utilizando TDM. Todos los remotos en el sector filtran el tráfico destinado a ellos. Todos los remotos transmiten sobre el Canal 1u utilizando TDMA, pero lo hacen según sus divisiones de tiempo asignadas, según vimos anteriormente. Las asignaciones de divisiones de tiempo varían de acuerdo con las necesidades momentáneas de cada sitio remoto.

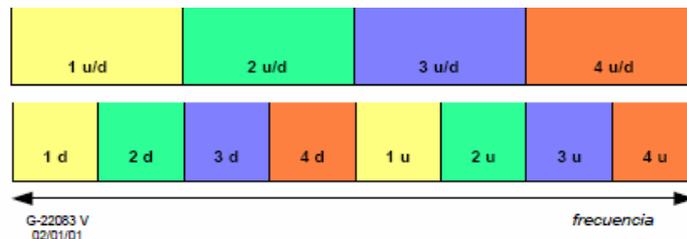
En un sistema FDD, la asignación de recursos sobre el uplink y el downlink es independiente. Por ejemplo, durante el mismo período de tiempo, la asignación instantánea para un sitio específico podría ser del 75% del ancho de banda del uplink (esto es, divisiones de tiempo), mientras que en el downlink podría ser de tan sólo el 10%. Adicionalmente, los pares de canales FDD son independientes. Por ejemplo, el par 1 de canales (1d y 1u) es independiente del par 2 de canales en términos de asignaciones y sincronización de divisiones de tiempo TDMA o TDM.

A.6 Duplexación por división de tiempo – TDD

En TDD, el tráfico uplink y downlink se transmite sobre el mismo canal. Aquí, utilizando TDMA, los recursos de canal se asignan entre todas las unidades remotas y el hub, en ambas direcciones. Los sistemas TDD se han venido utilizando durante muchos años.

La misma asignación de espectro discutida anteriormente para FDD se muestra en la Figura 39, pero incluye un plan de canales para TDD. Nótese que el valor total de ancho de banda consumida entre TDD y FDD es el mismo.

Figura 39. Plan de frecuencias PMP TDD (superior), con el plan FDD correspondiente



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

De igual forma que FDD, TDD puede asignar recursos en forma flexible para responder a las necesidades en dos direcciones.

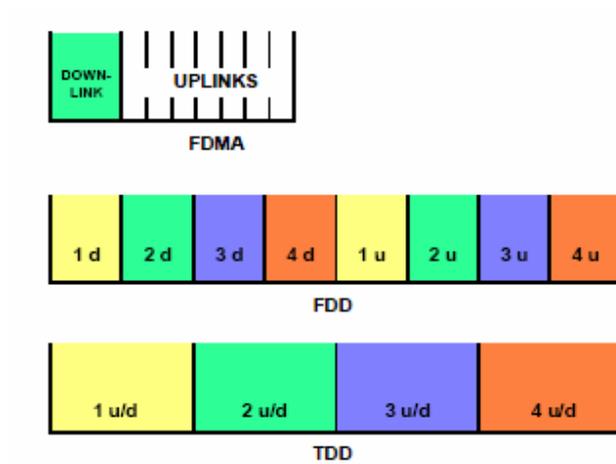
A.7 Comparación de enfoques de administración de enlace aéreo en sistemas PMP

Habiendo ya introducido a FDMA, FDD y TDD según habrán de utilizarse en sistemas PMP, haremos ahora una comparación de los tres enfoques.

Comparación esquemática

La Figura 40 es una comparación esquemática de planes de canales para los tres enfoques. En todos los casos, el downlink se transmite a las unidades remotas en el sector. Como se indicó anteriormente, los sectores en los sistemas PMP tienen un rango típico de entre 22.5° y 90°.

Figura 40. Planes de canal para sistemas PMP FDMA, FDD y TDD

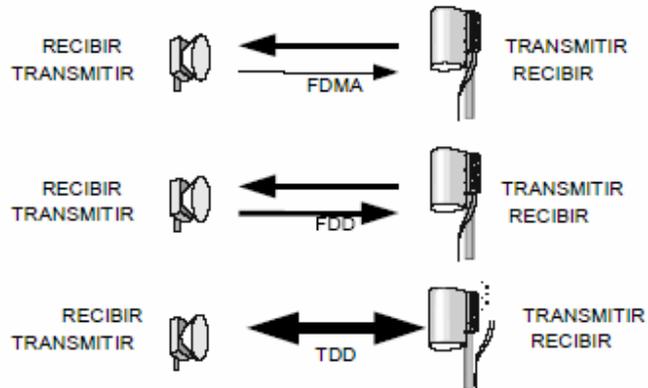


Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

En FDMA cada canal uplink tiene un ancho de banda fijo y está dedicado a una localidad remota única. El downlink FDMA utiliza TDM, siendo transmitido desde el hub y recibido por todos los sitios remotos en el sector.

En FDD, el downlink también es transmitido desde el hub a los remotos en modo TDM.

Figura 41. Esquema de transmisión entre el hub (derecha) y el remoto (izquierda)



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

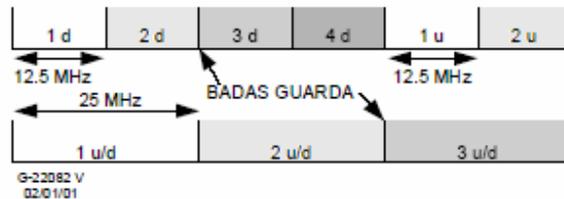
La Figura 41 contiene un esquema de los canales operando para los tres enfoques. En FDMA y FDD se utilizan frecuencias separadas de transmisión y recepción en el uplink y en el downlink. Las dos frecuencias son fácilmente separadas en la antena misma por un duplexador sencillo. Con TDD, el hub y el remoto comparten un mismo canal en el tiempo. No se requiere de separación de frecuencia; en su lugar, existe una separación en el tiempo. Las funciones de transmisión y de recepción deben ser encendidas y apagadas en forma activa. El costo de hacer esto es aproximadamente el mismo que para un duplexador.

Canales de guarda y tiempo de guarda

En cualquier sistema de radio en el cual el espectro se divida en canales, existen límites entre canales adyacentes. Estos límites se llaman "canales de guarda" (guard bands); la Figura 42 muestra ejemplos para un sistema FDD y para un sistema TDD.

Estos sistemas se muestran como teniendo definiciones totales de ancho de banda similares por canal dúplex (los sistemas FDMA también tienen canales de guarda).

Figura 42. Canales de guarda y anchos de banda de canal para sistemas FDD (arriba) y TDD (abajo).



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

La importancia de los canales de guarda no es que simplemente existan, como lo hacen por definición, sino la forma estrecha en que puede espaciarse la energía de espectro entre canales adyacentes antes de presentarse interferencia entre canales. El espaciamiento es una función de diversos factores, incluyendo el espectro de canales generado en el módem, la precisión de los diversos filtros, la estabilidad de fase en las etapas de conversión, y la linealidad de los amplificadores. Estos factores juegan un papel importante en todos los sistemas PMP, y especialmente en todos los sistemas de radio.

La figura 43 presenta dos sistemas con diferentes canales de guarda. Si el ancho de banda de la energía espectral principal es la misma en ambos casos, entonces el sistema de la izquierda, con el canal de guarda más estrecho, tendría un menor espaciamiento de canal que el de la derecha, todo demás siendo igual. En la práctica, el espaciamiento de canal podría ser el mismo (el espectro de la derecha tendría que acercarse hacia el otro) pero el sistema de la izquierda, con el canal de guarda más estrecho, tendría un mayor rendimiento debido a que tendría una menor interferencia de canal adyacente.

Figura 43. Canales de guarda estrechos y amplios, el sistema con el canal de guarda mas estrecho tendrá un mayor rendimiento.



Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach

El tiempo de guarda es una penalización inherente en TDMA. Es el espaciamiento en el tiempo entre impulsos TDMA, y representa un colchón para permitir imperfecciones inherentes en características tales como sincronización, retardos de propagación y tiempo de adquisición de señal. Debido a que utiliza TDM, el tiempo de guarda es virtualmente inexistente en el downlink de sistemas FDMA y FDD. No obstante, trae consigo una penalización sobre el extremo uplink TDMA de sistemas FDD. Es en los sistemas TDD en donde el tiempo de guarda se torna importante.

En TDD, debe concederse un tiempo adicional para permitir el cambio entre modo transmisión y modo recepción, llamado tiempo de rotación de canal. El tiempo de rotación tiene dos componentes:

El primero es el cambio actual entre las funciones de transmisión y de recepción. Esto ocurre rápidamente, no obstante, en relación con el segundo componente, que representa el retardo de propagación. La penalización resultante del retardo de propagación en sistemas TDD se presenta debido a que los sitios deben siempre responder por el retardo cuando están transmitiendo, pero enfrentan la paradoja de que nunca pueden transmitir y recibir simultáneamente.

Tener que transmitir "por adelantado" pero recibir "retrasadamente" es un impedimento que sólo puede obviarse añadiendo un colchón adicional de tiempo, que representa una penalización sobre la capacidad del sistema y la eficiencia espectral.

Eficiencia espectral

La eficiencia espectral es una medida de la capacidad general de carga a través del espectro asignado. Se ve afectada por factores tales como el canal de guarda, el tiempo guarda, la carga de administración de enlace, y los bits de codificación. Una comparación de la eficiencia espectral debe asumir que los factores de enlace, tales como el ancho de banda de canal, la modulación, la potencia de transmisión, y la ganancia de antena, son constantes. Esto último es una buena suposición al comparar sistemas PMP FDD y TDD.

Sin la carga asociada con el TDMA, y si los patrones de tráfico del sitio de alguna forma corresponden adecuadamente a las asignaciones de canal, un sistema PMP FDMA podría tener una muy buena eficiencia. No obstante, debido a que tales correspondencias no ocurren en la práctica, y ya que no existe participación de canales entre unidades remotas, los sistemas FDMA tienen una baja eficiencia espectral. Esta es la principal razón por la cual la industria se ha alejado de los sistemas PMP FDMA.

Debido a que el perfil de tráfico es un factor práctico relacionado con la eficiencia, el tráfico altamente asimétrico manejado sobre un canal muy estrecho sería una ventaja para TDD. El tráfico comercial, no obstante, es altamente simétrico, especialmente cuando se promedia en varios sitios como ocurre con sistemas PMP.

Rango de operación y cobertura

Dicho simplemente, dentro del contexto de la comparación (por ejemplo, el mismo ancho de banda de canal, modulación, potencia de transmisión, ganancias de antena, sensibilidades de recepción y cifras de ruido, y disponibilidad del sistema) un sistema PMP FDD ofrecerá aproximadamente una ventaja en rango de operación del 12% sobre un sistema TDD.

La razón de la ventaja del FDD es clara: debido a que se utiliza el mismo canal para uplink y para downlink, los módems TDD deben operar al doble de la velocidad de símbolo (por tanto al doble del ancho de banda) de los módems FDD para alcanzar el mismo rendimiento. Esto no solamente significa un aumento de costos en el módem TDD sino que el hecho de duplicar la velocidad de símbolos disminuye la energía por bit a la mitad (una reducción de 3 dB).

Planeación y reutilización de frecuencias

La planeación de frecuencias es una de las más importantes consideraciones en la implementación de redes inalámbrica PMP. El espectro es un recurso valioso que debe administrarse para máxima reutilización dentro del área de operaciones. La reutilización de frecuencias, en particular, es función de diversos factores, incluyendo calidad del módem, agudeza de filtros, agudeza de antena, y controles de potencia dinámica. Estos factores son más función del diseño y ejecución del fabricante que del enfoque de la administración del enlace aéreo. No obstante, existe otro factor importante, la interferencia, en el cual la diferencia entre FDD y TDD es importante y favorece grandemente a FDD.

Adicionalmente, los sistemas TDD pagan un precio en reutilización de frecuencias restringida o por interferencia, lo cual se traduce en "zonas muertas" y en grandes dificultades para la planeación de frecuencias y de operaciones, y para la coordinación.

A pesar de que un sistema TDD adecuadamente diseñado puede presentar ventajas en ambientes de flujo de tráfico altamente asimétrico, el tráfico comercial es altamente simétrico, especialmente cuando se promedia sobre varios sitios, como ocurre en sistemas PMP. Esta situación favorece a FDD, el cual también tiene importantes ventajas sobre TDD en prácticamente todas las categorías que afectan a los operadores.

Tabla VII. Resumen comparativo de FDD y TDD

Índice de comparación	FDD	TDD
Canal de guarda. Limite o espaciamento de frecuencias entre canales, alguna perdida de espectro	Presente en sistemas FDD. Los canales de guarda muy estrechos permiten aun a canales adyacentes operar en el mismo sector.	Presente en sistemas TDD. Con canales más amplios, los sistemas DDT tienen un menor número de canales de guarda. Los anchos de banda dependen del diseño y de la implementación.
Tiempo de guarda. Alguna perdida de capacidad debido al margen de tiempo requerido entre ranuras TDMA	Utiliza TDMA para administración de canales. El tiempo de guarda es un aspecto menos importante en el downlink no compartido.	Tiempo de guarda inherente debido a la utilización de TDMA. La pérdida de capacidad del tiempo de guarda es más severa en TDD debido al tiempo de rotación de canales.

CONTINUACIÓN Tabla VII

Eficiencia espectral. Todos los temas factores siendo iguales, la capacidad neta de carga a través del espectro asignado.	Menores tiempos de guarda y otros factores brindan una excelente eficiencia.	Los mayores tiempos de guarda y otros factores limitan la eficiencia espectral comparado con sistemas FDD.
Rango de operación/cobertura	Todos los demás factores siendo iguales, los sistemas FDD tienen una ventaja del 12% en rango y del 25% en cobertura sobre TDD.	Todos los demás factores siendo iguales, los sistemas TDD tienen una penalización de 3 dB debido a la mayor velocidad símbolos sobre el canal.
Penalización y reutilización de frecuencias. Dependen del diseño y de la ejecución de producto por parte del fabricante.	Debido a la separación de frecuencias en el uplink y en el downlink, los sistemas FDD ofrecen inherentemente la mejor protección contra interferencia.	Los sistemas TDD son más susceptibles a interferencias, y resultan en una pobre reutilización de frecuencias. La sincronización del sistema mejora el rendimiento, pero limita la flexibilidad.

Fuente. Administración de enlace aéreo en sistemas punto-a-multipunto AIReach