



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA WIMAX PARA EL LABORATORIO
DE REDES Y SEGURIDAD

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN COMPUTACIÓN

PRESENTA:

BARBARA MARÍA ELENA DÍAZ MANJARREZ

DIRECTOR DE TESIS: M.C. CINTIA QUEZADA REYES

MEXICO, D.F. MAYO DEL 2008.

“CARPE DIEM QUAM MINIMUM CREDULA POSTERO”
Aprovecha el día, no confíes en mañana

AGRADECIMIENTOS

No me alcanzaría el espacio para agradecer a todos aquellos que me han apoyado a lo largo de todo este proceso pero saben bien que todos los días agradezco el apoyo y la confianza que me han brindado.

A mi madre Elena, que todos los días me enseña algo nuevo y que sin ella todo este esfuerzo no tendría el mismo sentido, gracias por tu apoyo y más que nada por la paciencia todos estos años ante la ardua tarea de enseñarme más de la vida con el ejemplo.

A mi padre Paco que me ha enseñado más de lo que imagina y que al igual que me mi madre, me ha guiado y apoyado sin titubear. Por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida, gracias.

A mis hermanos Oscar y Pamela que me han apoyado siempre en todas mis decisiones y en todo momento que los he necesitado, en las buenas y en las malas; gracias porque siempre encuentran las palabras para darme apoyo y porque sin ellos mi vida no sería tan divertida.

A Marco que durante años me ha enseñado que no hay imposibles y que no hay reto que no pueda cumplir, gracias por todo tu apoyo, por no dejar que me rindiera nunca, por ser mi mejor maestro y por estar conmigo siempre y más que nada por creer siempre en mí.

A mis amigos Divelly, Cecilia y Arnulfo porque siempre han creído en mí y me han apoyado cuando los he necesitado, por ser mis mejores confidentes y mis mejores cómplices, por estar en las buenas y en las malas, por continuar conmigo en nuestro largo camino.

Al ángel más grande que me pudo haber tocado, a mi abuela, que desde allá arriba todos los días me brinda la fortaleza de ser cada día mejor y que en vida me diera los mejores consejos y enseñanzas de la vida.

A todos ellos, amigos y familiares, gracias por todo, por formar parte de mi vida y seguiremos adelante con la misma fortaleza como siempre lo hemos hecho, los amo.

Y por último pero no por eso menos importante, a Cintia, mi directora de tesis, por la paciencia y el tiempo dedicado a guiar mi trabajo, tus consejos, paciencia y opiniones sirvieron para que me sienta satisfecha de lo aprendido y realizado.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 Conceptos Generales de Redes	5
1.1 Definición de Redes	
1.1.1 Topologías de red	
1.1.2 Clasificación de las redes por cobertura geográfica	
1.2 Medios de transmisión	
1.2.1 Medios Guiados	
1.2.2 Medios No Guiados	
1.3 Modos de transmisión	
1.3.1 Síncronos	
1.3.2 Asíncronos	
1.3.3 Tipos de Transmisión	
1.4 Elementos de una red	
1.5 Modelo OSI	
CAPITULO 2 Redes Inalámbricas	35
2.1 Tecnología de red IEEE 802	
2.1.1 Terminología y Diseño	
2.2 Topologías	
2.3 Arquitectura Lógica	
2.3.1 Capa Física	
2.3.2 Capa de Enlace	
2.4 Servicios	
2.5 Seguridad	
CAPITULO 3 WiMAX	59
3.1 Estándar IEEE 802.16	
3.1.1 Topologías	
3.1.2 Capa MAC	
3.1.3 Capa Física	
3.1.4 Calidad de Servicio	
3.1.5 La Familia 802.16	
3.2 Tecnología WiMAX	
3.2.1 Características WiMAX	
3.2.2 Propagación NLOS y LOS	
3.2.3 WiMAX Fijo y Móvil	

3.3	Tecnología Wi-Fi y otras tecnologías contra WiMAX	
3.3.1	WiMAX y Wi-Fi	
3.3.2	WiMAX y otras tecnologías	
CAPÍTULO 4	Marco regulatorio y bandas de frecuencia	85
4.1	Sin Licencia	
4.2	Con Licencia	
4.3	Comparación de tecnologías WiMAX con licencia y sin licencia	
4.4	Beneficios de las bandas con licencia y sin licencia	
CAPÍTULO 5	Tecnología WiMAX, Protocolos, Seguridad y Administración	95
5.1	Protocolos	
5.2	Seguridad	
5.3	Administración	
5.4	Generales	
CAPÍTULO 6	Diseño Red WiMAX para Laboratorio de Redes y Seguridad	109
6.1	Introducción	
6.2	Diseño de Red Inalámbrica	
6.3	Diseño de Red WiMAX	
6.3.1	Información Preliminar	
6.3.2	Componentes de la Red WiMAX	
6.3.3	Ubicación de los puntos, área de cobertura y estructura de la red	
6.3.4	Seguridad	
6.3.5	Administración	
CONCLUSIONES		145
APÉNDICE A.	Glosario de términos	149
APÉNDICE B.	Medios de transmisión	161
APÉNDICE C.	Elementos de una Red	165
APÉNDICE D.	Modelo OSI	175
APÉNDICE E.	Conceptos Básicos de Radio Frecuencia y Comunicaciones	183
APÉNDICE F.	Situación actual del espectro de frecuencias para el uso de tecnología WiMAX	201
REFERENCIAS		217

PREFACIO

En función de conocer las necesidades del usuario, en este caso alumnos y profesores, se especifican los servicios que demanda el laboratorio.

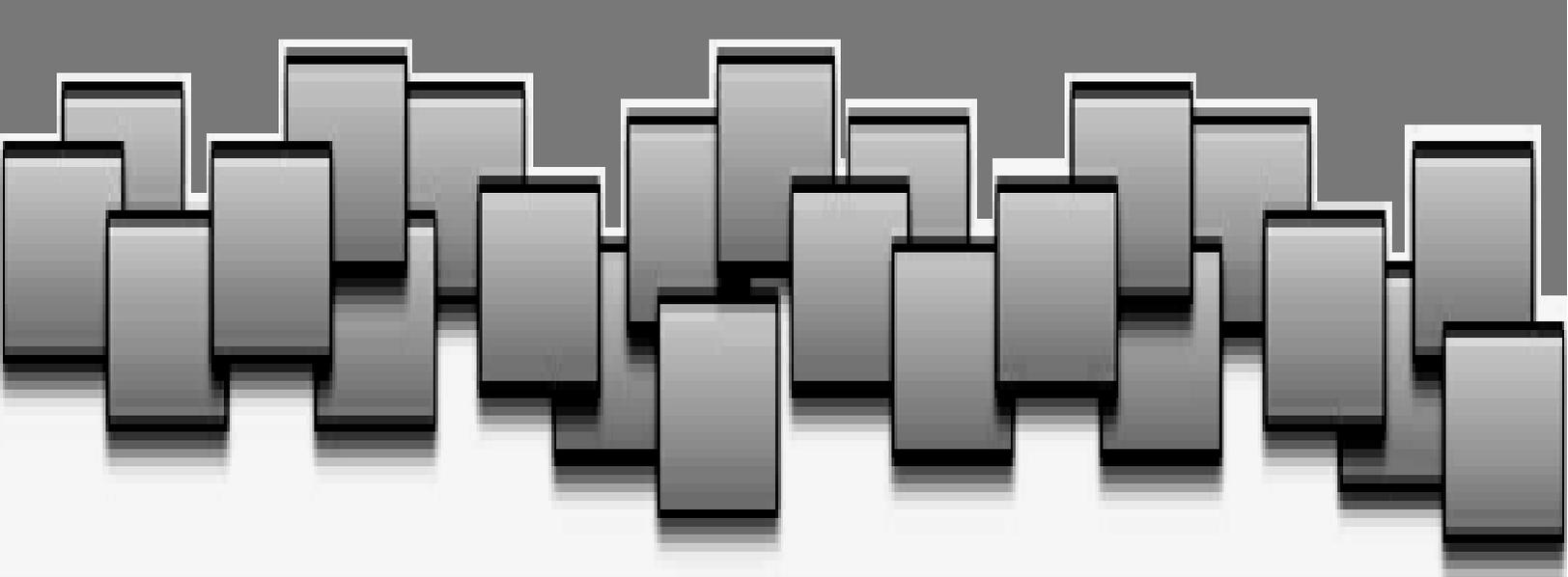
Una vez teniendo esta información se comienza la investigación bibliográfica, con lo que se espera tener un panorama muy claro de cómo trabajan los servicios en las redes WiMAX.

Posteriormente se estudia cómo se distribuye la red en el laboratorio, obteniendo información de las dimensiones del laboratorio y los recursos con los que cuenta.

A continuación se analiza y considera los servicios a brindar, las áreas de cobertura, las características de la red, los parámetros de la misma y el equipo necesario para su operatividad.

Finalmente, con base en las consideraciones anteriores se realiza formalmente el diseño de la red.

Diseñar una red WiMAX para lograr la movilidad de dispositivos inalámbricos en el Laboratorio de Redes y Seguridad, quedando dicho diseño como base para su futura implementación. Conjuntamente lograr ampliar el conocimiento y la utilización de las Redes de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha a través de esta tecnología.



INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo, se está viviendo una revolución en el uso de las tecnologías de la información, referente a la gestión y transformación de la información, y particularmente en el uso de computadoras y programas que permiten crear, modificar, almacenar, proteger y recuperar esa información. Esta revolución puede llegar a tener una importancia similar a la que tuvo la adopción de Internet por el gran público.

Actualmente las comunicaciones inalámbricas se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a unos precios accesibles, a la amplia gama de aplicaciones y las grandes posibilidades de esta tecnología. Al mismo tiempo ofrecen movilidad y facilidad de acceso a la información y a los recursos en tiempo real.

Lo que más llama la atención en cuanto a esta tecnología es que elimina la necesidad de usar cables añadiendo flexibilidad a la red y lo que es más importante en la actualidad, es el incremento de la eficiencia y la productividad de las actividades cotidianas, siendo que éstas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar.

Se ha pensado que lo ideal sería la conjunción de dos tecnologías, la alámbrica e inalámbrica, logrando así una red híbrida, la cual se conforma por un sistema cableado como parte principal y la inalámbrica brindará la *“solución de última milla”* (aplicaciones, reglas que permiten solucionar problemas presentados en el último

enlace que se da entre el usuario y el proveedor del servicio), lo cual da una solución óptima a cada usuario, lo que hace flexible a la red.

La tecnología WiMAX da una idea más específica de las tendencias de las comunicaciones inalámbricas, ésta se perfila como una estupenda oportunidad para ampliar los servicios de telecomunicaciones en diversos niveles.

El protocolo 802.16 es el nombre que el IEEE asigna a redes con radios de acción de hasta 50 kilómetros. Esta tecnología funciona de forma muy parecida a Wi-Fi, pero con tres ventajas básicas: mayor distancia, más usuarios y gran ancho de banda, facilitando la creación de redes de área metropolitana (MAN).

Otras de las ventajas que ofrece la combinación de Wi-Fi, WiMAX y la telefonía por IP (VoIP) es que permite el despliegue de más líneas de telecomunicaciones hacia zonas apartadas, con ancho de banda suficiente para la integración de servicios multimedia: voz, imagen y datos.

El estándar 802.16 es la primera versión de la gama de espectro de WiMAX que se encuentra sobre los 10 GHz (específicamente 10 GHz a 66 GHz) con Línea de Vista (LOS, Line-Of-Sight). Este primer estándar trató básicamente sobre la entrega licenciada del servicio (aunque hay espectro de licencia libre en esta gama), con el cual se le dio relevancia a esta tecnología como de banda ancha inalámbrica.

El estándar 802.16a es una versión del 802.16, el cual añade soporte a un rango de 2 GHz a 11 GHz, tanto con licencia como sin licencia. Además de que incorpora la capacidad de Sin Línea de Vista (NLOS, Non-Line-Of-Sight).

Otra de las versiones al estándar es la 802.16e la cual añade a su espectro los rangos de 10 GHz a 66 GHz. Éste facilita la interoperabilidad y permite utilizar el sistema de comunicaciones inalámbricas con terminales en movimiento. Esta variación del estándar fijo 802.16d tiene la gran ventaja de optimizar el consumo de energía, reduciendo el tamaño del módem CPE (Customer Premise Equipment).

Toda esta evolución encamina hacia un cuarto nivel de las comunicaciones móviles. Más allá de las PAN, LAN y MAN inalámbricas, se encuentra el nuevo desarrollo de la IEEE: las redes de área global o GAN, cuyo nombre técnico es Mobile Broadband Wireless Access (MBWA). Esta norma, 802.20, definirá la forma como los usuarios permanecen conectados a Internet desplazándose de un lado a otro de su país.





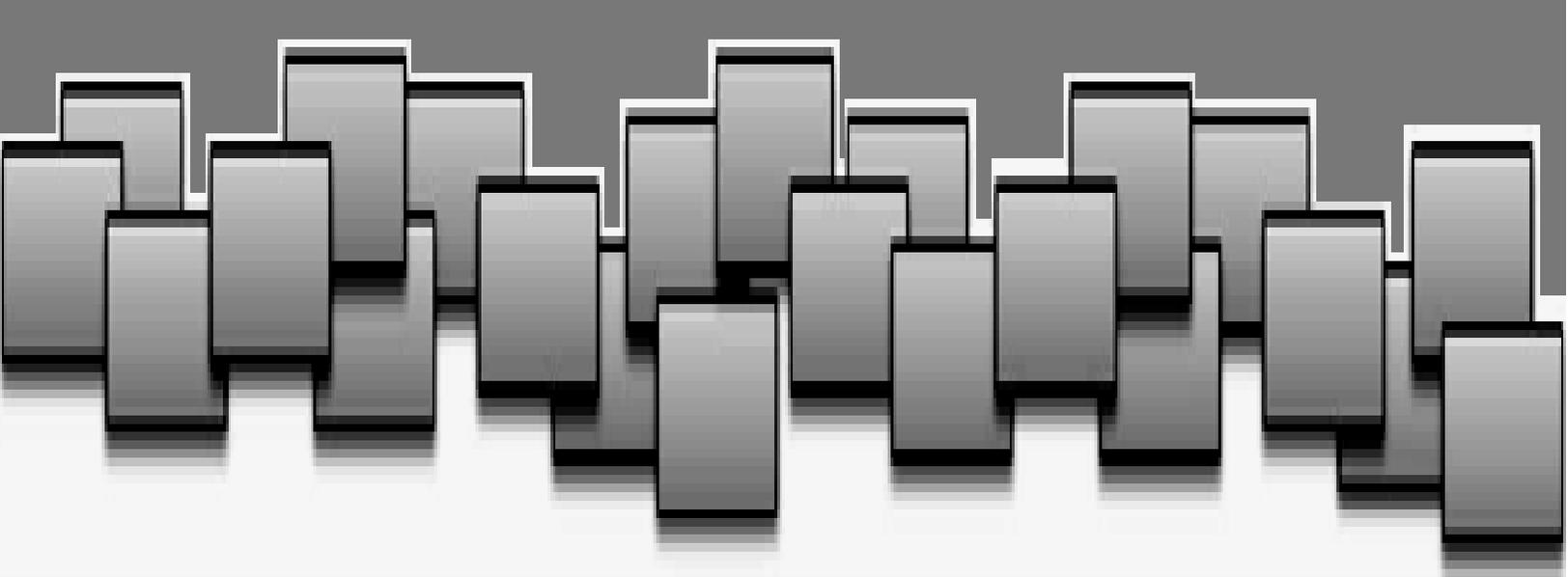
El mundo de las comunicaciones avanza cada vez más a un entorno en el que los usuarios son móviles, y en muchos casos las redes de acceso son inalámbricas. Las necesidades de los usuarios a los que se enfoca el diseño de esta red, alumnos y profesores, va más allá de un simple acceso a Internet, sino que al mismo tiempo este diseño de red adquieren un sentido de aprendizaje y a su vez una posible implementación futura.

En los últimos tiempos se han diseñado y desplegado soluciones que permiten la configuración dinámica de terminales (DHCP por ejemplo), con lo cual se consigue la portabilidad de terminales, pero en ningún caso la movilidad. Para ello se busca que la red inalámbrica a diseñar satisfaga las necesidades de un laboratorio en crecimiento y que cuente con la movilidad deseada.

La introducción de una red WiMAX que cumpla con las características de movilidad, un acceso sin cables de banda ancha alternativa al servicio de módem por cable, es hasta hoy una de las soluciones a las que muchos usuarios están migrando.

Por lo que el objetivo preciso de este trabajo es que se fomente el estudio de las redes inalámbricas de banda ancha, logrando el diseño de una red WiMAX para el Laboratorio de Redes y Seguridad para que en un futuro pueda ser tomado como base para su implementación y posibles mejoras a las tecnologías del presente. Tomando en cuenta que es un laboratorio en crecimiento y que requiere de estar a la vanguardia, con actualizaciones constantes sobre esta tecnología.





CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES DE REDES

1.1 DEFINICIÓN DE REDES

Una **red de computadoras** es un sistema de comunicación de datos, definida como una interconexión de computadoras y otros dispositivos periféricos conectados entre sí para compartir información, recursos y servicios, para potencialmente aumentar la disponibilidad de los sistemas, al tener la posibilidad de poseer fuentes alternativas de recursos en la red y acceso remoto a la información. Esta interconexión puede ser a través de un enlace físico alámbrico o inalámbrico.

Una red de computadoras debe cumplir con diversos aspectos, entre lo que se mencionan los siguientes:

- ✘ **Confiable:** estar disponible y velocidad de respuesta adecuada.
- ✘ **Confidencial:** contar con un sistema de protección de datos e información sobre usuarios.
- ✘ **Integral:** Referente a la corrección y completitud de la información.

1.1.1 TOPOLOGÍAS DE RED

La topología idónea para una red concreta va a depender de diferentes factores, como el número de dispositivos a interconectar, el tipo de acceso al medio físico que se desee, entre otros factores. Cuando se habla de topología de una red, hablamos de su configuración.

Esta configuración abarca tres aspectos diferentes:

- ✘ La **topología física**, es la disposición física de las computadoras, dispositivos de red y cableado en la red.
- ✘ La **topología lógica**, es la forma en que las computadoras se comunican a través del medio físico. Los dos tipos más comunes de topologías lógicas son:
 - **Broadcast**: En esta topología cada *host* envía sus datos hacia todos los demás hosts de la red. Por lo que cada dispositivo accede a la red para transmitir datos en el momento en que lo necesita, sin seguir un orden.
 - **Tokens**: Cuando un host recibe el token significa que puede enviar datos a través de la red. Si el host no tiene ningún dato para enviar, transmite el token hacia el siguiente host y el proceso se vuelve a repetir.
- ✘ La **topología matemática**, son aquellos mapas de nodos y enlaces, que a menudo forman patrones.

Las topologías más importantes son:

✘ TOPOLOGÍA TIPO BUS

La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no cuenta con ninguna otra conexión entre nodos. Físicamente cada host está conectado a un cable común, por lo que se pueden comunicar directamente, aunque la ruptura del cable hace que los hosts queden desconectados. Esta topología permite que todos los dispositivos de la red puedan ver todas las señales de los demás dispositivos. (Figura 1.1)

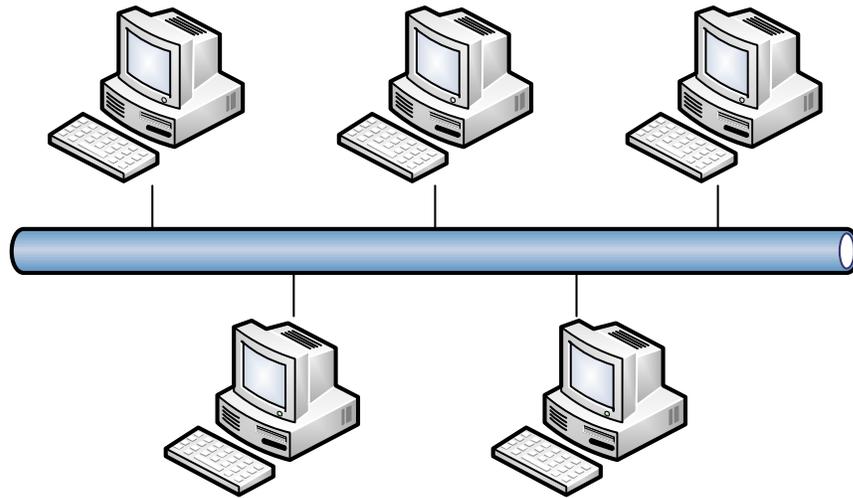


Figura 1.1 Topología tipo bus.

✧ **TOPOLOGÍA TIPO ANILLO**

Una topología de anillo se compone de un solo anillo cerrado formado por nodos y enlaces, en el que cada nodo está conectado solamente con los dos nodos adyacentes. Los dispositivos se conectan directamente entre sí por medio de cables en lo que se denomina una “cadena margarita”. Para que la información pueda circular, cada estación debe transferir la información a la estación adyacente. Lamentablemente si uno de los dispositivos deja de funcionar, toda la red dejará de hacerlo. (Figura 1.2)

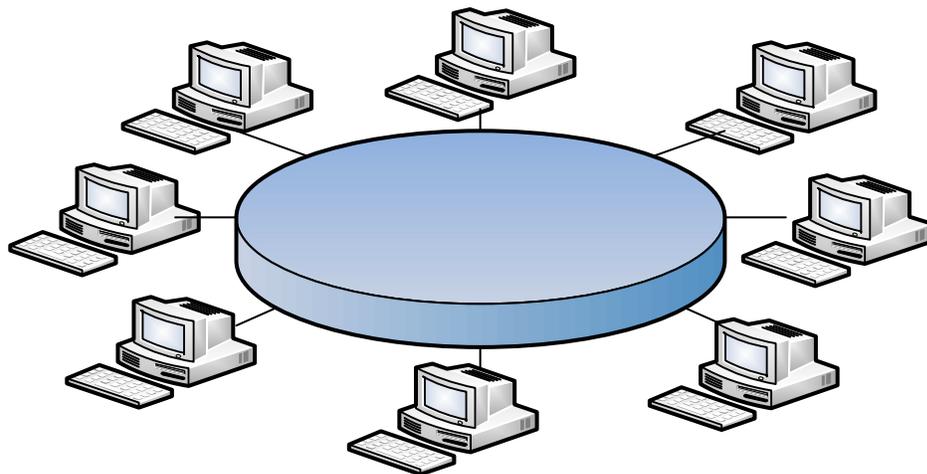


Figura 1.2 Topología tipo anillo.

✧ **TOPOLOGÍA DE ANILLO DOBLE**

Una topología en anillo doble consta de dos anillos concéntricos, donde cada host de la red está conectado a ambos anillos, aunque los dos anillos no están conectados directamente entre sí. Similar a la topología de anillo, aunque, para incrementar la confiabilidad y flexibilidad de la red, hay un segundo anillo redundante que conecta los mismos dispositivos. La topología de anillo doble actúa como si fueran dos anillos independientes, de los cuales se usa solamente uno por vez.

✧ **TOPOLOGÍA EN ESTRELLA**

La topología en estrella tiene un nodo central desde el que se irradian todos los enlaces hacia los demás nodos. El nodo central, generalmente ocupado por un hub o concentrador, es un elemento de red cuya función principal es la de enviar toda la información que circula por la red. La ventaja es que permite que todos los nodos se comuniquen entre sí, pero si el nodo central falla, toda la red se desconecta. (Figura 1.3)

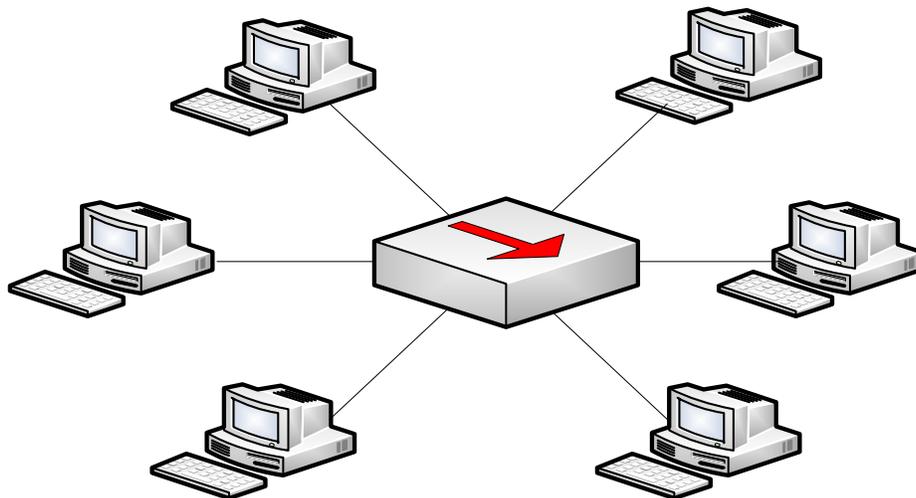


Figura 1.3 Topología tipo estrella.

✧ **TOPOLOGÍA EN ESTRELLA EXTENDIDA**

La topología en estrella extendida es igual a la topología en estrella, con la diferencia de que cada nodo que se conecta con el nodo central también es el centro de otra estrella. Generalmente el nodo central está ocupado por un hub o un switch, que envía la información por la red sólo que en este caso lo hace de manera inteligente, esto permite controlar el tráfico y colisiones. La ventaja de esto es que el cableado es más corto y limita la cantidad de dispositivos que se deben interconectar con cualquier nodo central. La topología en estrella extendida es sumamente jerárquica, y busca que la información se mantenga local.

✧ **TOPOLOGÍA EN ÁRBOL**

La topología en árbol es similar a la topología en estrella extendida, salvo que no tiene un nodo central. En cambio, cuenta con un nodo de *enlace troncal*, que es un cable con varias capas de ramificaciones, con flujo de información jerárquico, generalmente ocupado por un hub o switch, desde el que se ramifican los demás nodos. (Figura 1.4)

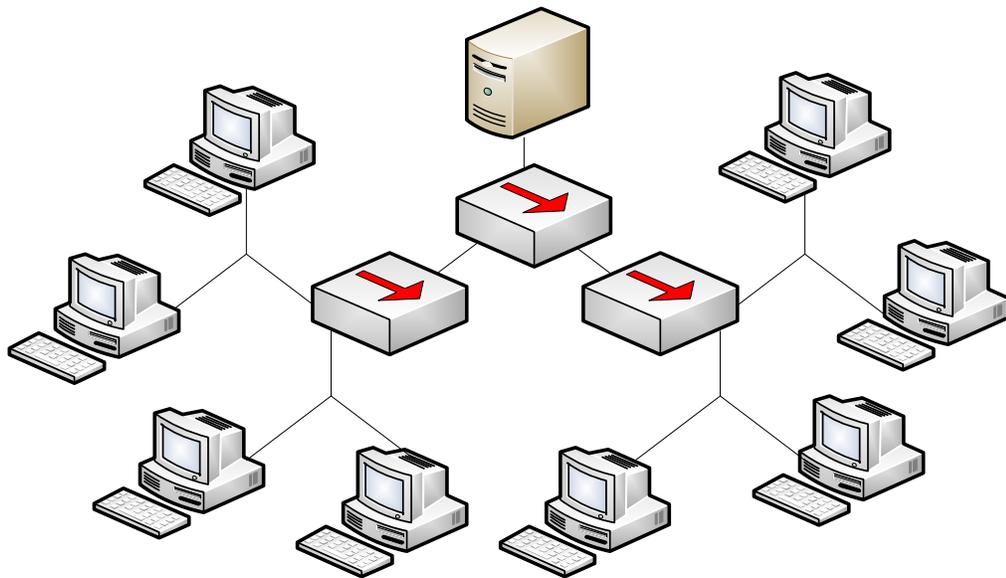


Figura 1.4 Topología tipo árbol.

✧ TOPOLOGÍA EN MALLA COMPLETA

En una topología de malla completa, cada nodo se enlaza directamente con los demás nodos. Todo está conectado físicamente entre sí, por lo que si algún enlace se rompe la información puede circular a través de cualquier cantidad de enlaces hasta llegar a destino. (Figura 1.5)

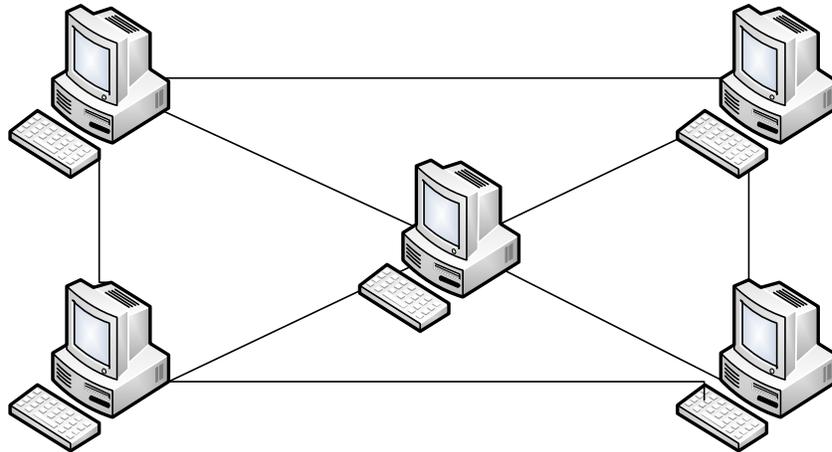


Figura 1.5 Topología tipo malla completa.

Pero esta topología sólo funciona con una pequeña cantidad de nodos, ya que de lo contrario la cantidad de medios necesarios para los enlaces, y la cantidad de conexiones con los enlaces se torna abrumadora.

✧ TOPOLOGÍA DE RED CELULAR

La topología celular está compuesta por áreas circulares o hexagonales, cada una de las cuales tiene un nodo individual en el centro. En esta tecnología no existen enlaces físicos, sólo hay ondas electromagnéticas.

Una topología celular, inalámbrica, no tiene ningún medio tangible aparte de la atmósfera terrestre o el del vacío del espacio exterior y los satélites. Pero pueden sufrir disturbios y violaciones de seguridad. Como norma, las topologías basadas en celdas se integran con otras topologías, ya sea que usen la atmósfera o los satélites. (Figura 1.6)

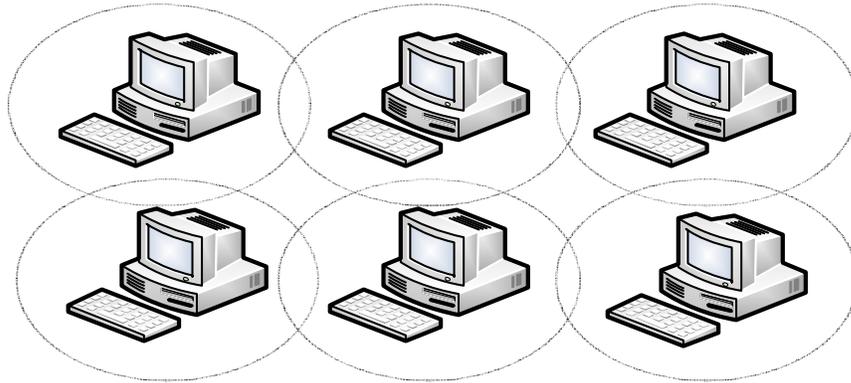


Figura 1.6 Topología tipo red celular.

1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES POR COBERTURA GEOGRÁFICA

Existen 3 tipos principales de redes de computadora.

✧ LAN (Local Area Network)

Redes de Área Local. Una red local es la interconexión de varias computadoras y dispositivos. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de unos pocos kilómetros. Suelen ser redes con velocidades entre 10 y 100 Mbps, tiene baja latencia y baja tasa de errores. (Figura 1.7)

Dentro de este tipo de red se puede nombrar a *INTRANET*, una red privada que utiliza herramientas tipo internet, pero disponible solamente dentro de la organización.

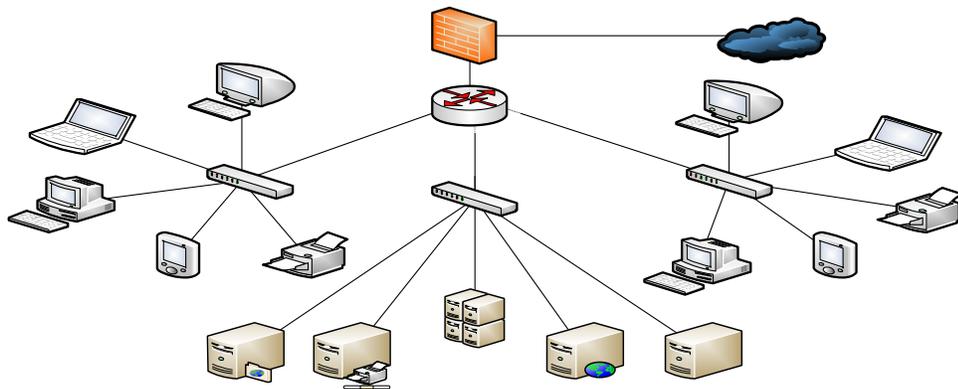


Figura 1.7 LAN

✧ **MAN (Metropolitan Area Network)**

Redes de Área Metropolitana. Básicamente son una versión más grande de una Red de Área Local y utiliza normalmente tecnología similar. Puede ser pública o privada. Tiene pocos cables y no tiene elementos de intercambio de paquetes o conmutadores, lo cual simplifica bastante el diseño.

Es una red de alta velocidad, banda ancha, que brinda 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 Mbps hasta 155 Mbps. (Figura 1.8)

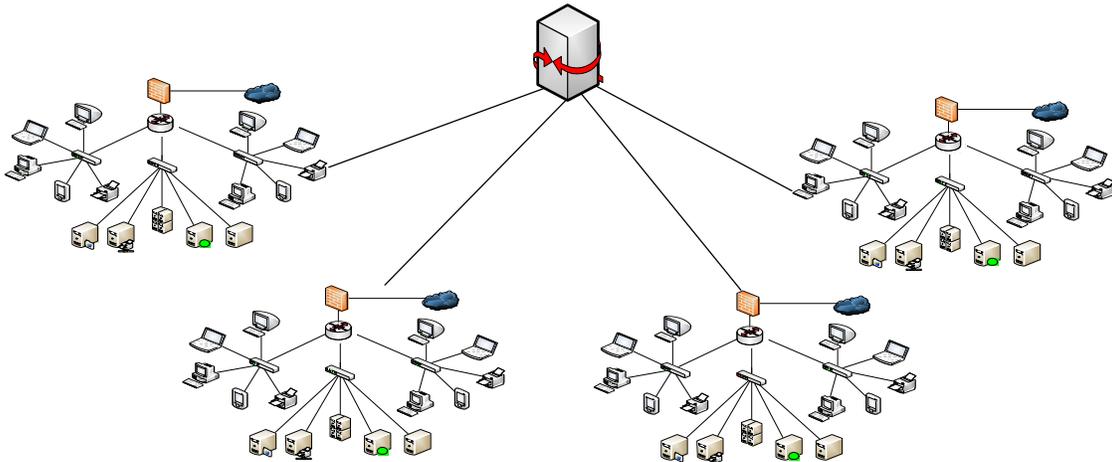


Figura 1.8 MAN

✧ **WAN (Wide Area Network)**

Redes de Cobertura Amplia. Son redes que cubren una amplia región geográfica, capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000 km, dando el servicio a un país o un continente. Algunas de sus características relevantes son:

- ✧ Posee máquinas dedicadas a la ejecución de programas de usuario, hosts, y se encuentran conectados a una subred de comunicaciones.
- ✧ Compuesta de una subred, donde conectan varios hosts, que transporta los mensajes de un host a otro.

- ✘ División entre líneas de transmisión y elementos de conmutación Las líneas de transmisión se conocen como circuitos, canales o troncales. Los elementos de conmutación son computadores especializados utilizados para conectar dos o más líneas de transmisión.

Las redes de área local son diseñadas de tal forma que tienen topologías simétricas, mientras que las redes de amplia cobertura tienen topología irregular. (Figura 1.9)

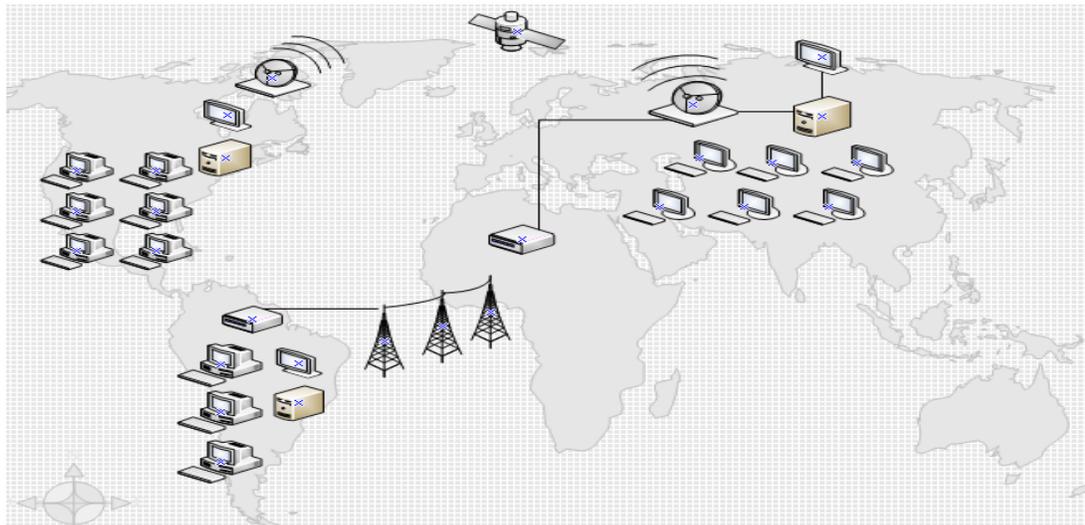


Figura 1.9 WAN

En resumen en la Tabla 1.1 se observa la clasificación de las redes por cobertura geográfica, así como algunas características:

Tabla 1.1 Redes por cobertura geográfica

DISTANCIA CUBIERTA	EQUIPOS UBICADOS	TIPO
1 m	1 m ²	Red de Área Personal (PAN)
10 m	Cuarto o Habitación	LAN
100 m	Edificio	LAN
1 Km	Campus	LAN
10 Km	Ciudad	MAN
100 Km	País	WAN
1000 Km	Continente	WAN
10 000 Km	Planeta	Interredes

1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión es el material físico cuyas propiedades de tipo electrónico, mecánico, óptico, o de cualquier otro tipo se emplea para facilitar el transporte de información entre terminales distante geográficamente.

Su uso depende del tipo de aplicación particular ya que cada medio tiene sus propias características de costo, facilidad de instalación, ancho de banda soportado y velocidades de transmisión máxima permitidas.

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: guiados y no guiados. En ambos casos la transmisión se realiza por medio de ondas electromagnéticas.

1.2.1 MEDIOS GUIADOS

Los medios guiados conducen las ondas a través de un camino físico, es decir, por medio de un cable. Entre los medios guiados se listan los siguientes:

✂ PARES TRENZADOS

Consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1mm de espesor. Los alambres se entrelazan en forma *helicoidal*, como en una molécula de *DNA*. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. (Figura 1.10)

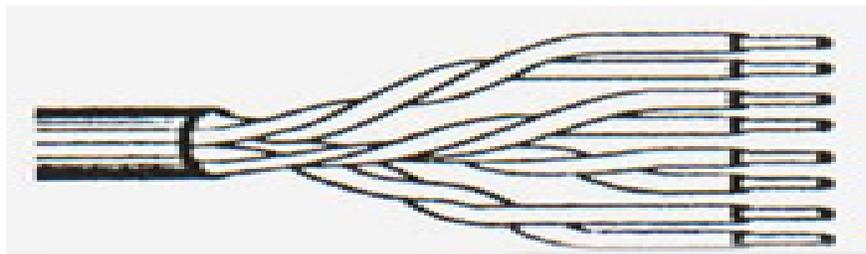


Figura 1.10 Cable de par trenzado.

Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y de la distancia que recorre. Existen dos tipos de cable par trenzado, el *UTP* (Unshielded

Twisted Pair Cabling) o cable par trenzado sin blindaje y el cable *STP* (Shielded Twisted Pair Cabling) o cable par trenzado blindado. En la tabla 1.2 se muestran las categorías del cable UTP.

Tabla 1.2 Categorías del cable UTP

TIPO	APLICACIÓN
Categoría 1	Voz solamente (cable telefónico)
Categoría 2	Datos hasta 4 Mbps (<i>LocalTalk</i>)
Categoría 3	Datos hasta 10 Mbps (Ethernet)
Categoría 4	Datos hasta 20 Mbps (16 Mbps Token Ring)
Categoría 5	Datos hasta 100 Mbps (Fast Ethernet)
Categoría 5e	Datos hasta 1000 Mbps (Gigabit Ethernet)

✂ CABLE COAXIAL

Este tipo de cable consta de un conductor central fijo, *axial*, sobre un forro de material aislante, que después lleva una cubierta metálica en forma de malla como segundo conductor. La capa exterior evita que la radiación electromagnética o las señales de otros cables afecten la información conducida a través suyo. (Figura 1.11)



Figura 1.11 Cable coaxial.

Los dos tipos de cables coaxiales más empleados para aplicaciones de LAN son el 10Base5 y el 10Base2. En la tabla 1.3 se muestran los tipos de cable coaxial para LAN y su comparativa.

Tabla 1.3 Tipos de cable coaxial para LAN

Parámetro/Tipo de Cable	10Base5	10Base2
Tasa de transmisión	10 Mbps	10 Mbps
Longitud máxima	500 mts.	185 mts.
Impedancia	50 ohms	50 ohms, <i>RG58</i>
Diámetro del conductor	2.17 mm	0.9 mm

✂ **FIBRA ÓPTICA¹**

La fibra óptica es una varilla delgada y flexible de vidrio u otro material transparente con un *índice de refracción* alto, constituida de material *dieléctrico*, es decir material que no tiene conductividad como vidrio o plástico, es capaz de concentrar, guiar y transmitir la luz con muy pocas pérdidas incluso cuando esté curvada. Está formada por dos cilindros concéntricos, el interior llamado núcleo (con una elevada pureza con el propósito de obtener una mínima atenuación) y el exterior llamado revestimiento, ambos tienen diferente índice de refracción. (Figura 1.12)



Figura 1.12 Fibra óptica

El diámetro exterior del revestimiento es de 0.1 mm, aproximadamente y el diámetro del núcleo que transmite la luz es próximo a 10 o 50 micrómetros. Es un medio de comunicación que utiliza la luz confinada en una fibra de vidrio para transmitir grandes cantidades de información en el orden de Gbps. En la parte receptora se utiliza un *fotodiodo* o *fototransistor* para detectar la luz emitida. También será necesario poner al final de cada extremo un convertidor de luz, óptico, a señales eléctricas. Debido a que el láser trabaja a frecuencias muy altas, entre el intervalo de la luz visible e infrarroja, la fibra óptica es casi inmune a la *interferencia* y el ruido.

¹ Para más información consultar Apéndice B

1.2.2 MEDIOS NO GUIADOS

Los medios no guiados utilizan el aire como medio de transmisión, y cada medio de transmisión viene siendo un servicio que utiliza una banda del espectro de frecuencias. A todo el rango de frecuencias se le conoce como espectro electromagnético, en la tabla 1.4, se muestra el espectro completo con sus rangos de frecuencias y sus servicios.

Tabla 1.4 Espectro Electromagnético

Banda	Significado	Rango de Frecuencias	Servicios
VLF	Very Low Frequency	3 kHz - 30 kHz	Conducción de electricidad
LF	Low Frequency	30 kHz - 300 kHz	Conducción de electricidad, navegación marítima, control de tráfico aéreo
MF	Medium Frequency	300 kHz - 3 MHz	Radio AM
HF	High Frequency	3 MHz - 30 MHz	Radio SW
VHF	Very High Frequency	30 MHz - 300 MHz	Radio FM, TV, radio dos vías
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz - 3 GHz	TV UHF, telefonía celular, WLL, comunicaciones móviles
SHF	Super High Frequency	3 GHz - 30 GHz	Servicios por Satélite y microondas, MMDS, LMDS
EHF	Extremely High Frequency	30 GHz en adelante	LMDS
Infrarojo		3×10^{12} - 4.3×10^{14} Hz	WPANs
Luz visible		4.3×10^{14} - 7.5×10^{14} Hz	Fibras ópticas
Ultravioleta		7.5×10^{14} - 3×10^{17} Hz	

1 kHz = 1×10^3 Hz
 1 MHz = 1×10^6 Hz
 1 GHz = 1×10^9 Hz
 WLL = Wireless Local Loop
 MMDS = Multichannel Multipoint Distribution Service
 LMDS = Local Multipoint Distribution Service
 WPANs = Wireless Personal Area Networks

El espectro electromagnético ha sido un recurso muy apreciado y como es limitado, tiene que ser bien administrado y regulado. En el caso de México, la entidad reguladora del radio espectro es la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Así cada una de las sub-bandas del espectro electromagnético provee un servicio diferente, lo que nos permite hablar por un teléfono celular, escuchar la radio, ver la televisión, sin interferirse un servicio con el otro.

✂ INFRARROJOS

Los infrarrojos son ondas electromagnéticas que se propagan en línea recta, siendo susceptibles de ser interrumpidos por cuerpos opacos. Su uso no precisa de licencia administrativa y no se ven afectados por interferencias radioeléctricas externas, pudiéndose alcanzar distancias de hasta 200 metros entre cada emisor y receptor. (Figura 1.13)

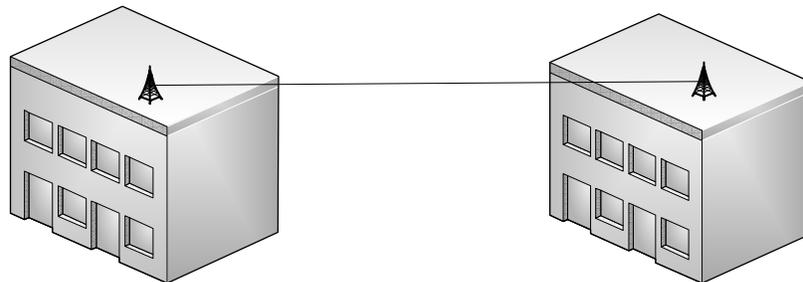


Figura 1.13 Infrarrojo

Características fundamentales:

- ✂ Reflexión directa.
- ✂ Utilización de transductores que modulan la luz infrarroja. Deberán estar alineados o tener reflexión directa, esto es tener línea de vista.
- ✂ No pueden atravesar obstáculos.
- ✂ Rapidez en la instalación, ya que no es necesario tener ningún permiso.
- ✂ Imposibilidad de establecer enlaces en medios abiertos debido al cambio de las condiciones climatológicas, que pueden actuar a modo de obstáculos.

✧ **MICROONDAS**

Las microondas son todas aquellas bandas de frecuencia en el rango de 1 GHz en adelante, el término microondas se emplea porque la longitud de onda de esta banda es muy pequeña (milimétricas o micrométricas), resultado de dividir la velocidad de la luz, 3×10^8 m/s, entre la frecuencia en Hertz.

La zona del espectro de las microondas está dividida de la siguiente manera, como se muestra en la tabla 1.5:

Tabla 1.5 Zona de Espectro

Banda.	Frecuencias.
L	1 - 2 GHz
S	2 - 4 GHz
C	4 - 8 GHz
X	8 - 12 GHz
Ku	12 - 18 GHz
K	18 - 27 GHz
Ka	27 - 40 GHz

Suelen utilizarse antenas parabólicas. Para conexión a larga distancia, se utilizan conexiones intermedias punto a punto entre antenas parabólicas. Se usan para transmisión de televisión y voz.

La principal causa de pérdidas es la atenuación debido a que las pérdidas aumentan con el cuadrado de la distancia (con cable coaxial y par trenzado son logarítmicas). La atenuación aumenta con las lluvias. Las interferencias es otro inconveniente de las microondas ya que al proliferar estos sistemas, puede haber más sobreposición de señales. (Figura 1. 14)

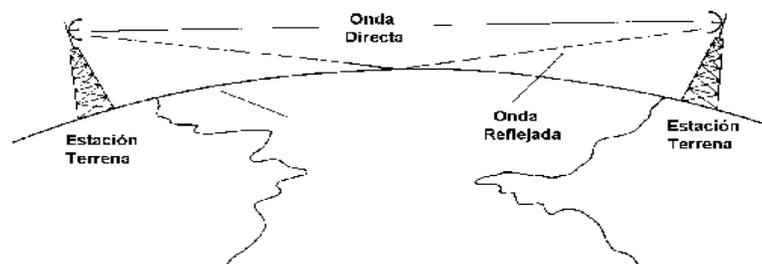


Figura 1.14 Microondas

✧ SATÉLITE²

El satélite recibe las señales y las amplifica o retransmite en la dirección adecuada. Para mantener la alineación del satélite con los receptores y emisores de la tierra, el satélite debe ser geoestacionario.

El rango de frecuencias para la recepción del satélite debe ser diferente del rango al que éste emite, para que no haya interferencias entre las señales que ascienden y las que descienden. (Figura 1.15)

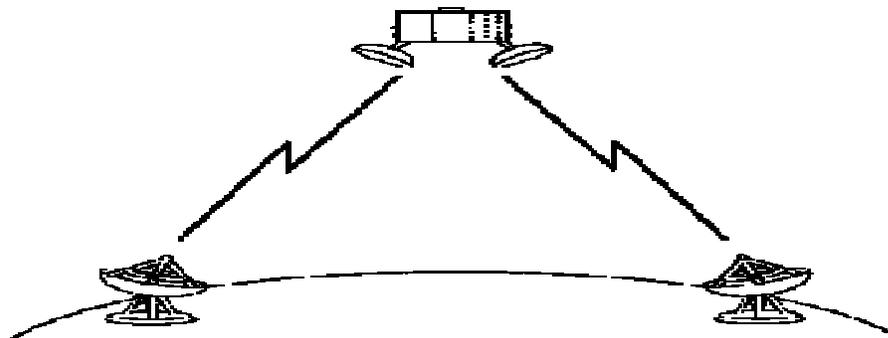


Figura 1.15 Satélite y antenas estacionarias.

✧ ONDAS DE RADIO

Se caracterizan por ser omnidireccionales, por lo que no se necesitan antenas parabólicas. Utilizarán la banda comprendida entre 30 MHz y 1GHz, para transmitir señales FM, TV (UHF, VHF), datos, entre otros.

Este rango de frecuencias es el más adecuado para transmisiones simultáneas, difusión. Las perturbaciones que se sufren en este tipo de comunicaciones son provocadas por las reflexiones que se producen tanto en la tierra como en el mar, debidas a interferencias multirrayecto.

Se pueden mencionar dos tipos de ondas, las terrestres y las aéreas, la onda terrestre sigue la superficie de la tierra y la onda aérea rebota de ida y vuelta entre la superficie de la tierra y varias capas de la ionósfera terrestre. (Figura 1.16)

² Para mayor información consultar Apéndice B

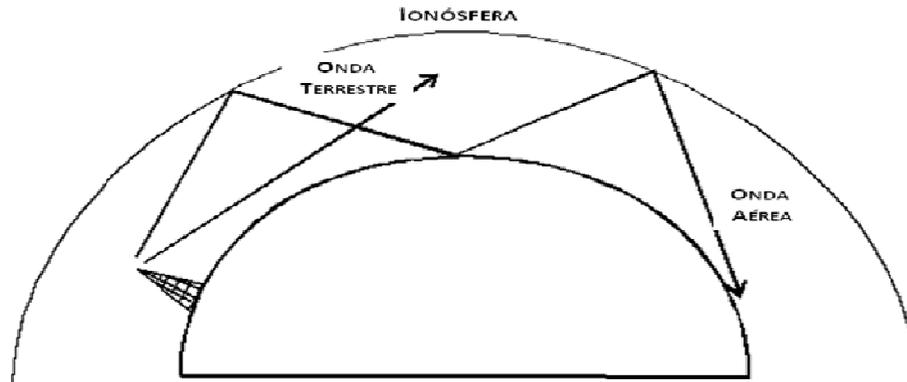


Figura 1.16 Ondas de radio terrestres y aéreas.

1.3 MODOS DE TRANSMISIÓN

1.3.1 ASÍNCRONOS

Es también conocida como Star/Stop. Requiere de una señal que identifique el inicio del carácter y a la misma se la denomina bit de arranque. También se requiere de otra señal denominada señal de parada que indica la finalización del carácter o bloque. Generalmente cuando no hay transmisión, una línea se encuentra en un nivel alto. Tanto el transmisor como el receptor, saben cuál es la cantidad de bits que componen el carácter. Los bits de parada son una manera de fijar qué delimita la cantidad de bits del carácter y cuando se transmite un conjunto de caracteres, luego de los bits de parada existe un bit de arranque entre los distintos caracteres. (Figura 1.17)

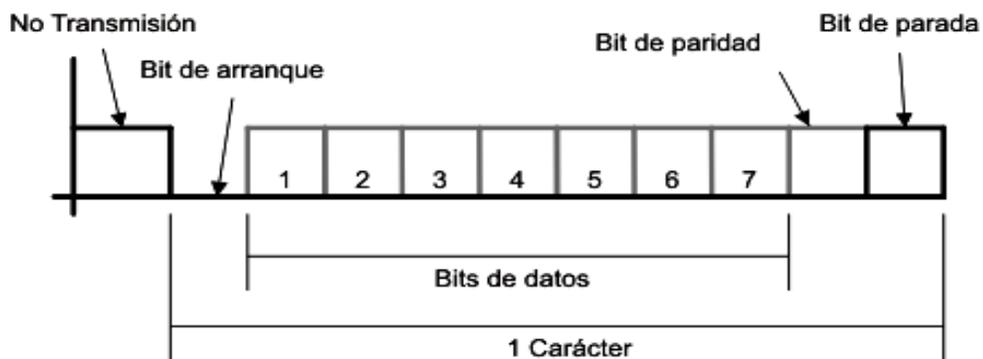


Figura 1.17 Transmisión asíncrona

1.3.2 SÍNCRONOS

En este tipo de transmisión es necesario que el transmisor y el receptor utilicen la misma frecuencia de reloj en ese caso la transmisión se efectúa en bloques, debiéndose definir dos grupos de bits denominados delimitadores, mediante los cuales se indica el inicio y el fin de cada bloque. Para lograr la sincronización, el transmisor envía una señal de inicio de transmisión mediante la cual se activa el reloj del receptor. A partir de dicho instante transmisor y receptor se encuentran sincronizados.

1.3.3 TIPOS DE TRANSMISIÓN

Los distintos tipos de transmisión de un canal de comunicaciones pueden ser de tres clases:

✂ **MÉTODO SIMPLEX.**

En este caso el transmisor y el receptor están perfectamente definidos y la comunicación es unidireccional. Este tipo de comunicaciones se emplean usualmente en redes de radiodifusión, donde los receptores no necesitan enviar ningún tipo de dato al transmisor.

✂ **MÉTODO HALF DÚPLEX.**

En este caso ambos extremos del sistema de comunicación cumplen funciones de transmisor y receptor y los datos se desplazan en ambos sentidos pero no simultáneamente. Este tipo de comunicación se utiliza habitualmente en la interacción entre terminales y una computadora central.

✂ **MÉTODO DÚPLEX.**

El sistema es similar al Half Dúplex, pero los datos se desplazan en ambos sentidos simultáneamente. Para ello ambos transmisores poseen diferentes frecuencias de transmisión o dos caminos de comunicación separados, mientras que la comunicación Dúplex necesita normalmente uno solo. Para el intercambio de datos entre computadoras este tipo de comunicaciones son más eficientes que las transmisiones Dúplex.

1.4 ELEMENTOS DE UNA RED

La mayoría de los dispositivos empleados en las redes tanto alámbricas como inalámbricas son de vital importancia para construir redes eficientes y seguras, que es el objetivo principal, por lo que debemos determinar que dispositivos son los más adecuados para nuestras necesidades. Para poder conocer dichos dispositivos empleados en la construcción de redes, se deben conocer algunos conceptos más importantes para entender cómo funcionan. Estos son:

- ✘ **Firewall o cortafuegos:** Es un hardware, firmware o software o combinación de ellos capaz de filtrar los paquetes IP.
- ✘ **NAT (Network Address Translation):** Permite convertir unas direcciones IP en otras. De esta forma se pueden unir dos redes sin problemas de repetición de direcciones IP.
- ✘ **Caché:** Almacena la información accedida más recientemente, con el fin de evitar accesos repetidos.
- ✘ **ACL:** lista de control de accesos, en la que figuran los dispositivos que pueden y los que no pueden conectarse a una red.

✘ SERVIDORES

Es la computadora central que permite compartir recursos y es donde se encuentra alojado el sistema operativo de red. Los recursos compartidos pueden incluir impresoras, unidades de disco, CD-ROM, directorios en disco duro e incluso archivos individuales.

Algunas características:

- ✘ Amplia capacidad de procesamiento.
- ✘ Ranuras de expansión disponibles para un futuro crecimiento.
- ✘ Disco duro de gran capacidad de almacenamiento para la instalación de todo el software requerido.
- ✘ Suficiente memoria RAM para correr las aplicaciones de la red.

✂ ESTACIONES DE TRABAJO

Son computadoras interconectadas mediante una tarjeta de Interfaz, ésta puede que sea alámbrica o inalámbrica, esto depende de las prestaciones de la estación de trabajo y de las aplicaciones que el usuario requiera en su momento. Ellas compartirán recursos del servidor y realizarán un proceso distribuido.

Cada computadora conectada a la red conserva la capacidad de funcionar de manera independiente, realizando sus propios procesos. Asimismo, las computadoras se convierten en estaciones de trabajo en red, con acceso a la información y recursos contenidos en el servidor de archivos de la misma. Una estación de trabajo no comparte sus propios recursos con otras computadoras a menos que el usuario configure las mismas para compartirla.

Se debe tomar en cuenta que al hablar de estaciones de trabajo debemos tomar en cuenta las prestaciones que brindan tanto los equipos fijos como los móviles que formarán parte de la red.

✂ MODEM³

Un módem es un equipo electrónico que sirve para transmitir y recibir información digital a distancia, mediante la modulación y demodulación de la señal digital. Existen módems analógicos como los que permiten conectarnos a Internet desde nuestro PC a través de la línea telefónica, y módems digitales como el modem ADSL o el Cable Modem. Un módem se puede conectar al PC a través de un puerto serie, un puerto USB o Ethernet.

✂ REPETIDORES⁴

Un repetidor es un dispositivo electrónico que al recibir una señal débil o de bajo nivel, la retransmite a una potencia o nivel más alto, de tal modo que se puedan cubrir distancias más largas sin degradación o con una degradación tolerable.

³ Para información más detallada consultar el apéndice C

⁴ Para información más detallada consultar el apéndice C

Asimismo resincroniza los segmentos, e incluso los desconecta, lo que se denomina segmentar o particionar, a aquellos que no funcionan de forma adecuada, permitiendo que el funcionamiento de la red no se vea interrumpido. (Figura 1.18)

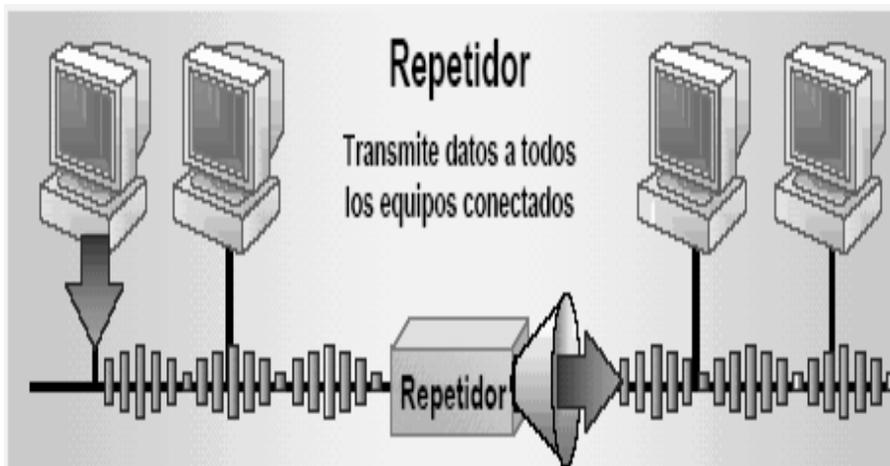


Figura 1.18 Repetidor

Evidentemente, el uso de repetidores también está limitado, ya que por la función que realizan generan un pequeño retraso, que en caso de tenerse varios repetidores consecutivos, impediría el adecuado funcionamiento de la red y como consecuencia la pérdida de los paquetes que circulan por la misma.

✧ **CONCENTRADOR O HUB⁵**

Un concentrador es un dispositivo que permite centralizar el cableado de una red. También se le conoce con el nombre de hub.

Este dispositivo funciona repitiendo cada paquete de datos en cada uno de los puertos con los que cuenta, excepto en el que ha recibido el paquete, de forma que todos los puntos tienen acceso a los datos. También se encarga de enviar una señal de choque a todos los puertos si detecta una colisión. Son la base para las redes de topología tipo estrella. (Figura 1.19)

⁵ Para información más detallada consultar el apéndice C

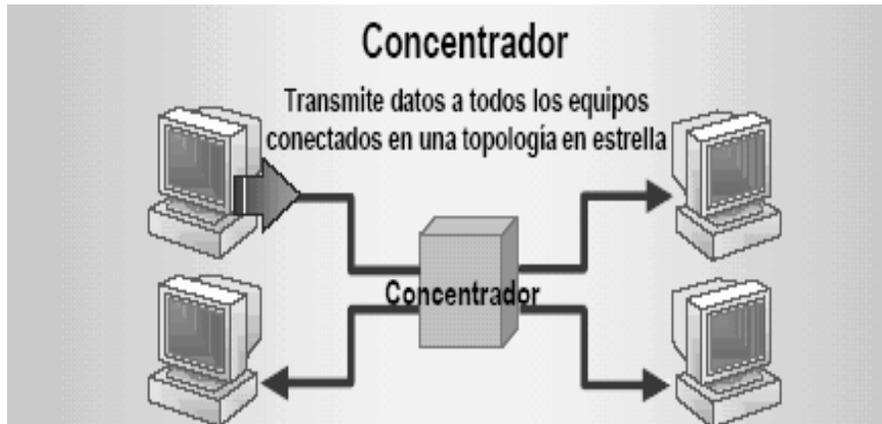


Figura 1.19 Transmisión de datos con un concentrador.

✧ PUNTES⁶

Un puente es un dispositivo para la interconexión de redes de datos que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI.

Un puente interconecta dos segmentos de red, o divide una red en segmentos, permite el paso de datos de una red a otra, con base en la dirección física de destino de cada paquete. Un puente o bridge conecta dos segmentos de red como una sola red usando el mismo protocolo de establecimiento de red. (Figura 1.20)

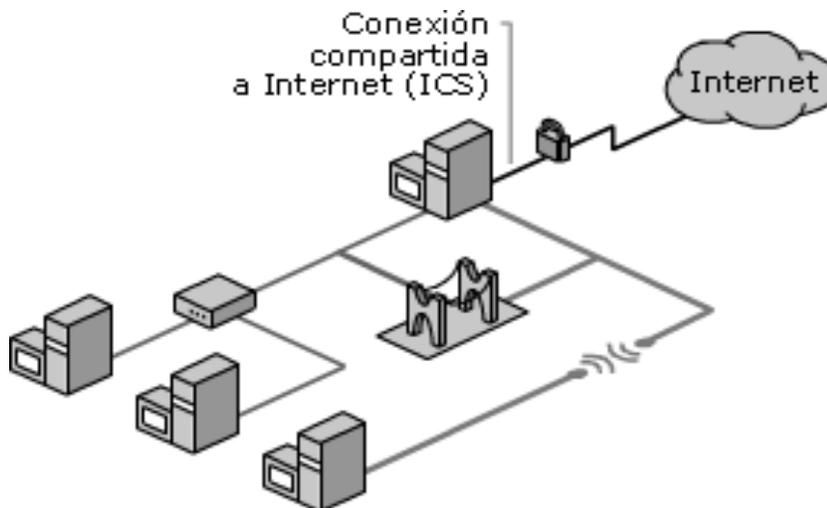


Figura 1.20 Conexión compartida de internet y el puente que lo hace posible.

⁶ Para información más detallada consultar el apéndice C

✧ SWITCH⁷

Un switch es un dispositivo electrónico para la interconexión de redes de datos que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI. Un switch interconecta dos o más segmentos de red, funcionando de manera similar a los puentes, pasando datos de un segmento a otro, de acuerdo con la dirección MAC de destino de los datagramas en la red. (Figura 1.21)

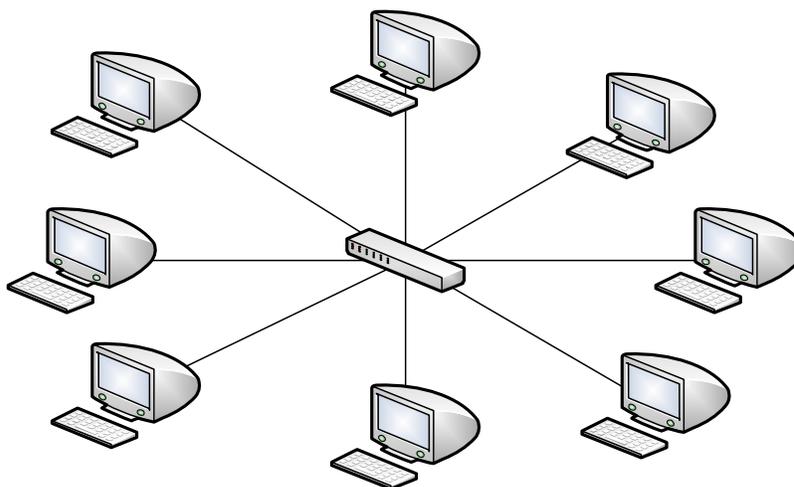


Figura 1.21 Transmisión de datos con un switch en una topología estrella.

✧ ROUTER

Es un dispositivo de hardware activo para la interconexión de redes de las computadoras que con base en unas tablas es capaz de dirigir el tráfico desde el origen hasta el destino, pudiendo tener configurado además del mejor camino una serie de rutas alternativas llamadas líneas de respaldo. Un router opera en la capa de red y se usa cuando se desea que varias computadoras con diferentes direcciones IP puedan acceder a través de una única línea de comunicaciones.

⁷ Para información más detallada consultar el apéndice C

1.5 MODELO OSI⁸

El modelo de referencia OSI es el nombre dado a un conjunto de estándares para las comunicaciones entre computadoras, terminales y redes. Su objetivo es el de desarrollar estándares para la interconexión de sistemas abiertos (Open System Interconnection, OSI), esto es, aquellos sistemas preparados para comunicarse con cualquier otro sistema abierto mediante reglas estándar, los cuales tienen las siguientes objetivos:

- ✘ Establecen el formato, contenido y significado de los mensajes recibidos y enviados.
- ✘ Constituyen los protocolos, que son acuerdos en la forma en que debe desarrollarse la comunicación.

El modelo OSI distingue entre dos tipos generales de protocolos:

- ✘ Orientados hacia las conexiones: Que se refiere a los protocolos que antes de intercambiar los datos, el emisor y el receptor establecen en forma explícita una conexión, negocian el protocolo a utilizar y termina la conexión.
- ✘ Orientados a la no conexión, los cuales realizan una configuración de antemano y el emisor transmite el primer mensaje cuando está listo.

Cada capa proporciona una interfaz con la otra capa por encima de ella; la interfaz consiste de un conjunto de operaciones para definir el servicio que la capa está preparada para ofrecer a sus usuarios.

Por otra parte el modelo permite que un proceso que se ejecuta en una computadora, pueda comunicarse con un proceso similar en otra computadora, si tienen implementados los mismos protocolos de comunicaciones de capas OSI. Este modelo está dividido en siete capas. A continuación se muestra un esquema de las capas del modelo (Figura 1.22).

⁸ Para información más detallada consultar el apéndice D

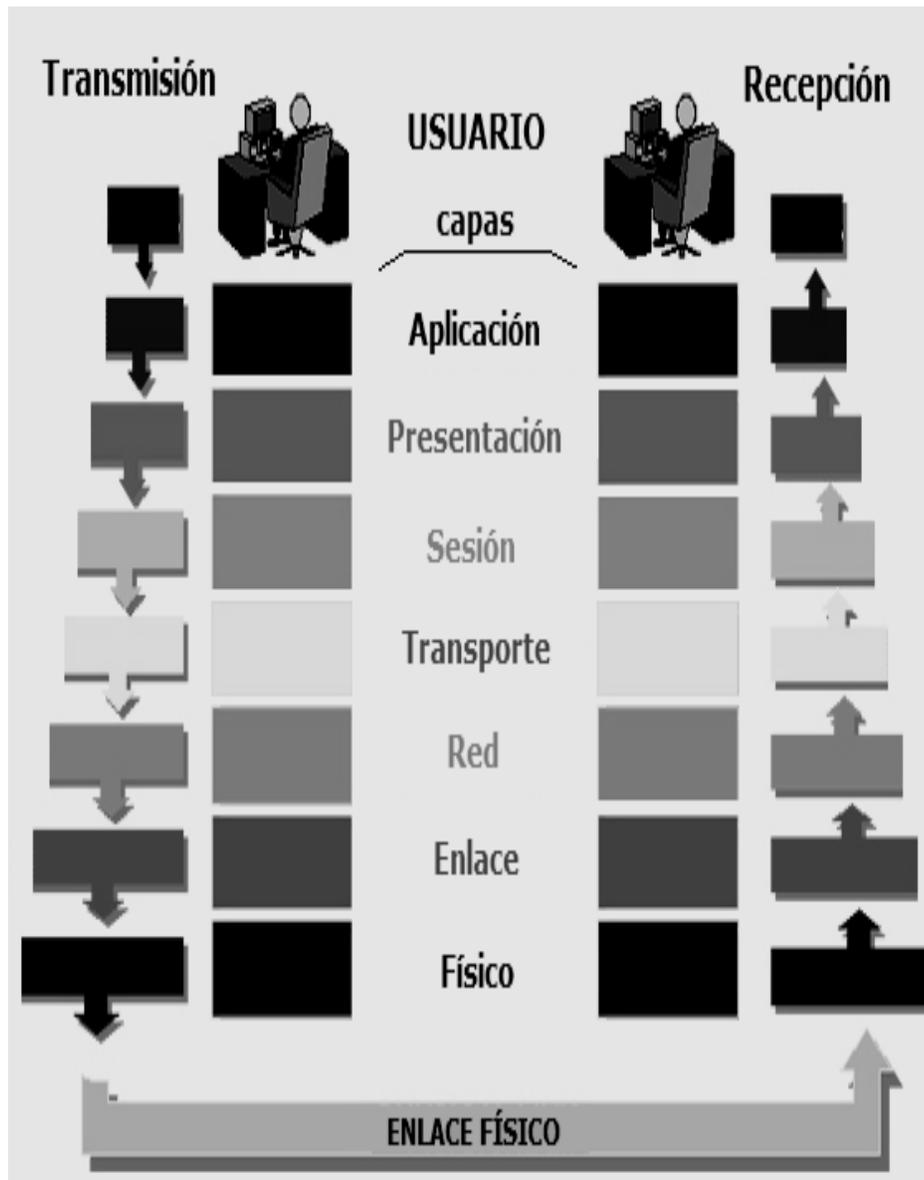


Figura 1.22 Modelo OSI

✧ **CAPA 1: NIVEL FÍSICO**

La capa física es la que se encarga de las conexiones físicas de la computadora hacia la red, de ahí su nombre; tanto en lo que se refiere al medio físico, las características del medio y la forma en la que se transmite la información. La capa física es fundamental en el diagnóstico de fallas en las redes y su importancia no debe subestimarse.



✂ CAPA 2: NIVEL DE ENLACE DE DATOS

La capa de enlace de datos recibe peticiones y soluciona los problemas de reenvío, o mensajes duplicados cuando hay destrucción de tramas, esto para que la capa de red reciba la información correcta, además de utilizar los servicios de nivel físico.

El objetivo del nivel de enlace es conseguir que la información fluya, libre de errores, entre dos máquinas que estén conectadas directamente (servicio orientado a conexión). Para lograr este objetivo tiene que montar bloques de información (llamados tramas en este nivel), dotarles de una dirección de nivel de enlace, gestionar la detección o corrección de errores, y ocuparse del control de flujo entre equipos (para evitar que un equipo más rápido desborde a uno más lento).

✂ CAPA 3: NIVEL DE RED

La capa de red tiene como misión conseguir que los datos lleguen desde el origen al destino aunque no tengan conexión directa. Ofrece servicios al nivel superior, nivel de transporte, y se apoya en el nivel de enlace, es decir, utiliza sus funciones.

Para conseguir este objetivo tiene que realizar ciertas tareas:

- ✂ Asignación de direcciones de red únicas
- ✂ Interconexión de subredes distintas
- ✂ Encaminamiento de paquetes
- ✂ Control de congestión

Lo más importante es eliminar los cuellos de botella que se producen al saturarse la red de paquetes enviados, por lo que también es necesario encaminar cada paquete con su destinatario.

✂ CAPA 4: TRANSPORTE

Su función básica es aceptar los datos enviados por las capas superiores, dividirlos en pequeñas partes si es necesario, y pasarlos a la capa de red. La función de este nivel es asegurar que el receptor reciba exactamente la misma información que ha



querido enviar el emisor, y a veces asegura al emisor que el receptor ha recibido la información que le ha sido enviada.

- ✘ Acepta los datos del nivel de sesión, fragmentándolos en unidades más pequeñas en caso necesario y los pasa al nivel de red.
- ✘ Multiplexaje.
- ✘ Regula el control de flujo del tráfico de extremo a extremo.
- ✘ Reconoce los paquetes duplicados.

En esta capa se proveen servicios de conexión para la capa de sesión que serán utilizados finalmente por los usuarios de la red al enviar y recibir paquetes.

✘ **CAPA 5: SESIÓN**

Esta capa ofrece varios servicios que son cruciales para la comunicación, como son:

- ✘ Control de la sesión a establecer entre el emisor y el receptor (quién transmite, quién escucha y seguimiento de ésta).
- ✘ Control de la concurrencia (que dos comunicaciones a la misma operación crítica no se efectúen al mismo tiempo).
- ✘ Mantener puntos de verificación (checkpoints), que sirven para que, ante una interrupción de transmisión por cualquier causa, la misma se pueda reanudar desde el último punto de verificación en lugar de repetirla desde el principio.
- ✘ Referencia a los dispositivos por nombre y no por dirección.
- ✘ Permite escribir programas que correrán en cualquier instalación de red.

Por lo tanto, el servicio provisto por esta capa es además proveer los servicios utilizados para la organización y sincronización del diálogo entre usuarios y el manejo e intercambio de datos. En muchos casos, los servicios de la capa de sesión son parcialmente, o incluso, totalmente prescindibles. En conclusión esta capa es la que se encarga de mantener el enlace entre los dos computadores que estén transmitiendo archivos.


✂ CAPA 6: PRESENTACIÓN

El objetivo de la capa de presentación es encargarse de la representación de la información, de manera que aunque distintos equipos puedan tener diferentes representaciones internas de caracteres (ASCII, Unicode, EBCDIC), números (little-endian tipo Intel, big-endian tipo Motorola), sonido o imágenes, los datos lleguen de manera reconocible.

Esta capa es la primera en trabajar más el contenido de la comunicación que la forma en la que se establece la misma. En ella se tratan aspectos tales como la semántica y la sintaxis de los datos transmitidos, ya que distintas computadoras pueden tener diferentes formas de manejarlas.

Asimismo esta capa se encarga de manejar las estructuras de datos abstractas y realizar las conversiones de representación de datos necesarias para la correcta interpretación de los mismos. Esta capa también permite cifrar los datos y comprimirlos. En pocas palabras es un traductor. Se puede decir que en teoría esta capa presenta los datos a la capa de aplicación tomando los datos recibidos y transformándolos en formatos como texto imágenes y sonido.

✂ CAPA 7: APLICACIÓN

Esta capa describe cómo hacen su trabajo los programas de aplicación (navegadores, clientes de correo, terminales remotos, transferencia de ficheros etcétera). Ofrece a las aplicaciones, de usuario o no, la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, como correo electrónico (POP y SMTP), gestores de bases de datos y servidor de ficheros (FTP).

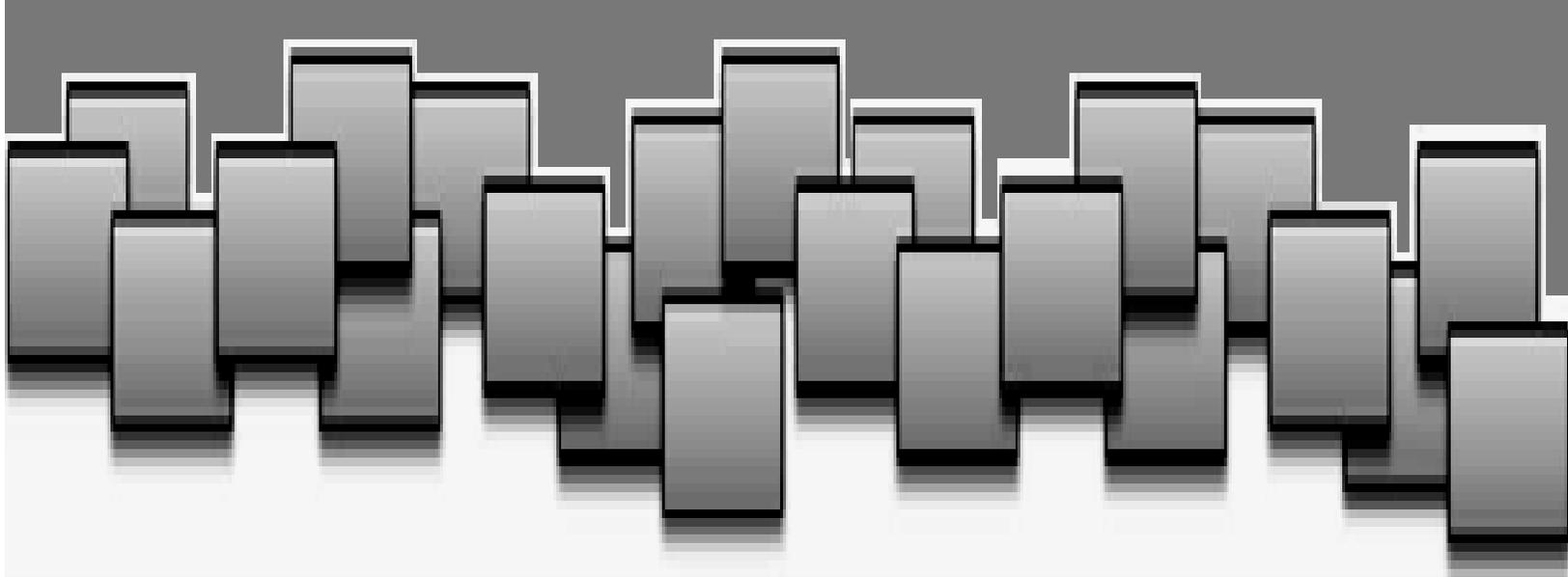
Otra función de esta capa es la de transferencias de archivos cuando los sistemas de archivos de las máquinas son distintos solucionando esa incompatibilidad. También se encarga de sistema de correo electrónico, y otros servicios de propósitos generales. El nivel de aplicación es siempre el más cercano al usuario. Pero cabe aclarar que el usuario normalmente no interactúa directamente con el nivel de aplicación. Suele interactuar con programas que a su vez interactúan con el nivel de aplicación pero ocultando la complejidad subyacente.



LECTURAS RECOMENDADAS

Andrew S. Tanenbaum. **“COMPUTER NETWORKS”**, Cuarta Edición, Editorial Prentice Hall, 2003.





CAPÍTULO 2

REDES DE ACCESO INALÁMBRICO

2.1 TECNOLOGÍA DE RED IEEE 802

El estándar 802.11 es miembro de la familia del IEEE 802, la cual es una serie de especificaciones para las tecnologías de LAN. En la Figura 2.1 se muestra una relación entre los diversos componentes de la familia 802 y su lugar en el modelo de referencia OSI.

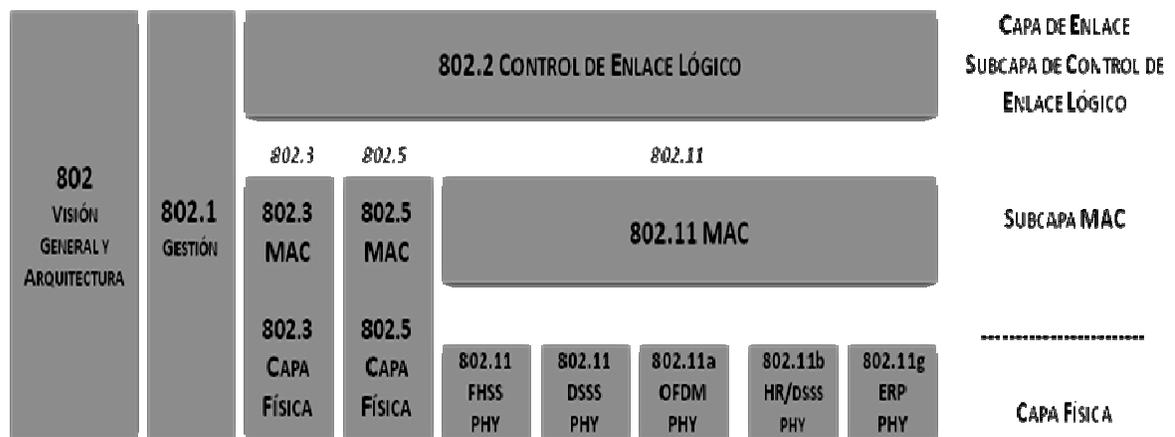


Figura 2.1 La Familia IEEE 802 y su relación con el modelo OSI



Las especificaciones del IEEE 802 están enfocadas en las dos capas más bajas del modelo OSI. Todas las redes construidas bajo la familia 802 tienen tanto componentes de la subcapa **MAC** (*Medium Access Control / Control de Acceso al Medio*) como de la capa física. En la subcapa MAC se encuentra un conjunto de reglas que determinan cómo se accede al medio y cómo se envían los datos, pero los detalles de la transmisión y recepción son una tarea de la capa física.

Las especificaciones individuales de la familia 802 están definidas por el segundo número del mismo. Por ejemplo, el 802.3 contiene las especificaciones para el **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access Network with Collision Detection / Acceso Múltiple con Sensado de Portadora y Detección de Colisiones*), el cual está relacionado con Ethernet.

Otras especificaciones se describen en otras partes del estándar 802. El 802.2 define una capa de enlace, la **LLC** (*Logical Link Control / Control de Enlace Lógico*), la cual puede ser usada por cualquier capa más abajo de una tecnología LAN. La gestión de las características para redes 802 están especificadas en el estándar 802.1.

El estándar 802.11 incluye el 802.11 MAC y dos capas físicas: La Capa Física **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum / Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia*) y la Capa de Enlace **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum / Espectro Ensanchado por Secuencia Directa*). Las posteriores revisiones del estándar 802.11 han adicionado nuevas capas físicas.

La revisión del estándar 802.11b especifica el **HR/DSSS** (*High Rate DSSS / Alto Índice DSSS*) y la revisión 802.11a describe una capa física basada en **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal*).

El estándar 802.11g contiene la más reciente capa física en el modelo. Ésta ofrece más velocidad a través del uso de OFDM, pero con compatibilidad con el 802.11b. Cuando los usuarios con 802.11b y el 802.11g coexisten en un mismo punto de acceso **AP** (*access point*), un estándar adicional es requerido, reduciendo la máxima velocidad para los usuarios del estándar 802.11g. Por ello el estándar 802.11 permite el acceso a las redes móviles; para lograr esta meta, un sin número de características adicionales fueron incorporadas en la subcapa MAC. Como resultado, puede que el 802.11 MAC parezca demasiado complejo comparado con otras especificaciones de la familia del IEEE 802.





2.1.1 TERMINOLOGÍA Y DISEÑO

Las redes diseñadas bajo el estándar 802.11 se componen principalmente de cuatro componentes básicos, los cuales se muestran en la Figura 2.2

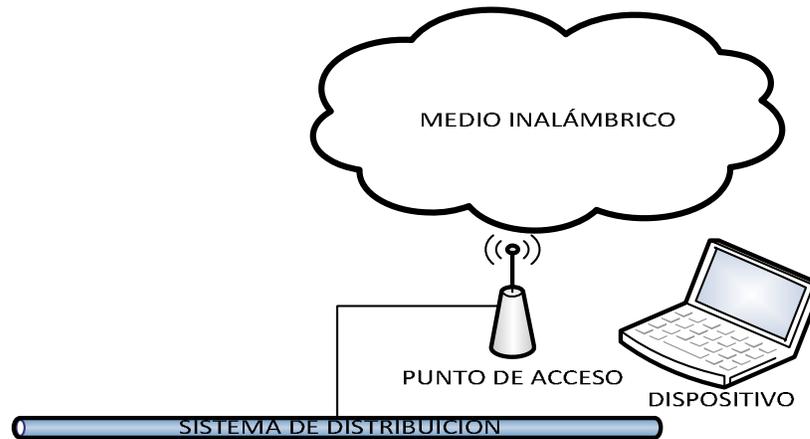


Figura 2.2 Componentes de una red LAN 802.11

✧ SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Cuando distintos puntos de acceso están conectados a una amplia área de cobertura, éstos deben comunicarse mutuamente para rastrear los movimientos de las estaciones móviles. El sistema de distribución es el componente lógico del estándar 802.11 usado para reenviar las tramas hasta su destino. El estándar 802.11 no especifica ninguna tecnología en particular para el sistema de distribución. En la mayoría de los productos comerciales, el sistema de distribución está implementado como una combinación de puentes y un medio del sistema de distribución, el cual es el *backbone* de la red empleado para transmitir tramas entre los puntos de acceso, esto es llamado por simplicidad el *backbone* de la red.

✧ ACCESS POINTS O PUNTOS DE ACCESO (AP)

Un punto de acceso provee la conexión entre uno o más dispositivos de una red LAN inalámbrica, denominadas WLAN, y una LAN. Los puntos de acceso son conectados usualmente a una red LAN por medio de cableado UTP a un hub o switch. Los dispositivos se comunican con el punto de acceso sobre el enlace



inalámbrico, dando a éstos el acceso a todos los dispositivos directamente al hub o al switch, incluyendo al router del otro lado del hub, el cual suministra el acceso a Internet. Los llamados puntos de acceso desempeñan la función de hacer un puente entre una red alámbrica y una red inalámbrica. Éstos tienen más funciones, pero la más importante es la de crear ese enlace y proveer el acceso a Internet.

✂ MEDIO INALÁMBRICO

Para poder transferir tramas entre estaciones, el estándar utiliza un medio inalámbrico. Distintas y diferentes capas físicas se definen; la arquitectura permite que múltiples capas físicas se desarrollen para ser soportadas por el estándar 802.11 MAC. Inicialmente dos capas físicas de radio frecuencia RF y una capa física infrarroja estaban estandarizadas, sin embargo las capas de RF han probado ser más populares.

✂ DISPOSITIVOS

Las redes se construyen para transferir datos entre las diversas estaciones. Las estaciones pueden ser computadoras con una interfaz para red inalámbrica. Típicamente, estas estaciones son móviles. Pero ésta no es una razón por la que las estaciones deban ser móviles, en algunos ambientes las redes inalámbricas se utilizan para evitar un cableado, y muchas computadoras de escritorio son conectadas a redes WLAN.

2.2 TOPOLOGÍAS

La estructura básica de una red bajo el estándar 802.11 es el **BSS** (*Basic Service Set / Conjunto de Servicios Básicos*), el cual es un simple grupo de estaciones que se comunican entre ellos. Las comunicaciones tienen lugar dentro de algún área difusa, llamada área de servicios básicos que definen las características de propagación del medio inalámbrico. Cuando una estación está en un área de servicios básicos, ésta puede comunicarse con otros miembros de la BSS. Las BSS pueden ser de dos tipos, los dos tipos se ilustran en la Figura 2.3

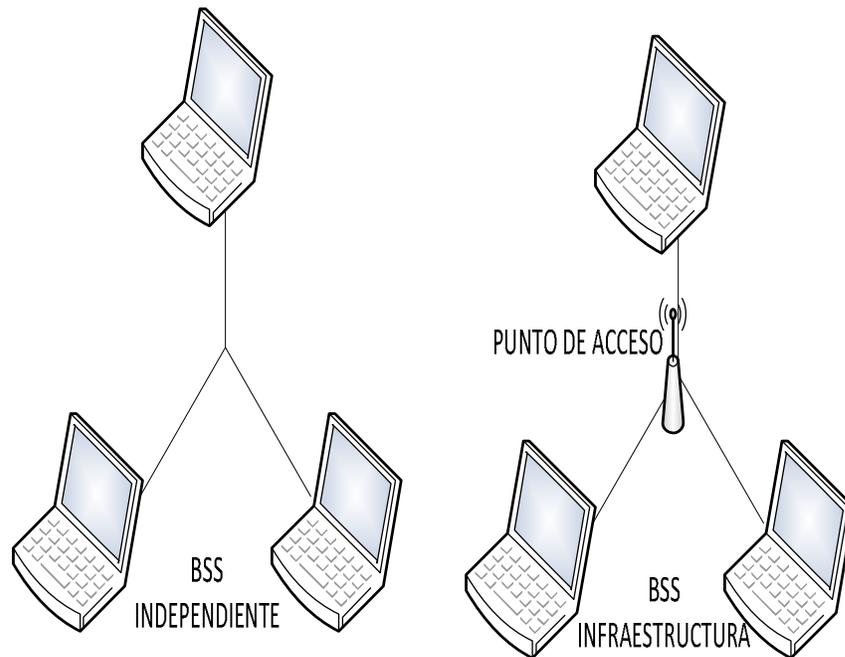


Figura 2.3 Tipos de BSS

✧ REDES INDEPENDIENTES O AD HOC

Las estaciones BSS independientes se comunican directamente unos con otros y tienen un rango de comunicación directa. Típicamente una BSS independiente está compuesta por un pequeño número de estaciones el cual tiene un propósito específico y un período de tiempo de duración pequeño.

Debido a su corta duración, a su tamaño reducido y a su objetivo específico estas redes Independientes BSS también son denominadas **Ad-Hoc BSS** o simplemente **Ad-Hoc**. En esta topología, las propias estaciones inalámbricas crean la red LAN y no existe ningún controlador central ni puntos de acceso. Cada estación se comunica directamente con las demás estaciones de la red, en lugar de pasar por un controlador central. Esta topología es práctica en lugares en los que pueden reunirse pequeños grupos de equipos que no necesitan acceso a otra red.

✂ REDES INFRAESTRUCTURA

Las redes Infraestructura se distinguen por el uso de un punto de acceso. Los puntos de acceso se emplean en todas las comunicaciones en redes infraestructura, incluyendo comunicaciones entre nodos móviles en la misma área de servicio. Si una estación móvil en una red infraestructura BSS necesita comunicarse con una segunda estación móvil, la comunicación tendría que hacer dos saltos. Primero, la estación móvil de origen transfiere la trama al punto de acceso. Después el punto de acceso lo transfiere a la estación destino.

El punto de acceso une la red WLAN y la red LAN, asimismo sirve de controlador central de la red WLAN. El punto de acceso coordina la transmisión y recepción de múltiples estaciones inalámbricas dentro de una extensión específica; la extensión y el número de estaciones dependen del estándar de conexión inalámbrica que se utilice y del producto.

En la modalidad de infraestructura, puede haber varios puntos de acceso para dar cobertura a una zona grande o un único punto de acceso para una zona pequeña, ya sea un hogar o un edificio pequeño.

En una red infraestructura las estaciones deben estar *asociadas* con un punto de acceso para obtener los servicios de red. La asociación es el proceso en el cual las estaciones móviles se unen en una red 802.11. Las estaciones móviles siempre inician el proceso de asociación y los puntos de acceso deben elegir entre dar o denegar el acceso, basándose en el contenido de las peticiones de la asociación. La asociación es también exclusiva de parte de la estación móvil, esto es, una estación móvil puede estar asociada sólo con un punto de acceso.

✂ ÁREAS DE SERVICIOS EXTENDIDAS

Las redes BSS pueden ofrecer cobertura en pequeñas oficinas y hogares, pero éstas no pueden proveer cobertura de red a grandes áreas. El estándar 802.11 permite redes inalámbricas de tamaño arbitrario que pueden crearse mediante enlaces de redes BSS en un **ESS** (*Extended Service Set / Conjunto de Servicios Extendidos*).

Un conjunto de servicios extendidos se crea encadenando redes BSS junto con un *backbone* de la red. 802.11 no especifica una tecnología en particular para el *backbone*, pero requiere que suministre un conjunto específico de servicios.

Los dispositivos dentro de la misma ESS pueden comunicarse mutuamente; si bien estos dispositivos pueden estar en diferentes áreas de servicios básicos y también pueden estar moviéndose entre áreas de servicios básicos. Los puntos de acceso pueden actuar como bridges o puentes, por lo que la comunicación directa entre dispositivos en una ESS requiere que el *backbone* de la red también sea una capa de conexión. Cualquier conexión de la capa de enlace puede ser empleada.

Distintos puntos de acceso en un área pueden conectarse a un hub o a un switch, o pueden usar una LAN virtual, denominadas VLAN, si la conexión de la capa de enlace puede extenderse a lo largo del área. Los puntos de acceso en una ESS operan permitiendo al mundo exterior el uso de una sencilla dirección MAC para comunicarse con estaciones en algún punto dentro de la ESS.

En la Figura 2.4, el router utiliza sencillas direcciones MAC para enviar tramas a las estaciones móviles; los puntos de acceso con los cuales las estaciones móviles son asociadas envían las tramas. Los routers permanecen sin conocer la posición del dispositivo móvil y retransmiten al punto de acceso para enviar la trama.

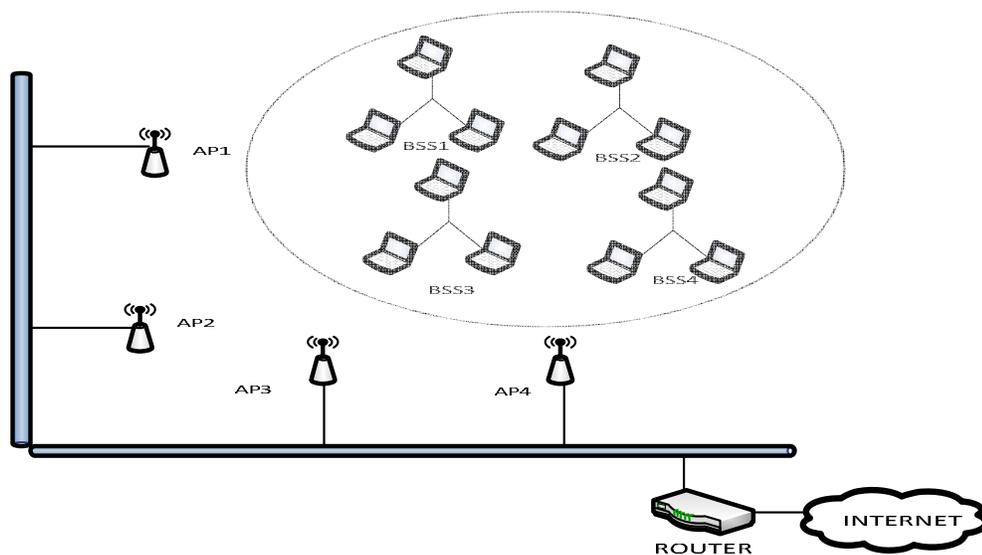


Figura 2.4 Conjunto de Servicios Extendidos

2.3 ARQUITECTURA LÓGICA

2.3.1 CAPA FÍSICA

Uno de los principales componentes de la arquitectura del estándar 802.11 es la capa física. La capa física está dividida en dos subcapas: **PLCP** (*Physical Layer Convergence Procedure / Procedimiento de Convergencia de Capa Física*) y **PMD** (*Physical Medium Dependent / Dependiente del Medio Físico*).

La subcapa PLCP es la encargada de mantener unidas las tramas de la MAC y las transmisiones de radio en el aire. Normalmente, las tramas incluyen un preámbulo que ayuda a sincronizar las transmisiones entrantes. Los requisitos del preámbulo dependen del tipo de modulación, sin embargo, el PLCP añade su propio encabezado a cualquier trama transmitida. La subcapa PMD es la responsable de transmitir los bits que recibe de la subcapa PLCP. La capa física también incorpora la función **CCA** (*Clear Channel Assessment / Evaluación de Canal Libre*) que indica a la MAC cuando una señal es detectada. (Figura 2.5)



Figura 2.5 Capas Modelo OSI

La capa física de cualquier red define la modulación y la señalización características de la transmisión de datos. IEEE 802.11 define tres posibles opciones para la elección de la capa física:

- ☒ **DSSS** (*Espectro Expandido por Secuencia Directa*)
- ☒ **FHSS** (*Espectro Expandido por Salto de Frecuencias*)
- ☒ Luz **Infrarroja** en Banda Base.

En cualquier caso, la definición de tres capas físicas distintas se debe a las sugerencias realizadas por los distintos miembros del comité de normalización, que han manifestado la necesidad de dar a los usuarios la posibilidad de elegir en función de la relación entre costos y complejidad de implementación, por un lado, y prestaciones y fiabilidad, por otra.

Aunque existen dos tipos de tecnologías que emplean las radiofrecuencias, la **Banda Estrecha** y la **Banda Ancha**, también conocida como **Espectro Ensanchado**, ésta última es la que más se utiliza.

La tecnología de espectro ensanchado, utiliza todo el ancho de banda disponible, en lugar de utilizar una portadora para concentrar la energía a su alrededor. Tiene muchas características que le hacen sobresalir sobre otras tecnologías de radiofrecuencias, como la de banda estrecha que utiliza microondas, ya que, por ejemplo, posee excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias y a sus posibilidades de cifrado. Ésta, como muchas otras tecnologías, proviene del sector militar.

Existen dos tipos de tecnología de espectro ensanchado:

✧ **ESPECTRO ENSANCHADO POR SECUENCIA DIRECTA (DSSS)**

Es una técnica de modulación que utiliza un código de pseudoruido para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral, es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada. La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal.

En esta técnica se genera un patrón de bits redundante, llamada señal de chip, para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de unos que de ceros. Sólo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir,

por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica DSSS, la modulación **DBPSK** (*Differential Binary Phase Shift Keying / Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria Diferencial*) y la modulación **DQPSK** (*Differential Quadrature Phase Shift Keying / Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura Diferencial*), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

Recientemente el IEEE ha revisado este estándar, y en esta revisión, conocida como 802.11b, además de otras mejoras en seguridad, aumenta esta velocidad hasta los 11Mbps, lo que incrementa notablemente el rendimiento de este tipo de redes.

✂ ESPECTRO ENSANCHADO POR SALTO DE FRECUENCIA (FHSS)

Esta tecnología consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada *dwell time* e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo. (Figura 2.6)

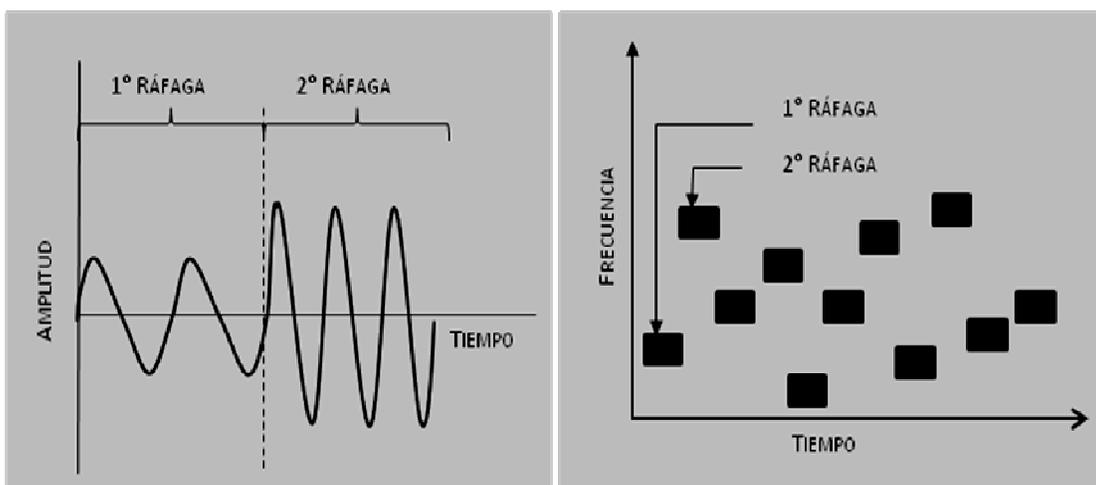


Figura 2.5 FHSS

El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer.

Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, en el nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia **FSK** (*Frequency Shift Keying / Modulación por Desplazamiento de Frecuencia*), con una velocidad de 1Mbps ampliable a 2Mbps.

En la revisión del estándar, la 802.11b, esta velocidad también ha aumentado a 11Mbps. La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexión en frecuencia.

Por otro lado, en el estándar 802.11 se adicionaron otras revisiones basadas en tecnología de radiofrecuencia:

- ✘ 802.11a: **OFDM** PHY (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal*).
- ✘ 802.11b: **HR/DS** o **HR/DSSS** PHY (*High Rate Direct Sequence / Secuencia Directa de Alta Tasa*).
- ✘ 802.11g: **OFDM** PHY (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal*).

✂ 802.11b, 802.11g y 802.11a

La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. Esta revisión tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del estándar CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbps sobre TCP y 7.1 Mbps sobre UDP.

Aunque también utiliza una técnica de ensanchado de espectro basada en DSSS, en realidad la extensión 802.11b introduce **CCK** (*Complementary Code Keying / Modulación por Cambios de Código Complementario*) para llegar a velocidades de 5.5 y 11 Mbps.

La revisión del estándar 802.11b fue la primera conocida bajo el acrónimo **Wi-Fi** (Wireless Fidelity) y fue la primera también en conseguir éxito comercial.

OFDM es un esquema de transmisiones que cada vez es más utilizado para los sistemas inalámbricos. Las revisiones 802.11a, 802.11g y 802.11n están basadas en OFDM.

La revisión 802.11a es un suplemento del estándar 802.11 que especifica la transmisión a 5 GHz (IEEE 2003a). Utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz con una velocidad máxima de 54 Mbps, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbps.

802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

Dado que la banda de 2.4 GHz tiene gran uso, el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presentan menos interferencias. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; esto significa también que los equipos que

trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

La revisión 802.11g utiliza la banda de 2.4 GHz pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, o cerca de 24.7 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del 802.11a. Es compatible con el estándar 802.11b y utiliza las mismas frecuencias.

Buena parte del proceso de su diseño consideró el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo 802.11g la presencia de nodos bajo el 802.11b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Los equipos que trabajan bajo el estándar 802.11g llegaron al mercado muy rápidamente, incluso antes de su ratificación. Esto se debió en parte a que para construir equipos bajo este nuevo estándar se podían adaptar los ya diseñados para el estándar 802.11b.

RANGOS DE FRECUENCIA

Existen diversos rangos de frecuencia que pertenecen a la capa física, los cuales se definen de la siguiente forma:

- ✧ **ISM** (Industrial, Científica y Médica) banda de frecuencia disponible sin requerimientos de licencia en la mayoría de los países de 2.4 a 2.4835 GHz usada en 802.11b/g. La banda de frecuencia 2.4 GHz es muy “ruidosa” debido a su gran popularidad, usada en WLAN, teléfonos inalámbricos y dispositivos Bluetooth.
- ✧ **UNII** (Unlicensed-National Information Infrastructure) 5 GHz con tres subbandas. Usada por la 802.11a. 5GHz implica menor interferencia pero tiene la desventaja de mayores pérdidas de propagación (pérdidas geométricas y absorción por lluvia, edificios, humanos) y celdas pequeñas.

2.3.2 CAPA DE ENLACE

La capa de enlace de datos recibe peticiones del nivel de red y utiliza los servicios del nivel físico. Esta capa tiene funciones específicas entre las cuales se puede incluir las siguientes:

- ☒ Direccionamiento físico
- ☒ Topología de red
- ☒ Notificación de error
- ☒ Secuenciamiento de las tramas
- ☒ Control de flujo

La IEEE ha subdividido la capa de enlace de datos en dos subcapas: **LLC** (*Logical Link Control / Control de Enlace Lógico*) y **MAC** (*Medium Access Control / Control de Acceso al Medio*).

La subcapa de LLC de la capa de enlace de datos administra las comunicaciones entre dispositivos sobre un solo enlace en una red. LLC es definido en las especificaciones de IEEE 802.2, soporta servicio orientado a conexión y servicio orientado a la no conexión, ambos, usado por los protocolos de las capas más altas.

La subcapa MAC de la capa de enlace de datos administra el protocolo de acceso al medio físico de red, además de una serie de funciones para realizar las operaciones propias de las redes inalámbricas, en general, se encarga de gestionar y mantener las comunicaciones entre estaciones, coordinando el acceso a un canal de radio compartido y utilizar su capa para detectar la portadora, la transmisión y recepción de tramas.

Las especificaciones IEEE definen las direcciones MAC, que permiten que varios dispositivos se identifiquen sin repetición, entre unos a otros en la capa de enlace de datos.

Diseñar un protocolo de acceso al medio para las redes inalámbricas es mucho más complejo que hacerlo para redes cableadas. Ya que deben considerarse las dos topologías de una red inalámbrica Ad-Hoc y las basadas en infraestructura. Además de los dos tipos de topología diferentes se deben tener en cuenta:

- ✘ Perturbaciones ambientales, es decir, interferencias.
- ✘ Variaciones en la potencia de la señal.
- ✘ Conexiones y desconexiones repentinas en la red.
- ✘ Roaming, que son nodos móviles que van pasando de celda en celda

MECANISMOS DE ACCESO

Los mecanismos de acceso especifican la forma en que la subcapa MAC accede al medio de comunicación para la red inalámbrica. Existen dos mecanismos principales de acceso:

- ✘ Protocolos con Arbitraje: **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access / Acceso Múltiple por División de Frecuencia*) y **TDMA** (*Time Division Multiple Access / Acceso Múltiple por División de Tiempo*).
- ✘ Protocolos de Contienda: **CSMA/CA** (*Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance / Acceso Múltiple con Sensado de Portadora y Evasión de Colisiones*), **CDMA** (*Code Division Multiple Access / Acceso Múltiple por División de Código*) y **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access Collision Detection / Acceso Múltiple con Sensado de Portadora y Detección de Colisiones*).

Aunque también se han diseñado protocolos que son una mezcla de ambos.

TDMA

En el TDMA cada transmisor tiene un intervalo de tiempo (*ranura*) específico. Una vez alcanzada la ranura de tiempo, el transmisor envía por el ancho de banda completo durante el periodo fijo de la ranura. Normalmente se usa en redes Infraestructura con un punto de acceso. Las estaciones móviles solicitan al punto de acceso una ranura libre para transmitir. El punto de acceso asigna las ranuras a las estaciones móviles mediante transmisiones por difusión (a todas las terminales), con la dirección de la estación a la que se concede la ranura. TDMA requiere mecanismos muy precisos de sincronización entre los nodos participantes para evitar interferencias.

FDMA

En el FDMA el ancho de banda de frecuencias total asignado se divide en varias subbandas de frecuencia (*canales*). Una vez asignado un canal de frecuencia específico a una estación, ésta lo utiliza durante todo el período de transmisión de una trama. Al igual que TDMA, se usa en redes Infraestructura con un punto de acceso. Los canales de frecuencia también se asignan por demanda, mediante un canal de señalización independiente. FDMA es un mecanismo simple que permite el acceso inmediato al canal, pero muy ineficiente para utilizarse en sistemas informáticos, los cuales presentan un comportamiento típico de transmisión de información por breves períodos de tiempo.

CDMA

Uno de los problemas a resolver en comunicaciones de datos es cómo repartir entre varios usuarios el uso de un único canal de comunicación o medio de transmisión, para que puedan gestionarse varias comunicaciones al mismo tiempo. CDMA emplea una tecnología de espectro ensanchado y un esquema especial de codificación, por el que a cada transmisor se le asigna un código único, escogido de forma que sea ortogonal respecto al del resto; el receptor capta las señales emitidas por todos los transmisores al mismo tiempo, pero gracias al esquema de codificación puede seleccionar la señal de interés si conoce el código empleado.

CSMA/CD

El primer paso al transmitir es saber si el medio está libre. Para eso se escucha lo que dicen los demás. Si hay portadora en el medio, es que está ocupado y, por tanto, se continúa escuchando. En caso contrario, el medio está libre y se puede transmitir. A continuación, se espera un tiempo mínimo necesario para poder diferenciar bien una trama de otra y comenzar a transmitir. Si durante la transmisión de una trama se detecta una colisión, entonces las estaciones que colisionan abortan el envío de la trama y envían una señal de reinicio. Después de una colisión, las estaciones esperan un tiempo aleatorio, llamado *tiempo de backoff*, para volver a transmitir una trama.

En redes inalámbricas, resulta a veces complicado llevar a cabo el primer paso que es escuchar al medio para determinar si está libre o no. Por este motivo, surgen dos problemas que pueden ser detectados:

1. Problema del nodo oculto: La estación cree que el medio está libre cuando en realidad no lo está, pues está siendo utilizado por otro nodo al que la estación no escucha.
2. Problema del nodo expuesto: La estación cree que el medio está ocupado, cuando en realidad lo está ocupando otro nodo que no interferiría en su transmisión a otro destino.

CSMA/CA

El nodo espera un tiempo aleatorio de tiempo después de que el medio queda inactivo. Si el medio sigue inactivo pasado ese tiempo, el nodo transmite. El nodo con tiempo de espera más corto obtendrá el acceso primero. No hay garantía de que el nodo destino reciba la información del nodo emisor cuando se utiliza RF. Para solventar esto aparece el **DFW MAC** (*Distributed Foundation Wireless Medium Access Control / Control de Acceso al Medio Inalámbrico Basado en Distribución*). Consiste en enviar un saludo adicional, del que se obtendrá una respuesta positiva en caso de que el nodo destino esté recibiendo. Este tipo de protocolo se usa tanto en Ad-Hoc como Infraestructura y es el más empleado.

Al mismo tiempo este protocolo evita colisiones en lugar de descubrir una colisión, como el algoritmo usado en el 802.3. En una red inalámbrica es difícil descubrir colisiones. Es por ello que se utiliza el CSMA/CA y no el CSMA/CD debido a que entre el final y el principio de una transmisión suelen provocarse colisiones en el medio. En CSMA/CA, cuando una estación identifica el fin de una transmisión espera un tiempo aleatorio antes de transmitir su información, disminuyendo así la posibilidad de colisiones.

2.4 SERVICIOS

✂ BÚSQUEDA (SCANNING)

El estándar 802.11 define tanto la búsqueda activa como pasiva, sistemas que utilizan un adaptador de red para localizar puntos de acceso. La búsqueda pasiva es obligatoria donde cada adaptador de red busca canales individuales para encontrar la mejor señal del punto de acceso. Periódicamente, cada punto de acceso difunde señales y el adaptador de red recibe estas señales mientras busca tomando nota de sus datos. Estas señales contienen datos sobre el punto de acceso. El adaptador de red puede usar esta información para compararla y determinar junto con otras características qué punto de acceso utilizar.

La búsqueda activa es similar salvo que la propia tarjeta inicia el proceso difundiendo una trama de prueba a la que responden todos los puntos de acceso que estén al alcance con otra trama de prueba. En la búsqueda activa se permite que un adaptador de red reciba respuesta inmediata del punto de acceso sin necesidad de esperar a una transmisión de la señal. En la práctica la búsqueda activa impone una carga adicional en la red debido a las tramas de prueba y sus respuestas.

✂ AUTENTICACIÓN (AUTHENTICATION)

La autenticación es el proceso para comprobar la identidad de un adaptador en la red para aceptarlo o rechazarlo. El estándar 802.11 especifica dos formas de autenticación, el sistema abierto y el sistema basado en una clave compartida.

El sistema abierto es obligatorio y consta de dos pasos:

- El adaptador de red inicia el proceso enviando una trama de solicitud de autenticación al punto de acceso.
- El punto de acceso responde con una trama de autenticación que indica si acepta o rechaza la autenticación en el campo de código de estado de la trama.

La autenticación de clave compartida es opcional y básicamente comprueba si la clave WEP es la correcta. El hecho de ser opcional para el protocolo no impide que esté en práctica en la totalidad de los adaptadores y puntos de acceso. Este proceso consta de cuatro pasos:

- El adaptador de red inicia el proceso enviando una trama de solicitud de autenticación al punto de acceso.
- El punto de acceso responde con una trama de autenticación que contiene un texto de desafío.
- El adaptador de red utiliza su clave WEP para cifrar el texto de desafío y lo devuelve al punto de acceso en otra trama de autenticación.
- El punto de acceso descifra el valor cifrado, lo compara con el original y responde con una trama de autenticación que indica si acepta o rechaza la autenticación. Si coinciden el valor original y el de la respuesta el punto de acceso supone que el solicitante tiene la clave correcta.

✂ ASOCIACIÓN

La asociación es un proceso por el cual el punto de acceso reserva recursos y sincroniza con una estación cliente. Una vez que el adaptador de red se ha autenticado, también tiene que asociarse al punto de acceso antes de poder transmitir tramas de datos. La asociación es importante para sincronizar a ambos elementos con información importante como por ejemplo las tasas de transmisión admitidas.

El adaptador inicia la asociación enviando una trama de solicitud de asociación que contiene elementos como las tasas de transferencia admitidas. El punto de acceso reserva memoria para ese cliente, le asigna un ID de asociación y le responde con una trama de respuesta de asociación que contiene el ID de asociación junto con otra información referente al punto de acceso. Una vez que el adaptador de red y el punto de acceso hayan completado el proceso de asociación pueden comenzar a transmitir tramas de datos entre ellos, es decir

el cliente puede utilizar el punto de acceso para comunicar con otros clientes de la red.

✂ **RTS/CTS**

Se puede presentar un problema en una red inalámbrica cuando dos estaciones asociadas al mismo punto de acceso no se ven entre sí. Cuando intenten transmitir ninguna de ellas detectará a la otra por lo que pueden transmitir simultáneamente, lo que origina una corrupción de datos en el resto de las estaciones. Para solucionar este problema se puede establecer un mecanismo para que cada estación notifique al punto de acceso que va a transmitir.

Las funciones **RTS/CTS** (*Request-To Send Clear-To-Send / Petición de envío y Libre para enviar*) permiten al punto de acceso controlar el uso del medio de las estaciones activando RTS/CTS. Si el adaptador activa RTS/CTS, entonces primero enviará una trama RTS al punto de acceso antes de enviar una trama de datos. El punto de acceso responde con una trama CTS indicando que el adaptador puede enviar la trama de datos.

Este proceso de solicitud de envío evita colisiones entre nodos ocultos. Como hemos visto, el uso de RTS/CTS puede solucionar el problema que se presentaba cuando dos nodos asociados al mismo punto de acceso no se ven entre sí.

✂ **MODO AHORRO ENERGÍA (POWER SAVE MODE)**

El funcionamiento normal de las redes inalámbricas supone un acceso constante al medio, es decir, escucha de forma constante la red con el correspondiente consumo de energía. En dispositivos móviles puede representar un serio inconveniente el excesivo consumo de batería, por lo que 802.11 establece unos mecanismos para intentar evitarlo. El mecanismo consiste en apagar el adaptador y hacer que se active en periodos regulares en todos los adaptadores de la red en busca de un paquete especial denominado TIM. Durante el tiempo que transcurre entre paquetes TIM el adaptador se desactiva para ahorrar energía. Todos los adaptadores de una red tienen que activarse simultáneamente para escuchar el TIM del punto de acceso.

Quando un adaptador sabe mediante el TIM que tiene datos pendientes permanece activo el tiempo necesario para recibirlos. El punto de acceso dispone de un buffer para almacenar los datos hasta que los envía al adaptador. Una vez que el adaptador ha recibido sus datos, entonces vuelve al modo inactivo.

✂ FRAGMENTACIÓN

La función de fragmentación permite que una estación divida los paquetes de datos en tramas más pequeñas para evitar la necesidad de retransmitir tramas grandes en un ambiente de interferencias de radiofrecuencia. Los bits erróneos ocasionados por las interferencias es más probable que afecten a una simple trama y se disminuye la carga si sólo se retransmiten tramas pequeñas. Como en el caso de RTS/CTS, los usuarios normalmente pueden establecer un umbral de tamaño de trama máximo para que el adaptador active la fragmentación. El tamaño de la trama es mayor que el umbral fijado, el adaptador lo divide en múltiples tramas adaptadas a ese tamaño.

2.5 SEGURIDAD

En los inicios de la tecnología inalámbrica, los procedimientos y mecanismos de seguridad eran tan débiles que podía ganarse acceso con relativa facilidad hacia redes WLAN de algunas compañías desde la calle.

Existe el término *wardriving*, que se refiere a la acción de recorrer una ciudad para buscar la existencia de redes inalámbricas y ganar acceso a ellas. En la actualidad, existen técnicas más sofisticadas y complejas, las cuales fortalecen los inconvenientes de los mecanismos WLAN y ayudan a mantener la confidencialidad y resistencia ante los ataques dirigidos hacia este tipo de redes.

La seguridad WLAN abarca dos elementos: el acceso a la red y la protección de los datos, autenticación y cifrado, respectivamente. Las violaciones a la seguridad de la red inalámbrica, generalmente, vienen de los puntos de acceso no autorizados, aquellos instalados sin el conocimiento de los administradores de la red, o que operan con las funcionalidades de protección deshabilitadas (que es la configuración por omisión en los dispositivos inalámbricos).

Estas fallas en la seguridad, pueden ser aprovechadas por personal no autorizado que en caso de que logren asociarse con el punto de acceso, ponen en riesgo no únicamente la infraestructura inalámbrica, sino también la red alámbrica a la cual se conecta.

Los principales mecanismos de seguridad para las redes inalámbricas son los siguientes:

✂ MECANISMOS DE LA ESPECIFICACIÓN ORIGINAL 802.11

Utiliza tres mecanismos para proteger las redes WLAN:

- **SSID** (*Service Set Identifier / Identificador de Conjunto de Servicios*): Es una contraseña simple que identifica la WLAN. Los clientes deben tener configurado el SSID correcto para acceder a la red inalámbrica. El uso del SSID como método único de control de acceso a la infraestructura es peligroso, porque típicamente no está bien asegurado. Comúnmente el punto de acceso está configurado para distribuir este parámetro en su señal guía, *beacon*.
- **Filtrado con dirección MAC**: Restringe el acceso a computadoras cuya dirección MAC de su adaptador está presente en una lista creada para cada punto de acceso en la WLAN. Este esquema de seguridad se rompe cuando se comparte o se extravía el adaptador inalámbrico.
- **WEP** (*Wired Equivalent Privacy / Privacidad Equivalente a Cable*): Es un esquema de cifrado que protege los flujos de datos entre clientes y puntos de acceso como se especifica en el estándar 802.11. Aunque el soporte para WEP es opcional, la certificación Wi-Fi exige WEP con claves de 40 bits. El estándar recomienda dos esquemas para definir las claves WEP. En el primer esquema, un conjunto de hasta cuatro claves establecidas es compartido por todas las estaciones (clientes y puntos de acceso). El problema con estas claves es que cuando se distribuyen ampliamente, la seguridad se ve comprometida. En el segundo esquema cada cliente establece una relación de llaves con otra estación. Este método ofrece una alternativa más segura, porque menos estaciones tienen las llaves, pero la distribución de las mismas se dificulta con el incremento en el número de estaciones.

✧ 802.1x

Para contrarrestar los defectos de la seguridad WEP, el IEEE creó el estándar 802.1X. Se trata de un mecanismo de seguridad diseñado para proporcionar acceso controlado entre dispositivos inalámbricos clientes, puntos de acceso y servidores. Emplea claves dinámicas en lugar de claves estáticas usadas en la autenticación WEP, y requiere de un protocolo de autenticación para reconocimiento mutuo. Es necesario un servidor que proporcione servicios de autenticación remota de usuarios entrantes (RADIUS, Servicio Remoto de Autenticación de Usuarios Entrantes).

✧ WPA (WI-FI PROTECTED ACCESS / ACCESO DE PROTECCIÓN WI-FI)

Contiene los beneficios de cifrado del protocolo de integridad de clave temporal **TKIP** (*Temporal Key Integrity Protocol / Protocolo de Llaves Integras Temporales*). TKIP fue construido tomando como base el estándar WEP, además está diseñado y analizado con detalle por importantes criptógrafos para reforzar la protección ofrecida en las redes WLAN. También emplea 802.1X como método de autenticación en conjunto, con uno de los protocolos EAP estándar disponibles. **EAP** (*Extensible Authentication Protocol / Protocolo de Autenticación Extensible*) es un protocolo punto a punto que soporta múltiples métodos de autenticación.

Debido a que la tecnología WLAN se basa en la transmisión sobre ondas de radio, con cobertura en áreas que pueden ser ambientes públicos o privados, se han tomado en cuenta importantes consideraciones acerca de la seguridad en la red; las actividades están dirigidas por la especificación de seguridad **WPA** desarrollada por el IEEE en conjunto con la alianza Wi-Fi.

Esta especificación proporciona un mayor cifrado de datos para corregir las vulnerabilidades de seguridad WEP, además de añadir autenticación de usuarios que no se habían contemplado.

LECTURAS RECOMENDADAS

Matthew Gast. **“802.11 WIRELESS NETWORKS: THE DEFINITIVE GUIDE”**. Segunda Edición, Ed. O'Reilly, 2005.

Toby J. Velte, Anthony T. Velte. **“CISCO 802.11 WIRELESS NETWORKING QUICK REFERENCE”**. Cisco Systems Inc., 2006.

Bernhard H. Walke, Stefan Mangold, Lars Berlemann. **“IEEE 802 WIRELESS SYSTEMS”**. Ed. John Wiley & Sons, 2006.

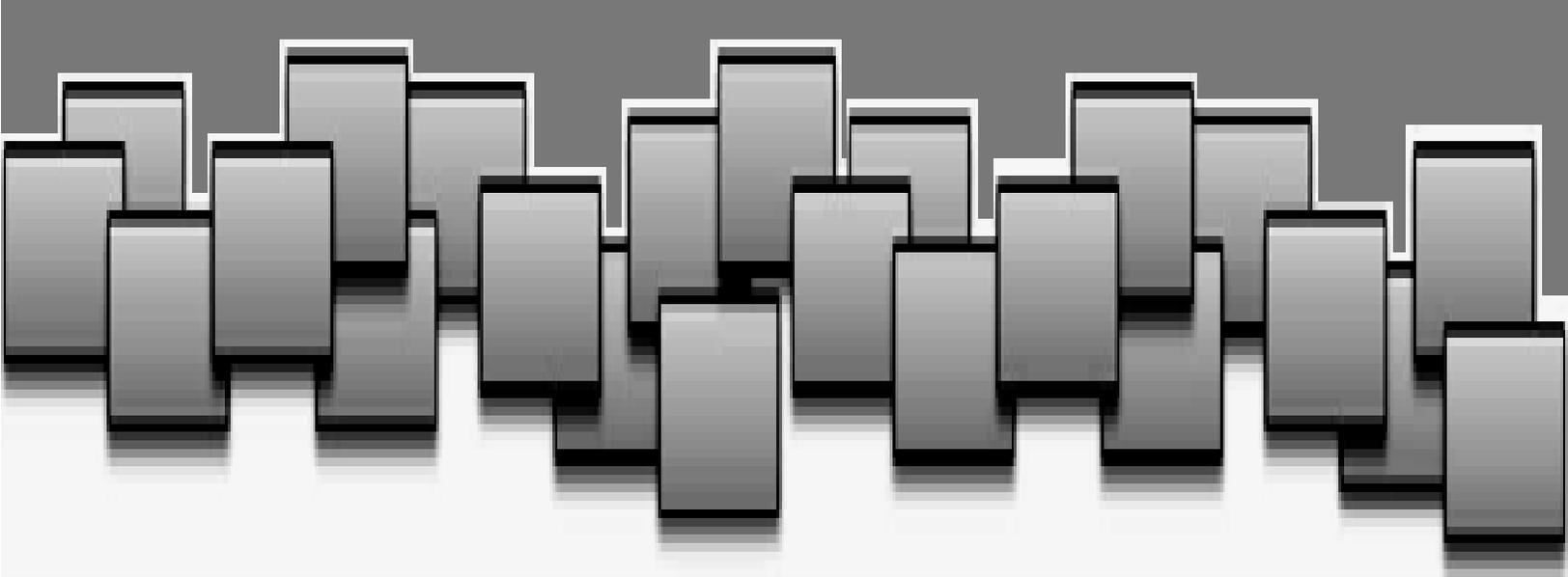
Nathan J. Muller. **“WIRELESS A TO Z”**, Ed. McGraw-Hill, 2003.

Jim Geier. **“WIRELESS LANS”**. Segunda Edición, Ed. Sams, 2002.

Jim Geier . **“WIRELESS NETWORKS FIRST STEP”**, Ed. Cisco Press, 2004.

ISO/IEC 8802-11 Edición 1999

IEEE Estándar 802.11, Edición 1999



CAPÍTULO 3

WIMAX

3.1 ESTÁNDAR IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.16 se creó con el objeto de agilizar la expansión de los servicios de banda ancha. Además, los sistemas que se basan en el estándar 802.16-2004 tienen la ventaja de ser interoperables entre los diferentes vendedores, lo cual disminuye los costos de implementación. Para el estándar se han dispuesto varias bandas de frecuencias:

- ☒ Bandas 10-66GHz licenciadas.
- ☒ Bandas por debajo de 11GHz.
- ☒ Bandas 5-6GHz no licenciadas.

Este estándar fue diseñado para Wireless MAN, acceso inalámbrico de banda ancha en zonas metropolitanas de área amplia. Soporta multimedia (voz, video, datos, juegos interactivos, etcétera), con una alta capacidad y se enfoca principalmente a *soluciones de última milla* en zonas metropolitanas, por lo que provee un uso más

eficiente del ancho de banda e integra mecanismos de **QoS** (*Quality of Service / Calidad de Servicio*) a nivel físico además de estar soportado por el grupo WiMAX.

3.1.1 TOPOLOGÍAS

✂ REDES PUNTO A MULTIPUNTO

El enlace inalámbrico IEEE 802.16 opera con una estación base central y una antena sectorizada la cual es capaz de manejar múltiples sectores independientes simultáneamente. Dentro de un canal de frecuencia dada y un sector de antena, todas las estaciones reciben la misma transmisión o parte de la misma. La estación base es el único transmisor funcionando en esta dirección, de manera que transmite sin necesidad de coordinar con otras estaciones.

Las estaciones suscritas comparten el enlace hacia las estaciones base bajo demanda. Dependiendo de la clase de servicio utilizado, la estación suscrita puede mantener los derechos de transmisión o el mismo puede ser garantizado por la estación base luego de recibir el pedido por parte del usuario.

Dentro de cada sector, los usuarios se apegan a un protocolo de transmisión que controla la contención entre usuarios y brinda al servicio la libertad de acoplarse a los requerimientos de ancho de banda y retardo de cada aplicación de usuario. En general las aplicaciones de datos son tolerantes al retardo, pero las de tiempo real como video y voz requieren servicio de manera uniforme y a veces en un esquema muy rígido. (Figura 3.1)

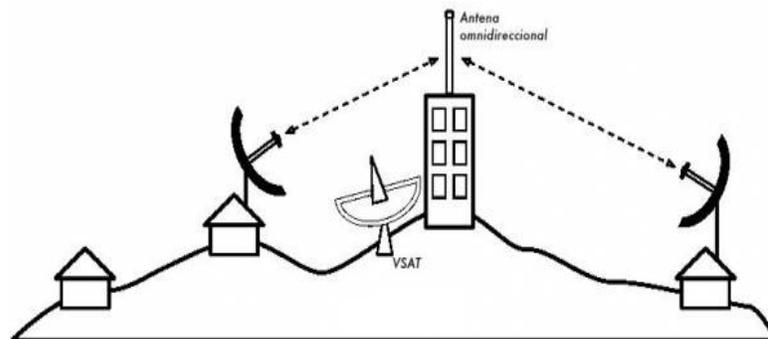


Figura 3.1 Topología Punto-Multipunto

La subcapa MAC es orientada a conexión y todas las comunicaciones de datos están en el contexto de conexión. El flujo de servicio puede ser provisto cuando una estación suscrita es instalada en el sistema. Rápidamente luego del registro de la estación suscrita, las conexiones son asociadas con este flujo de servicio (una conexión por flujo de servicio) para proveer una referencia contra quien requiere el ancho de banda.

Adicionalmente, pueden establecerse conexiones nuevas cuando un servicio de cliente necesite cambios. Una conexión define el mapeo entre el proceso de convergencia que utiliza el MAC y el flujo de servicio. El flujo de servicio define los parámetros de QoS que son intercambiados en la conexión.

✂ REDES MESH

En las redes Multipunto a Multipunto también denominadas redes **Ad-Hoc** o en malla **Mesh**, no hay una autoridad central. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí.

La diferencia principal entre los modos Mesh y punto a multipunto radica en que en el modo punto a multipunto el tráfico sólo ocurre entre la estación base y la estación suscrita, mientras que en el modo Mesh el tráfico puede ser ruteado a través de estaciones suscritas y puede ocurrir directamente entre estaciones suscritas. Los sistemas Mesh son típicamente omnidireccionales o para antenas dirigidas de 360°. Para este tipo de redes, se pueden realizar las operaciones de dos maneras diferentes: **Distribuida** o **Centralizada**.

En la distribuida, todos los nodos deben coordinar con los demás la manera de transmitir para evitar colisiones con los datos y realizar el control de tráfico, y además deben enviar por difusión (*broadcast*) su respectivo estado (recursos disponibles, peticiones y concesiones) a todos sus vecinos.

En la centralizada, los recursos se asignan de una manera más concentrada, ya que la estación base Mesh, recopila varias peticiones de un determinado sector y otorga los respectivos recursos para cada enlace al mismo tiempo que comunica estas decisiones a las demás estaciones del sector. Figura 3.2

El beneficio de este diseño de red es que si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, pueden comunicarse entre sí. Las buenas implementaciones de redes Mesh son auto reparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen. Extender una red Mesh es tan sencillo como agregar más nodos. Si uno de los nodos en el entorno tiene acceso a Internet, esa conexión puede ser compartida por todos los clientes.

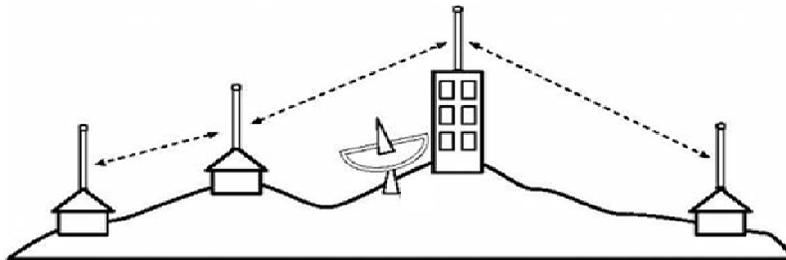


Figura 3.2 Red Mesh

Dos grandes desventajas de esta topología son el aumento de la complejidad y la disminución del rendimiento. La seguridad de esta red también es un tema importante, ya que todos los participantes pueden potencialmente transportar el tráfico de los demás. La resolución de los problemas de las redes multipunto a multipunto tiende a ser complicada, debido al gran número de variables que cambian al moverse los nodos. Las redes multipunto a multipunto generalmente no tienen la misma capacidad que las redes punto a punto o las redes punto a multipunto, debido a la sobrecarga adicional de administrar el enrutamiento de la red, y al uso más intensivo del espectro de radio.

3.1.2 CAPA MAC

La capa MAC es la encargada de coordinar el acceso al medio y está compuesta de tres subcapas:

- I. **CS** (*Convergence Sublayer / Subcapa de Convergencia*): Se encarga de transformar los datos de las redes externas y pasarlos a la **CPS** (*Common Part Sublayer / Subcapa de Parte Común*) convertidos en **SDU** (*Service Data Units / Unidades de Datos de Servicio*), que son las unidades de datos que se transfieren entre capas adyacentes. Se encuentra sobre la CPS y utiliza los servicios provistos por ésta.

II. CPS (*Common Part Sublayer / Subcapa de Parte Común*): Provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, establecimiento y mantenimiento de la conexión. En esta subcapa se prestan los servicios para el transporte de datos en una conexión, cada una de las cuales está asociada a un solo servicio de datos el cual a su vez, está asociado a unos parámetros de QoS que determinan su comportamiento:

- ☒ Concesión no Solicitada (UGS)
- ☒ Reproducción en tiempo real del sistema (rtPS)
- ☒ Reproducción en no tiempo real del sistema (nrtPS)
- ☒ Mejor Esfuerzo (BE)

III. SS (*Security Sublayer/Subcapa de Seguridad*): Presta los servicios de autenticación, intercambio seguro de claves y cifrado. Permite proveer a los usuarios un servicio de banda ancha seguro a través de su conexión fija mediante el cifrado de las conexiones, y al operador protegerse contra las conexiones no autorizadas forzando el cifrado.

3.1.3 CAPA FÍSICA

Para esta capa se han definido cinco especificaciones diferentes, para satisfacer las necesidades de las diferentes aplicaciones específicas:

I. WirelessMAN-SC PHY

Esta especificación está diseñada para bandas de frecuencia entre 10GHz y 66GHz, con un alto grado de flexibilidad de manera que se les permite a los proveedores de servicio la habilidad de optimizar los sistemas con respecto al planeamiento celular, costo, capacidades de radio y servicios. Para permitir el uso flexible del espectro son soportadas las configuraciones **TDD** (*Time Division Duplexing / Dúplex en Dominio del Tiempo*) y **FDD** (*Frequency Division Duplexing / Dúplex en Dominio de la Frecuencia*), en canales de frecuencia que pueden estar entre 20MHz y 28MHz, y los anchos de banda para la transmisión están entre 32Mbps y 134.4Mbps. Estos últimos valores varían dependiendo de la técnica de modulación utilizada, la cual puede ser **QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying/ Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura*), **16-QAM** (*Modulación de Amplitud en Cuadratura*) o **64-QAM**.

II. WirelessMAN-Sca PHY

Está basada en una tecnología de una sola portadora para aplicación **NLOS** (*Non Line Of Sight / Sin Línea de Vista*) en las bandas de frecuencia por debajo de 11GHz. Para las bandas que requieren licencia, los anchos de banda de canal permitidos deben estar limitados por el ancho de banda regulado dividido por cualquier potencia de dos no menor que 1.25 MHz. Debe soportar bien sea TDD o FDD para el uso del espectro y las modulaciones que implementa son: **BPSK** (Binary Phase Shift Keying/ Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria), **QPSK**, **16-QAM**, **64-QAM** y **256-QAM**.

III. WirelessMAN-OFDM PHY

Está basado en la modulación OFDM para ambientes NLOS y en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Su orientación son principalmente los accesos fijos como residencias y empresas. Los símbolos OFDM están conformados por cierto número de subportadoras, el cual depende de la **FFT** (*Fast Fourier Transform / Transformada de Fourier Rápida*) que se aplique, en este caso 256. Las modulaciones que se usan son: **BPSK**, **QPSK**, **16-QAM** Y **64-QAM** (opcional en bandas no licenciadas).

IV. WirelessMAN-OFDMA PHY

Esta especificación está diseñada para enlaces NLOS en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz, con canales para bandas licenciadas de ancho igual al ancho de banda asignado por el ente regulador al operador dividido entre alguna potencia de dos sin ser menor a 1.0MHz utilizando modulaciones **QPSK**, **16-QAM** o **64-QAM**.

V. WirelessHUMAN PHY

Diseñada para canales frecuencia de 10MHz y 20MHz, espaciados 5MHz entre sí, en la banda de frecuencia de 5GHz a 6GHz (EEUU y Europa).

3.1.4 CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

La capa MAC es responsable de hacer la diferencia entre los diversos niveles de QoS requeridos por las aplicaciones que pueden emplearse a través de 802.16, estableciendo las cuatro diferentes clases de servicio ya mencionadas: **UGS**, **rtPS**, **nrtps** y **BE**.

Un aspecto importante respecto al tema de la QoS es el modelo de petición-concesión de ancho de banda, que ayuda para que unos usuarios no se interfieran con los demás, ya que la estación base reserva un tiempo para contención, durante el cual una estación suscrita realiza una petición de un tiempo, y luego la estación base evalúa el nivel de servicio adquirido por ese usuario y le asigna *una ranura (slot)* para que ésta transmita la información. Cabe mencionar que el manejo de la tasa de transmisión de datos individual para cada enlace, permite al sistema utilizar una modulación diferente dependiendo de si el usuario está lejos o cerca de la estación base permitiendo así optimizar la velocidad de transmisión que pueda experimentar el suscriptor.

3.1.5 LA FAMILIA 802.16

La familia 802.16 está compuesta por las siguientes revisiones:

✘ 802.16

- ✓ Interfaz original de banda ancha inalámbrica para la banda de frecuencias de 10-66 GHz.
- ✓ Necesita **LOS** (*Línea de Vista*) entre antena y equipo suscriptor.
- ✓ Aplicaciones para redes punto a multipunto o Mesh.
- ✓ Capa MAC normalizada, QoS, mayor seguridad, modulación adaptativa y ajustes de codificación.
- ✓ Hasta 134 Mbps de velocidad de transmisión a canal de 28MHz.
- ✓ Dos modos de Multiplexión: **TDD** (Dúplex en Dominio del Tiempo) y **FDD** (Dúplex en el Dominio de la Frecuencia).
- ✓ Multidireccionamiento utiliza técnicas de **OFDM** (*Multiplexión Ortogonal por División de Frecuencia*).

✂ **802.16a**

- ✓ Revisión para las bandas de frecuencia de 2-11 GHz.
- ✓ Añade soporte a NLOS (Sin Línea de Vista).
- ✓ Aplicaciones para redes punto a multipunto o Mesh, como acceso a soluciones de última milla de banda ancha.
- ✓ Mantiene la velocidad de transmisión y el alcance.
- ✓ Tamaño de canal variable, espacio del canal de 1.5 a 20MHz.
- ✓ Hasta 75 Mbps de velocidad con canal de 20MHz.
- ✓ Utiliza la capa MAC del estándar original 802.16 pero con mayores capacidades.
- ✓ Utiliza rangos de frecuencia tanto licenciados como no licenciados.

✂ **802.16b**

- ✓ Utiliza la banda de frecuencia de 5 y 6 GHz.
- ✓ Proporciona QoS, para transmisión de voz y video.
- ✓ Trabaja en la modificación del MAC y en capas físicas adicionales para bandas de frecuencias sin licencia.

✂ **802.16c**

- ✓ Ocupa la banda de frecuencia de 10 a 66 GHz.
- ✓ Desarrolla aspectos como la evolución del funcionamiento, prueba y ensayo de los posibles perfiles del sistema.
- ✓ Define los elementos obligatorios que se deben considerar para asegurar la interoperabilidad, entre ellos la seguridad.

✂ **802.16-2004 d**

- ✓ Incorpora las principales características de las revisiones anteriores.
- ✓ Reemplaza a la revisión del estándar IEEE 802.16a.
- ✓ Soporta numerosos elementos obligatorios y opcionales.
- ✓ Teóricamente transmite hasta para un rango de datos de 70Mbps en condiciones ideales, aunque el rendimiento real podría ser superior a 40Mbps.

✂ **802.16e**

- ✓ Mejoras en MAC y Capa Física para soportar suscriptores a velocidades vehiculares.
- ✓ Conserva las técnicas actualizadas en el WiMAX fijo, a las cuales se agrega un soporte robusto para una banda ancha móvil.
- ✓ Basada sobre la tecnología de OFDM soporta 2K, 1K, 512 y 128 portadoras.
- ✓ El sistema de OFDM permite que las señales sean divididas en muchos subcanales de baja velocidad para aumentar la resistencia a la interferencia multidireccional.
- ✓ Banda de frecuencia mayor a 6 GHz.
- ✓ Utiliza NLOS hasta 5 km.
- ✓ Con un ancho de banda de canal de 5 MHz.
- ✓ Con una velocidad de hasta 15 Mbps.

La siguiente tabla muestra las diversas revisiones al estándar 802.16 y sus características más destacadas, haciendo notar que sólo se comparan las versiones 802.16a y la 802.16e debido a que son las que tienen más difusión y con las características más destacadas. Tabla 3.1

Tabla 3.1 Comparativa del estándar 802.16 y sus versiones

IEEE	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10-66 GHz	2-11 GHz	< 6 GHz
Configuración	LOS	NLOS	NLOS
Velocidad de Datos	34 a 134 Mbps (Canal de 28 MHz)	70 a 100 Mbps (Canal de 20 MHz)	Hasta 15 Mbps
Modulación	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	256 Subportadoras OFDM usando QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	Igual que 802.16a
Movilidad	Fijo	Fijo	≤ 113 Km/h
Ancho Banda Canal	20, 25, 28 MHz	Seleccionable 1.25 a 20 MHz	5 MHz (Planificado)
Radio Celda Típico	1.6 a 4.8 Km	4.8 a 8 Km	1.6 a 4.8 Km

3.2 TECNOLOGÍA WIMAX

En los últimos dos años, ha habido una gran cantidad de publicidad y confusión en torno a **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), nombre comercial que recibe el grupo de tecnologías inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.16.

Con respecto al tema de la movilidad de WiMAX, existe una tendencia de compararla con tecnologías celulares basadas en 3G y de llegar a la conclusión de que competirá con 3G e incluso la reemplazará. La realidad es que WiMAX es diferente, aunque la tecnología aún puede desempeñar una función valiosa en el ambiente inalámbrico.

WiMAX es una solución creíble para una serie de problemas que han afectado a la industria inalámbrica fija desde sus inicios, a saber, la falta de un estándar abierto y la ausencia de fabricantes de silicio y proveedores de equipos importantes. Si WiMAX sigue obteniendo más apoyo de la industria, también puede proveer acceso de banda ancha en regiones alejadas y partes del mundo en desarrollo donde el acceso básico de voz o banda ancha mediante un servicio de línea fija no es económicamente viable.

Además, WiMAX potencialmente puede usarse para proveer backhaul a redes celulares o puede usarse para mejorar en forma significativa el rendimiento de los puntos de acceso con redes inalámbricas **Wi-Fi** (*Wireless Fidelity*), aumentando el rendimiento de la red de backhaul y haciendo más fácil y económico desplegar Wi-Fi.

Asimismo WiMAX desarrolla un estándar móvil que no es compatible con la solución de base fija. El estándar móvil teóricamente significa que WiMAX provee acceso inalámbrico de banda ancha en un medio vehicular. Mientras que técnicamente este aspecto puede lograrse aunque sólo tendrá un impacto marginal, a lo sumo, sobre el crecimiento y el uso de servicios 3G.

Además, para cuando la versión móvil de WiMAX esté disponible con una gran cantidad de terminales ofrecidas por una gran variedad de proveedores, las redes de datos 3G avanzadas que usan **1xEV-DO** (*1x Evolution-Data Only*) y **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*) estarán extensamente disponibles en un ambiente bien establecido. A fin de que WiMAX compita exitosamente en el entorno móvil, necesitará ofrecer algo que resulte más convincente que lo que puede ofrecer la

combinación 3G y Wi-Fi u ofrecer el mismo nivel de servicio a un precio más atractivo.

Debido a factores de carácter tecnológico, 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 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. Más aun, las tarjetas de datos Wi-Fi o las soluciones Wi-Fi incorporadas ya están alcanzando precios en extremo atractivos mientras que las soluciones 3G están bajando rápidamente los precios y es probable que ellos sean más atractivos en los próximos años. Figura 3.4

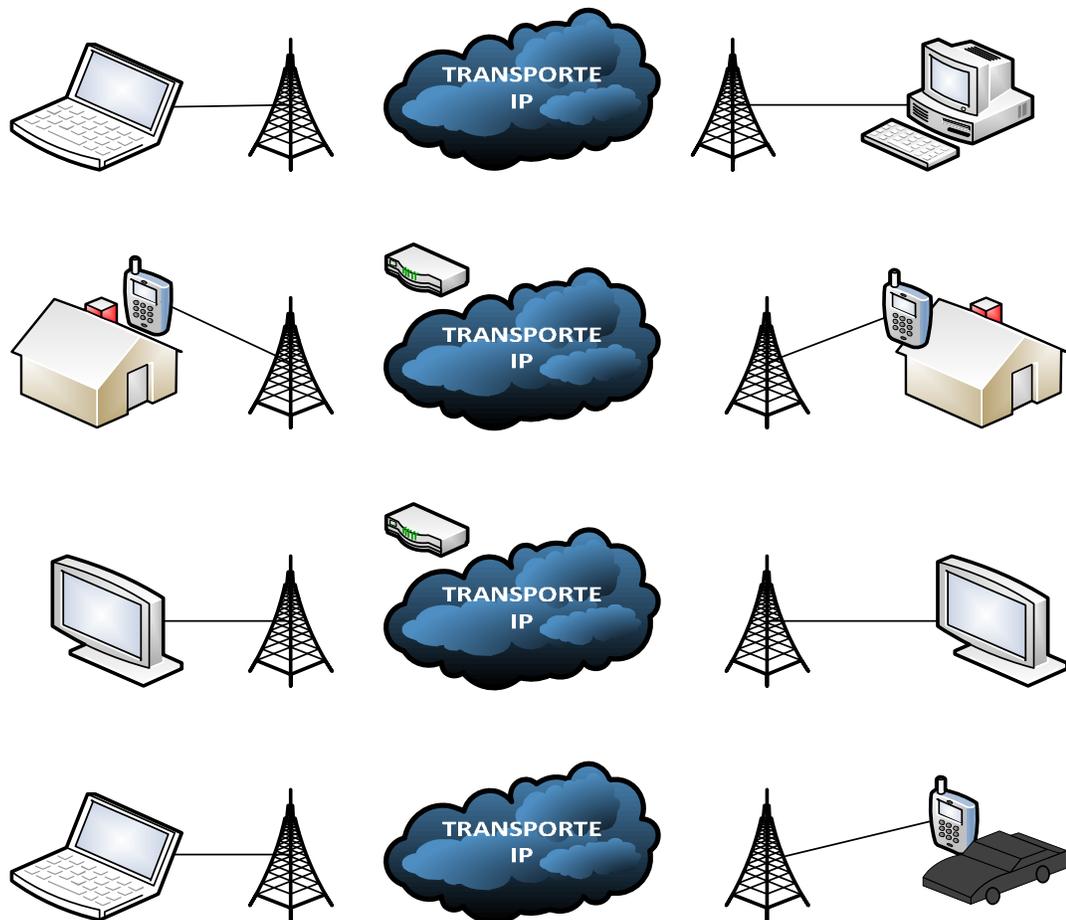


Figura 3.4 WiMAX

Las soluciones embebidas de 3G ya están disponibles, y más soluciones deberán estar disponibles en poco tiempo. Las soluciones Wi-Fi son casi universales ahora, y se espera que sigan evolucionando a medida que IEEE 802 complete su trabajo sobre el 802.11n. En el mejor de los casos, WiMAX sería un complemento a la tecnología 3G mientras trata de competir con los servicios Wi-Fi que ya son económicos, y ambos complementando y compitiendo con servicios de banda ancha de acceso convencional alámbrico.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS WIMAX

Las características principales de esta tecnología se muestran en la siguiente Tabla 3.2 con la cual se puede dar una idea detallada de la tecnología WiMAX:

Tabla 3.2 Características WiMAX

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
SIN LÍNEA DE VISTA	No necesariamente con línea de visión entre la antena y el equipo suscriptor.
MODULACIÓN OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>)	Permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de cable o aire en diversas frecuencias, además usa espaciamiento ortogonal de las frecuencias para prevenir interferencias.
ANTENAS INTELIGENTES	Soporta mecanismos de mejora de eficacia espectral en redes inalámbricas y diversidad de antenas.
TOPOLOGÍA PUNTO A MULTIPUNTO Y DE MULTIPUNTO A MULTIPUNTO O MESH.	Soporta dos topologías de red, servicio de distribución multipunto y multipunto a multipunto para comunicación entre suscriptores.
CALIDAD DE SERVICIO QoS	Califica la operación NLOS sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios, por las condiciones climáticas ni el movimiento vehicular.
FDM (FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING) Y TDM (TIME DIVISION MULTIPLEXING)	Tipos de multiplexaje que soporta para propiciar la interoperabilidad con sistemas celulares (FDM) e inalámbricos (TDM).

SEGURIDAD	Incluye medidas de privacidad y criptografía inherentes en el protocolo. El estándar 802.16 agrega autenticación de instrumentos con certificados x.509 usando DES en modo CBC (<i>Cipher Block Chaining</i>).
BANDAS BAJO LICENCIA	Opera en banda licenciada en 2.4 GHz y 3.5 GHz para transmisiones externas en largas distancias.
BANDAS LIBRES (SIN LICENCIA)	Opera en banda libre en 5.8, 8 y 10.5 GHz (con variaciones según espectro libre de cada país).
CANALIZACIÓN	De 5 y 10 MHz.
CODIFICACIÓN	Adaptiva
MODULACIÓN	Adaptiva
ECUALIZACIÓN	Adaptiva
POTENCIA DE TRANSMISIÓN	Controla la potencia de transmisión.
ACCESO AL MEDIO	Mediante TDMA dinámico
CORRECCIÓN DE ERRORES	ARQ (retransmisión inalámbrica).
TAMAÑO DEL PAQUETE	Ajuste dinámico del tamaño del paquete.
APROVISIONAMIENTO	Aprovisionamiento dinámico de usuarios mediante DHCP y TFTP.
TASA DE TRANSMISIÓN	Hasta 75 Mbps.
ESPECTRO DE FRECUENCIA	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.16a entre 2-11 GHz (LOS) para comunicación entre antenas • IEEE 802.16b entre 5-6 GHz con QoS • IEEE 802.16c entre 10-66 GHz • IEEE 802.16e entre 2-6 GHz (NLOS) para distribución a suscriptores, móvil.
ALCANCE	<ul style="list-style-type: none"> • 20 Km sin Línea de Vista. • 4- 6 Km en áreas de alta densidad demográfica.
APLICACIONES	Voz, video y datos.
FORO WIMAX	Formado por 250 organizaciones con fabricantes de chips, de equipos y prestadores de servicios. Promueve la interoperabilidad entre diferentes marcas.

3.2.2 PROPAGACIÓN NLOS Y LOS

El canal radio de un sistema de comunicación inalámbrico es a menudo descrito como **LOS** (*Line Of Sight / Línea de Vista*) o **NLOS** (*No Line Of Sight / Sin Línea de Vista*).

La propagación LOS es la condición cuando una señal viaja sobre el aire directamente desde el transmisor inalámbrico al receptor inalámbrico sin pasar por ningún obstáculo. LOS es una condición ideal para la transmisión inalámbrica debido a que los únicos retos vienen del clima o de la atmósfera y los parámetros y características en las que la frecuencia opera. En un ambiente LOS, las señales pueden alcanzar largas distancias con una señal con mejor intensidad y más alto rendimiento.

En cambio, NLOS está condicionado para cuando la señal que viene desde el transmisor inalámbrico atraviese severas obstrucciones antes de llegar al receptor inalámbrico. La señal puede ser reflejada, refractada, difractada, absorbida o esparcida. Esto provoca que múltiples señales lleguen al receptor inalámbrico en diferente tiempo, desde diferentes partes y con diferente intensidad. Consecuentemente, los sistemas inalámbricos desarrollaron ambientes para NLOS los cuales incorporan un número de técnicas para sobrellevar este problema y esto hace los sistemas más complejos que para los orientados a transmisiones en LOS.

La tecnología NLOS también reduce los gastos de instalación debido a la facilidad de ubicación de los **CPE** (*Customer Premise Equipment / Equipo Local del Cliente*). La tecnología NLOS y las características mejoradas en WiMAX hacen posible el uso de equipos de interior CPE. Esto tiene dos principales retos; inicialmente superar las pérdidas de penetración y segundo, cubrir distancias razonables con transmisores de baja potencia. WiMAX hace esto posible, y la cobertura NLOS puede ser mejorada por algunas capacidades opcionales de WiMAX.

3.2.3 WIMAX FIJO Y MÓVIL

El estándar 802.16-2004 del IEEE, el cual revisa y reemplaza versiones del IEEE 802.16a y 802.16d, está diseñado para el acceso fijo que el ISO modela. La antena se ubica generalmente en el techo de una habitación o en un poste, de forma



semejante a una antena de televisión vía satélite. 802.16-2004 también se ocupa de instalaciones interiores, y para las cuales no es necesario ser tan vasto como al aire libre. El estándar 802.16-2004 es una solución inalámbrica de acceso a Internet de banda ancha que presenta una solución de última milla. WiMAX fijo funciona desde 2.5 GHz con licencia, 3.5 GHz y 5.8 GHz sin licencia.

El estándar 802.16e del IEEE es una revisión de la especificación base 802.16-2004 que deriva al mercado móvil añadiendo portabilidad.

El estándar del 802.16e utiliza OFDMA (*Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia*), por lo que es semejante a OFDM en que separa en subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, llega un poco más allá agrupando subportadoras múltiples en subcanales. Una sola estación cliente del suscriptor estaría capacitada para usar todos los subcanales dentro del periodo de transmisión, o los múltiples clientes serían capaces de transmitir simultáneamente, usando cada uno una parte del número total de subcanales. El estándar 802.16-2004 mejora la solución de última milla en varios aspectos cruciales:

- a. La interferencia de la multitrayectoria
- b. El retraso difundido
- c. La robustez

Se obtiene una mejora en la actuación en situaciones donde no hay una línea de vista directa entre la estación base y la del suscriptor gracias a la interferencia de multitrayectoria y retraso. El Control de Acceso a Medios emergente del 802.16-2004 está optimizado para los enlaces de larga distancia porque está diseñado para soportar retrasos mayores y variaciones de retraso.

La especificación 802.16 acomoda mensajes del Control de Acceso a Medios los cuales permiten a la estación base preguntar a los suscriptores, pero introduciendo un cierto retraso temporal. Un equipo WiMAX que trabaja en bandas de frecuencia carentes de licencia usará TDD. Un equipo funcionando dentro de bandas de frecuencia autorizadas usará ya sea TDD o FDD. El estándar del 802.16-2004 usa OFDM para la optimización de servicios inalámbricos de datos. Figura 3.7



3.3 TECNOLOGÍA WI-FI Y OTRAS TECNOLOGÍAS CONTRA WIMAX

3.3.1 WIMAX Y WI-FI

La diferencia fundamental entre WiMAX y Wi-Fi radica en que están diseñados para aplicaciones diferentes. El Wi-Fi es una tecnología de red local diseñada para agregar movilidad a redes LAN cableadas privadas. WiMAX fue diseñada para entregar servicio de acceso de banda ancha (BWA) al Área Metropolitana.

La idea detrás del BWA es de proveer servicios de acceso de Internet inalámbrico a localidades físicas para competir con los servicios de cable modem y xDSL. Entonces mientras el Wi-Fi soporta rangos de transmisión de hasta unos pocos cientos de metros, los sistemas WiMAX pueden soportar usuarios en rangos de hasta 48 kilómetros. Además de la diferencia obvia en el rango de transmisión hay un número de mejoras en la tecnología de enlace de radio que distinguen al WiMAX del Wi-Fi.

El estándar de LAN inalámbrica IEEE 802.11 describe cuatro interfaces de enlace de radio que operan en la banda de radio no licenciada de 2.4 GHz o 5 GHz. A diferencia, los estándares WiMAX incluyen un rango mucho mayor de implementaciones potenciales para satisfacer los requerimientos alrededor del mundo.

✂ COBERTURA Y RANGO

Tabla 3.6 Comparativa Cobertura y Rango de Wi-Fi y WiMAX

WI-FI	WIMAX
Solución para interiores Punto a Multipunto	Solución para exteriores para Punto a Multipunto
Celdas pequeñas < 100 m	Celdas grandes 7-10 km
Problema del nodo oculto CSMA/CA	Enlaces de larga distancia 50 km
Técnica simple de modulación 64 bits en 802.11 a/g	Sin problemas del nodo oculto DAMA-TDMA
	Técnica compleja de modulación 256 bits

✧ ESCABILIDAD Y RENDIMIENTO

Tabla 3.7 Comparativa Escabilidad y Rendimiento de Wi-Fi y WiMAX

WI-FI	WIMAX
Canal de ancho de banda fijo 20MHz	Canal de ancho de banda flexible 1.5- 20MHz
Pocos canales no solapables 3-4	Muchos canales no solapables, depende del ancho de banda de cada canal
Tasa máxima de datos 54 Mbps	Tasa máxima de datos 70Mbps en canales de 20 MHz

✧ CALIDAD DE SERVICIO

Tabla 3.8 Comparativa Calidad de Servicio QoS de Wi-Fi y WiMAX

WI-FI	WIMAX
QoS sólo soportado por el 802.11e	Alcanzando por sondeo cuatro tipos de servicios: <ul style="list-style-type: none"> • UGS • rtPS • nrtPS • BE
Priorización limitada a una sola conexión	
Una sola política de QoS para todas las conexiones en un mismo punto de acceso	

Tabla 3.9 Comparativa de las características técnicas de Wi-Fi y WiMAX

	WIMAX 802.16a	WI-FI 802.11b	WI-FI 802.11a/g
Aplicación Primaria	Acceso Inalámbrico de Banda Ancha	LAN Inalámbrico	LAN Inalámbrico
Banda de Frecuencia	Licenciada/No Licenciada 2- 11 GHz	2.4 GHz ISM	2.4 GHz ISM (g) 5 GHz U-NII (a)
Ancho de Banda de Canal	Ajustable 1.25 MHz a 20 MHz	25 MHz	20 MHz
Half/Full Duplex	Full	Half	Half
Tecnología de Radio	OFDM (256 canales)	DSSS	OFDM (64 canales)

Eficiencia Ancho de Banda	5 bps/Hz	0.44bps/Hz	2.7 bps/Hz
Modulación	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM	QPSK	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
FEC	Código Convolutacional Reed Solomon	Operacional RC4 (AES en 802.11i)	Opcional RC4 (AES en 802.11i)
Cifrado	Obligatoria 3DES Opcional AES	No	Código Convolutacional
Protocolo de Acceso	Requerido/Garantizado	CSMA/CA	CSMA/CA
Mejor Esfuerzo	Sí	Sí	
Prioridad de Datos	Sí	802.11e WME	802.11e WME
Retardo Consistente	Sí	802.11e WSM	802.11e WSM
Movilidad	WiMAX Móvil (802.16e)	En desarrollo	En desarrollo
Mesh	Sí	Propietario Fabricante	Propietario Fabricante

Tabla 3.10 Comparativa de características.

WI-FI	WIMAX	IMPACTO GRUPAL
MERCADO		
Despliegue en áreas de cobertura local, como hotspots públicos, hogares y negocios.	Despliegue en áreas de cobertura amplia, incluyendo áreas metropolitanas para banda ancha móvil inalámbrica así como áreas rurales y remotas para la conexión de última milla y servicios portátiles.	Modelo de Mejor Conexión: Los usuarios de WiMAX y Wi-Fi se conectan dependiendo de su localización, cobertura y los requerimientos de calidad de servicios QoS.
Productos certificados por la Alianza Wi-Fi.	Productos certificados por el Foro WiMAX	Clientes y puntos de accesos interoperables y competencia multivendedor.
Embebido en el 97% de	CPE (Equipo de Premisa)	Con la integración en

laptops, otros equipos portátiles y otros dispositivos.	del Cliente) y PC están disponibles en la actualidad; embebidas en laptops, equipos portátiles a partir del 2008.	dispositivos se espera reducir el subsidio de dispositivos y bajar los Costos Brutos.
CARACTERÍSTICAS		
Provee soluciones fijas y portátiles.	Provee soluciones fijas, portables y móviles.	Completo rango de servicios en el hogar y la oficina, así como en el camino.
Opera en el espectro de frecuencia sin licencia. Soluciones actuales usando las bandas de frecuencia 2.4 HGz y 5 GHz.	Opera en la banda con licencia. Soluciones actuales usando las bandas de frecuencia 2.3GHz, 2.5 GHz y 3.5 GHz.	Los servicios provistos pueden multiplicarse en ambos tipos de espectro.
Bajo rango por arriba de 100 metros por un solo punto de acceso.	Cobertura en áreas metropolitanas móviles por arriba de varios kilómetros por una sola estación base. Mayor rango (de más de varios de kilómetros) para fijos y despliegues de más baja densidad.	Coberturas económicas para áreas largas, por ejemplo hotspots Wi-Fi en cafeterías, hoteles y aeropuertos; WiMAX para una cobertura total externa por hotspots.
OFDM interfaz aérea, como se encuentra definido en el estándar IEEE 802.11 a/g/n.	Escalable a OFDM interfaz aérea, como se encuentra definido en el estándar IEEE 802.16e-2005.	Tecnologías similares significa ahorro de costos en ambos el silicón y niveles de dispositivos.
Los dispositivos se conectan por medio de un punto de acceso Wi-Fi a una red operador de IP y a internet.	Los dispositivos se conectan por medio de una estación base a la red operador de IP y a internet.	Componentes de red IP comunes, como servicios de autenticación, servicios de plataforma y acceso a puertas de enlace, pueden ser usados.
Implementa MIMO (Multiple Input/ Multiple Output) en el estándar	Soporta tanto MIMO como la categoría beamforming que consiste	La oportunidad de los dispositivos de compartir los componentes de

IEEE 802.11n para conseguir tasas de datos más altas.	en la formación de una onda de señal reforzada mediante el desfase en distintas antenas	antena, de tal manera que reduce el costo de integrar los dispositivos.
OPCIONES		
Evolución en redes Mesh en áreas metropolitanas	Evolución en transmisión multi-saltos para mejorar en rango y la tasa de datos.	Las opciones que proveen cobertura extendida y servicios económicos son más expandidas.
Puntos de acceso que incluyen Wi-Fi para acceso y WiMAX para conectividad de red.	Impulsar avances digitales para ello todas las estaciones base pueden ser montadas en lo alto de las torres.	Costo de despliegue esperado para continuar bajando en una estabilidad de la curva costo-reducción.
VoIP Voz sobre IP es soportado con mejoramiento en IEEE 802.11e/k/r.	VoIP es soportado extendido a tiempo real en una clase de servicio.	Ambas especificaciones de VoIP, sin embargo, algunas operaciones en el espectro sin licencia limitan la certeza de QoS.
IEEE 802.11n alto rendimiento puede ser soportado por aplicaciones digitales como VoIP.	WiMAX provee una alta tasa de datos y varias clases de QoS para soportar video broadcast y multicast.	Un alto rango de servicios a través de redes WiMAX y Wi-Fi puede ser ofrecido.

3.3.2 WIMAX Y OTRAS TECNOLOGÍAS

En la actualidad, las tecnologías utilizadas para implementar redes celulares tienen como principal característica el aumento en la tasa de transmisión de datos, como consecuencia de la necesidad de ofrecer servicios de voz, datos y multimedia. Sin embargo, la mayoría de las redes celulares utilizadas alrededor del mundo están basadas en tecnología 2.5G, las cuales tienen como restricción la velocidad de transmisión de datos. Las empresas operadoras están en la búsqueda de aplicaciones que permitan a las redes 2.5G ofrecer servicios atractivos a los usuarios. Aumentando la vida útil de la red. El acceso móvil no licenciado es la utilización del espectro ofrecido por redes inalámbricas 802.11, 802.16 y otras, utilizando



tecnologías de VoIP con el objetivo de minimizar el costo asociado a la interconexión y ofrecer una mayor cobertura.

WiMAX no es la única solución para entregar servicios de banda ancha inalámbrica. Varias soluciones registradas, particularmente para aplicaciones fijas, están actualmente en el mercado, algunas de éstas, soportan aplicaciones móviles.

Adicionalmente, hay soluciones alternativas que pueden suponerse con WiMAX, particularmente las aplicaciones portables y móviles. Las alternativas más relevantes son los sistemas celulares de tercera generación 3G y los sistemas basados en el estándar 802.11 Wi-Fi.

Alrededor del mundo, los operadores móviles están actualizando sus redes a tecnologías 3G para entregar aplicaciones de banda ancha para sus suscriptores. Operadores de servicios de telefonía móvil que utilizan tecnología GSM (Global Systems for Mobile Communications/Sistemas Globales para Comunicaciones Móviles) están implementando UMTS (Universal Mobile Telephone System/Sistema de Telefonía Universal Móvil) y tecnología HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) como parte de su evolución a 3G.

Convencionalmente los operadores CDMA están implementando 1xEV-DO (1x Evolution Data Optimized) como su solución 3G para datos en banda ancha. Todas estas soluciones 3G proveen rendimiento de datos potencial en el orden de los cientos de kilobits por segundo hasta los megabits por segundo.

HSDPA es una interfaz de aire única de downlink, (se refiere a la bajada de enlace o enlace descendente que se realiza desde los satélites hasta las estaciones terrestres) que es capaz de proveer un máximo uso de la tasa de datos de 14.4 Mbps, usando un canal de 5 MHz. Convencionalmente el promedio de transmisión que el usuario obtiene es de 250 kbps a 750 kbps. Incrementando, tanto la diversidad de recepción móvil como la detección multiusuario, puede proveer de un importante desempeño sobre otros sistemas básicos HSDPA.

1x EV-DO es un estándar de alta velocidad de transmisión definido como una evolución de la segunda generación 2G de los sistemas IS-95 CDMA. El estándar soporta un máximo de tasa de datos de downlink de 2.4 Mbps en un canal de 1.25 MHz. Convencionalmente los usuarios experimentan una transmisión de tasa de datos de alrededor de 100kbps y hasta 300 kbps.



La primera revisión de 1x EV-DO Rev A soporta un máximo de transmisión de 3.1 Mbps en un usuario móvil. La segunda revisión 1x EV-DO Rev B tiene la opción de operar usando canales de banda ancha superiores, ofreciendo potencialmente arriba de los 73 Mbps para el downlink y de 27 Mbps de uplink, (es un enlace ascendente desde una estación terrestre hasta algún satélite).

Adicionalmente para proveer altas velocidades en servicios de transmisión, los sistemas 3G se están desarrollando para soportar servicios multimedia. 1x EV-DO Rev A permite telefonía con voz y video sobre IP. Para hacer este servicio posible, 1X EV-DO reduce la latencia en el enlace al menos en 30 milisegundos e introduce QoS. Los servicios de multicast y broadcast son también soportados en 1x EV-DO. De forma similar, desarrolla soporte para voz y video IP, juegos, así como servicios multicast y broadcast sobre redes UMTS/ HSPA.

También debe denotarse que 3GPP está desarrollando la mayor revisión de estándares 3G. El objetivo de esta evolución es poder ser capaz de soportar un máximo de transmisión de tasa de datos de 100Mbps en el downlink y 20 Mbps en el uplink, con un espectro de eficiencia promedio de tres o cuatro veces la de HSPA. Para lograr esta alta tasa de transmisión y eficiencia del espectro, la interfaz aérea tendría que estar basada en OFDM/OFDMA y MIMO, similares a las de WiMAX.

Ahora, ¿cómo es que WiMAX puede compararse con las capacidades existentes y emergentes de 3G y las de Wi-Fi? El rendimiento de las capacidades de WiMAX depende del canal de banda ancha en el cual es usado. A diferencia de los sistemas 3G, los cuales tienen un canal fijo de banda ancha, WiMAX define un canal seleccionado de banda ancha de 1.25 a 20 MHz, el cual permite un desarrollo flexible.

La dependencia de Wi-Fi y WiMAX a la modulación OFDM, es opuesta a como CDMA es a 3G, permitiéndoles soportar grandes tasas de transmisión. La necesidad del espectro ensanchado hace que las altas tasas de transmisión sean más difíciles en sistemas CDMA.

El hecho es que las especificaciones de WiMAX adecúan múltiples antenas justo para abastecer la eficiencia del espectro. En los sistemas 3G, por otro lado, el soporte de múltiples antenas se encuentra añadido en forma de revisión. Además, la capa física de OFDM usada por WiMAX es más tratable a implementaciones MIMO que los sistemas CDMA desde el punto de vista del requerimiento complejo para una

ganancia comparable. OFDM a su vez hace más fácil explotar la diversidad de frecuencias y la diversidad multiusuario para mejorar su capacidad. Por lo tanto, cuando se compara 3G, WiMAX ofrece mayor tasa de transmisión, mayor flexibilidad, mayor promedio de rendimiento y mayor capacidad del sistema.

Otra ventaja de WiMAX es su habilidad de soporte eficiente. Asimismo, la capa MAC de WiMAX está diseñada para soportar una variedad de tráfico mixto, incluyendo la tasa de transferencia en tiempo real y la que no está en tiempo real, así como tráfico variable. De igual manera, la ventaja más importante de WiMAX puede ser el potencial bajo costo debido a su baja robustez de arquitectura IP. En resumen, WiMAX ocupa un lugar entre las tecnologías 3G y Wi-Fi cuando son comparadas en un factor clave como la dimensión de tasa de transmisión, cobertura, QoS, movilidad y precio.

Otros dos estándares basados en otras tecnologías podrían emerger en el futuro montadas sobre WiMAX: los estándares IEEE 802.20 y IEEE 802.22 los cuales están siendo desarrollados. El IEEE 802.20 tiene el propósito de ofrecer soluciones de banda ancha específicamente para movilidad en vehículos en velocidades de hasta 250 km/h. Y el IEEE 802.22 tiene como propósito brindar acceso a zonas rurales y remotas. El objetivo principal es definir que a partir de la ya conocida radio se pueda tomar ventaja de los canales de TV en desuso existentes en esas áreas separadas. Tabla 3.11 muestra características comparativas de tecnologías contra WiMAX Fijo y Móvil.

Tabla 3.11 Comparativa WiMAX y otras tecnologías

PARAMETRO	WIMAX FIJO	WIMAX MÓVIL	HSPA	1x EV-DO	WI-FI
Estándar	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005	3GPP R6	3GPP2	IEEE 802.11a/g/n
Ancho de Banda	3.5 MHz y 7 MHz en una banda de 3.5 GHz; 10 MHz en una banda de 5.8GHz.	3.5 MHz, 7 MHz, 5 MHz, 10 MHz y 8.75 MHz inicialmente.	5 MHz	1.25 MHz	20 MHz para 802.11a/g; 20/40 MHz para 802.11n.
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM	QPSK, 8 PSK, 16QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Multiplexión	TDM	TDM/OFDMA	TDM/CDMA	TDM/CDMA A	CSMA
Dúplex	TDD, FDD	TDD	FDD	FDD	FDD
Frecuencia	3.5 GHz y 5.8 GHz	2.3 GHz, 2.5 GHz y 3.5 GHz	800/900 /1,800/1,900/2,100 MHz	800/900 /1,800/1,900 MHz	2.4 GHz, 5GHz
Cobertura	5 a 8 km	3.5 km	2 a 5 km	2 a 5 km	Hasta 30 m interior y 300 m exterior
Movilidad	No	Media	Alta	Alta	Baja

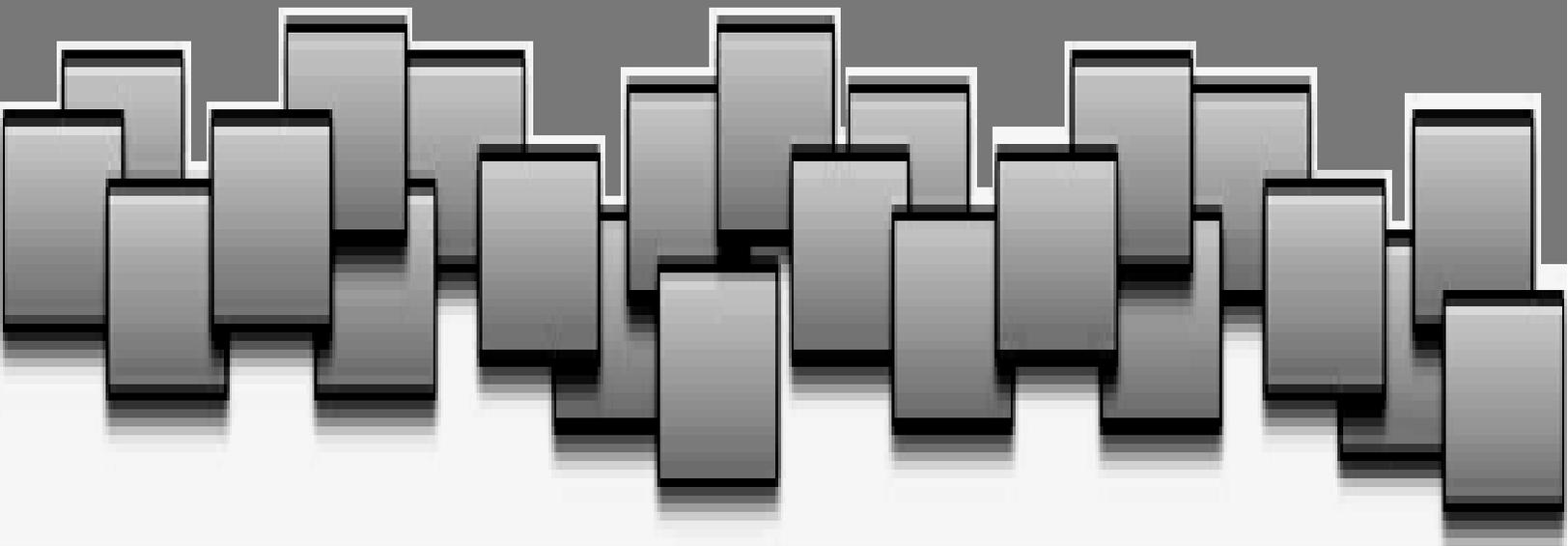
LECTURAS RECOMENDADAS

IEEE Computer Society and IEEE Microwave and Techniques Society. **“802.16 CONFORMANCE IEEE STANDARD FOR CONFORMANCE TO IEEE 802.16”**. Parte 1, IEEE, 18 August 2003.

Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. **“FUNDAMENTALS OF WIMAX. UNDERSTANDING BROADBAND WIRELESS NETWORKING”**. Primera Edición. Prentice Hall. Febrero 2007.

Bernhard H. Walke, Stefan Mangold, Lars Berlemann. **“IEEE 802 WIRELESS SYSTEMS”**. Ed. John Wiley&Sons. Primera Edición, 2006.

Deepak Pareek. **“THE BUSINESS OF WIMAX”**. Ed. John Wiley&Sons. Primera Edición, 2006.



CAPÍTULO 4

MARCO REGULATORIO Y BANDAS DE FRECUENCIA

WiMAX abarca un rango de espectro debajo de los 11 GHz. Asimismo, existe la posibilidad de desplegar WiMAX en las bandas del servicio celular y en las bandas de 700 MHz. Aún cuando se cuenta con abundancia de espectros, algunos de ellos que se encuentran disponibles presentan sus propios problemas, como es la licencia otorgada en cada país y las bandas disponibles en las cuales la legislación permite el despliegue de dicha tecnología. Además, una amplia variedad de opciones de espectros también tiene como resultado la incompatibilidad o la necesidad de dispositivos multibanda.

Dentro de este rango de frecuencias, el espectro más probable está disponible en 2.3, 2.4, 2.5, 3.5, 5.8 GHz y, potencialmente, en 700MHz. Por consiguiente, para asegurar la interoperabilidad mundial, los CPE (Customer Premises Equipment / Equipo Local del Cliente), tarjetas de datos o soluciones con chips incorporados de WiMAX deben soportar hasta 5 bandas de frecuencia. Puede deberse a que la industria inicialmente se concentra en sólo un par de bandas del espectro, en cuyo caso 3.5 GHz recibe parte de la atención inicial. El espectro disponible se divide en dos categorías distintivas: sin licencia y con licencia.

4.1 SIN LICENCIA

En la mayoría de los mercados, el espectro que no requiere licencia y que se emplea para WiMAX es de 2.4 y 5.8 GHz. Debido a que el espectro no requiere licencia, la barrera para ingresar es baja, por lo que se hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando el espectro.

En ciertos países se rigen por el concepto de espectro “con licencia light”, lo que significa que el usuario tiene que presentar su intención de usar el espectro que no requiere licencia. De esta forma, los entes reguladores tienen una mejor noción de quién está empleando el espectro, y controlan la cantidad de licenciatarios y minimizan potencialmente el impacto de interferencias.

Existen cuatro desventajas principales relacionadas con el uso del espectro que no requiere licencia:

• Interferencias

Debido a que el espectro que no requiere licencia se puede utilizar por diversos sistemas de RF, lo que puede provocar altas probabilidades de que ocurran interferencias.

Los sistemas de RF que no requieren licencia se pueden incluir desde las redes rivales de WiMAX o los puntos de acceso de Wi-Fi. Los teléfonos inalámbricos y aquellos que utilizan la banda de 2.4 GHz y que se basan en el estándar 802.15, denominado comercialmente como Bluetooth, también usan este espectro. (**Bluetooth** es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre). Tanto WiMAX como Wi-Fi soportan la DFS (*Dynamic Frequency Selection / Selección Dinámica de Frecuencia*) que permite que se utilice un nuevo canal si es necesario. 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 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 se puede transmitir. Esta limitación es especialmente importante en 5.8 GHz, donde la mayor potencia podría compensar la pérdida de propagación relacionada con el espectro en frecuencias más altas.

•Disponibilidad

Mientras el espectro de 2.4 GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8 GHz no se encuentra disponible en varios países. Dadas estas desventajas, los operadores deben evaluar cuidadosamente el uso potencial del espectro que no requiere licencia, en particular 2.4 GHz, 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.

4.2 CON LICENCIA

El espectro que requiere licencia tiene un precio potencialmente alto, tomándose en cuenta que el equipamiento tiene un costo aproximado de 200 a 300 dólares¹ 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 usuario 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 arrendamiento del espectro.

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

¹ Información extraída de WiMAX Forum <http://www.WiMAXforum.org/technology/faq/>

4.3 COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS WIMAX LICENCIADAS Y NO LICENCIADAS

Los gobiernos de todo el mundo reconocen el valor de las innovaciones asociadas con los estándares abiertos y las soluciones sin licencia ya han establecido bandas de frecuencia disponibles para el uso de tecnologías WiMAX con licencia y sin licencia. Sin embargo, para imponer algún tipo de control sobre las soluciones sin licencia y para disminuir el potencial de interferencia, algunos gobiernos estipulan requisitos de potencia para operaciones de alta potencia y de baja potencia.

Cada región geográfica define y regula sus propias bandas con licencia y sin licencia y permiten que los proveedores usen todos los espectros disponibles dentro de estas bandas, el estándar 802.16-2004 soporta tamaños de canal entre 1.5 MHz y 20 MHz. La Tabla 3.3 muestra las diversas regiones y sus bandas usadas.

Tabla 3.3 Asignación mundial de bandas con licencia y sin licencia.

PAÍS/ÁREA GEOGRÁFICA	BANDAS USADAS
América del Norte, México	2.5 y 5.8GHz
América Central y del Sur	2.5, 3.5 y 5.8GHz
Europa Occidental y Oriental	3.5 y 5.8GHz
Medio Oriente y África Asia-Pacífico	3.5 y 5.8GHz

✂ **BANDAS CON LICENCIA: 2.5 Y 3.5 GHZ**

La banda de 2.5 GHz se ha asignado en gran parte del mundo, incluso en América del Norte, América Latina, Europa Occidental y Oriental y partes de Asia-Pacífico, como banda con licencia.

Cada país asigna la banda de forma diferente, por lo que el espectro asignado en las regiones puede variar entre 2.6 y 4.2 GHz. Un sistema que opera en la banda con licencia tiene una ventaja sobre un sistema que opera en una banda sin licencia: tiene un mayor presupuesto de potencia de enlace de descarga y puede soportar mejor antenas interiores.

La banda de frecuencia de 3.5 GHz 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, dado que en esta banda particular en la actualidad no se permiten *handoffs* o cambio continuo entre celdas, lo que no resulta ideal cuando se intenta ofrecer un servicio móvil de voz y de datos que requiere un servicio ininterrumpido para las llamadas de voz. El Foro WiMAX en la actualidad está solicitando a los entes reguladores que modifiquen esta política. Además, en algunas regiones del mundo, se están usando porciones del espectro para ofrecer servicios satelitales. La mayoría de los defensores de WiMAX también creen que 3.5GHz no es adecuada para la movilidad, en gran parte debido a la propagación de RF en esta frecuencia.

✂ **BANDA SIN LICENCIA: 5 GHZ**

La mayoría de los países en todo el mundo han admitido el espectro de 5 GHz para comunicaciones sin licencia. Las bandas de 5.15 GHz y 8.85 GHz han sido designadas como sin licencia en gran parte del mundo. Aproximadamente un rango de 300 MHz del espectro se encuentra disponible globalmente en muchos mercados, y un rango de 255 MHz adicionales del espectro de 5 GHz exento de licencia está disponible en mercados muy populares.

Algunos gobiernos y proveedores de servicios están preocupados con la interferencia resultante de la disponibilidad de demasiadas bandas sin licencia, pues puede afectar a las redes de comunicación públicas y gubernamentales más importantes, tales como los sistemas de radar. Estos países, mayormente europeos, y entidades se han ocupado en establecer requisitos de control limitados para espectros de 5 GHz.

En México, las leyes que requieren el uso del espectro “para beneficiar al pueblo” han influenciado al gobierno para que tome un enfoque proteccionista y generador de ingresos hacia el licenciamiento. El gobierno mexicano está dirigiendo hacia el licenciamiento al menos a una de las bandas de 5 GHz, con 5.8 GHz como candidato primario. La Tabla 3.4 describe la disponibilidad de las bandas de frecuencia para WiMAX.

Tabla 3.4 Bandas y frecuencias disponibles para WiMAX

BANDAS	FRECUENCIAS	REQUIERE LICENCIA	DISPONIBILIDAD
2.5 GHz	2.5 a 2.69 GHz	Sí	Asignadas en Brasil, México, algunos países del sudeste asiático y Estados Unidos. (WiMAX Forum también incluye 2.3 GHz en esta categoría de banda porque “espera cubrir 2.3 GHz con la radio de 2.5 GHz.”). Su propiedad depende del país.
3.5 GHz	3.3 a 3.8 GHz 3.4 a 3.6 GHz	Sí, en algunos países	En la mayoría de los países, la banda de 3.4 GHz a 3.6 GHz se asigna a banda ancha inalámbrica.
5 GHz	5.25 a 5.85 GHz	No	En el rango de 5.725 a 5.85 GHz, muchos países permiten mayor salida de potencia (4 watts), lo que puede mejorar la cobertura.

4.4 BENEFICIOS DE LAS BANDAS CON LICENCIA Y SIN LICENCIA

Los beneficios de las soluciones WiMAX con licencia y las de sin licencia sobre las soluciones por cable son: el bajo costo, la escalabilidad, y la flexibilidad. Sin embargo, lo que a veces se pasa por alto es el hecho de que cada banda provee diferentes ventajas para los diferentes modelos de uso. En la Tabla 3.5 se muestra una lista de ventajas para ambas soluciones.

Tabla 3.5 Beneficios de soluciones con licencia y sin licencia.

VENTAJAS DE SOLUCIÓN CON LICENCIA	VENTAJAS DE SOLUCIÓN SIN LICENCIA
Mejor calidad de servicio	Desarrollo rápido
Mejor recepción NLOS en bajas frecuencias	Menores costos
Mayores impedimentos de entrada	Más opciones en todo el mundo

✂ **SOLUCIONES CON LICENCIA: VENTAJAS Y USOS**

Para instalar una solución con licencia, un operador o proveedor de servicio debe comprar el espectro. La compra del espectro es un proceso engorroso. En algunos países, completar los permisos para obtener los derechos de licenciamiento puede demorar meses, mientras que en otros, la subasta de espectro puede elevar los precios y demorar la adquisición del mismo. Esta mayor barrera de entrada, junto con la propiedad exclusiva de una banda, permite mejoras en la calidad del servicio y reduce la interferencia.

Las soluciones WiMAX con licencia tienen ventajas significativas. Los costos más elevados y los derechos exclusivos del espectro permiten una solución más previsible y estable para instalaciones en grandes áreas metropolitanas y para uso móvil.

Las frecuencias más bajas asociadas a las bandas con licencia (2.5 y 3.5 GHz) permiten mejor penetración NLOS. Sin embargo, las bandas con licencia no están exentas de problemas de interferencia. A medida que los proveedores de servicio instalan más redes, deben enfrentar la interferencia mutua que resulta. Una correcta proyección e implementación puede aliviar estos problemas. Resumiendo, las soluciones con licencia ofrecen ventajas de calidad de servicio (QoS) mejorada sobre las soluciones exentas de licencia.

✂ **SOLUCIONES SIN LICENCIA: VENTAJAS Y USOS**

Los costos relacionados con la adquisición de bandas con licencia están llevando a muchos mercados a considerar las soluciones exentas de licencia para mercados especializados, tales como áreas rurales y mercados emergentes. Las soluciones sin licencia ofrecen varias ventajas clave sobre las soluciones con licencia, incluso menores costos, desarrollo rápido, y una banda común que puede usarse en la mayor parte del mundo. Estos beneficios están alimentando los intereses y tienen potencial para acelerar la adopción de la banda ancha.

Los proveedores de servicios en mercados emergentes, como países en desarrollo o países maduros con regiones subdesarrolladas, pueden disminuir el tiempo de lanzamiento al mercado y los costos iniciales al instalar

rápidamente una solución sin licencia sin permisos o subastas. Algunos proveedores de servicio pueden usar una solución sin licencia para proveer la solución de última milla para hogares, empresas, o backhaul como reserva de la red suplementaria para sus redes con licencia o por cable.

Backhaul es una conexión que se encarga de enlazar 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.

Una solución sin licencia está regulada en términos de la potencia de salida de la transmisión, aunque generalmente no se necesita licencia. Un dispositivo o servicio puede usar la banda en cualquier momento en tanto que la potencia de salida sea controlada adecuadamente. Los proveedores que están especialmente preocupados con la QoS, por ejemplo, pueden encontrar que la solución con licencia les da más control sobre el servicio.

Sin embargo, una solución sin licencia no debería considerarse como sustituto de una solución con licencia. Cada una sirve a necesidades de mercado diferentes basadas en las compensaciones entre costo y QoS. Tanto las soluciones sin licencia como las soluciones con licencia ofrecen diferentes ventajas a los proveedores. La disponibilidad de ambos permite la satisfacción de una diversidad de necesidades de uso de los proveedores y de los mercados emergentes.

Los proveedores de servicio que desean agregar movilidad a sus redes inalámbricas de banda ancha deberían considerar en primer lugar una solución WiMAX con licencia para QoS mejorada, después una solución de Malla Wi-Fi para soluciones que requieren una necesidad inmediata, y después, una solución sin licencia. Una solución WiMAX con licencia ofrece mejor control en áreas extensas, escalabilidad mejorada, QoS, y flexibilidad para usuarios, mientras que la Malla Wi-Fi puede cubrir áreas menores a un costo menor y también pueden usar un protocolo de CSMA/CA para manejar usuarios múltiples dentro de una pequeña región.

Por estas razones, las soluciones WiMAX sin licencia se concentran en áreas rurales, mercados emergentes, y aplicaciones punto a punto y pueden proveer, por ejemplo, una solución *backhaul* de bajo costo.

Lo más importante es que las oscilaciones de cantidad y localización de los usuarios y el control limitado del espectro ofrecido por la solución sin licencia pueden causar más interferencia. Sin embargo, los problemas relativos a la movilidad como la transmisión de señales RF a y desde un objetivo móvil son mucho más fáciles de tratar usando una solución con licencia. Por lo tanto, las aplicaciones móviles son más indicadas para una solución WiMAX con licencia.

Las soluciones exentas de licencia WiMAX son apropiadas para las siguientes aplicaciones:

- ☒ Soluciones de larga distancia punto a punto en ambientes con poca población.
- ☒ Soluciones punto a multipunto en comunidades rurales.
- ☒ Áreas con poco ruido de banda RF o donde la interferencia en la banda sin licencia se pueda controlar dentro de la geografía.
- ☒ Donde el costo es el factor más importante para la toma de decisiones entre tecnologías inalámbricas competidoras.

Cuando la propiedad del equipo es una opción para el usuario final. Las soluciones con licencia WiMAX son apropiadas para las siguientes aplicaciones:

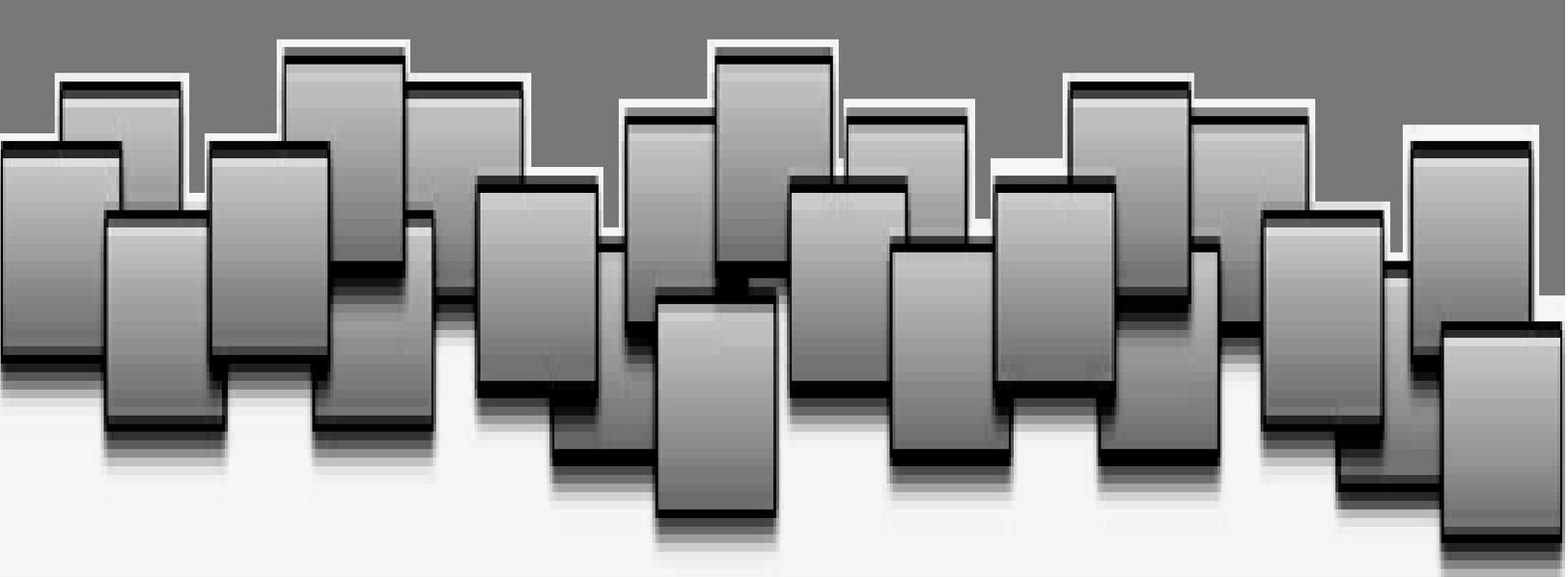
- ☒ Aplicaciones punto a multipunto de gran cobertura.
- ☒ Servicios móviles de banda ancha ubicua.
- ☒ Cuando el licenciamiento permite el control sobre el uso del espectro y la interferencia.
- ☒ Cuando el costo no es la razón principal para elegir la tecnología, porque la tecnología se ha optimizado para esta aplicación (otras tecnologías como los revestimientos de datos 3G costarán más y tendrán menor desempeño).
- ☒ Cuando los servicios y el equipo de la estación base sólo pueden arrendarse de una portadora o proveedor de servicio.

LECTURAS RECOMENDADAS

IEEE Computer Society and IEEE Microwave and Techniques Society. **“802.16 CONFORMANCE IEEE STANDARD FOR CONFORMANCE TO IEEE 802.16”**. Parte 1, IEEE, 18 August 2003.

Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. **“FUNDAMENTALS OF WIMAX. UNDERSTANDING BROADBAND WIRELESS NETWORKING”**. Primera Edición. Prentice Hall. Febrero 2007.

Deepak Pareek. **“THE BUSINESS OF WIMAX”**. Ed. John Wiley&Sons. Primera Edición, 2006.



CAPÍTULO 5

TECNOLOGÍA WIMAX, PROTOCOLOS, SEGURIDAD Y ADMINISTRACIÓN

Los siguientes conceptos de tecnología WiMAX ayudan a entender cómo es que los equipos diseñados para esta tecnología funcionan.

Inicialmente se debe conocer la diferencia fundamental entre los equipos indoor y los equipos outdoor. Los equipos indoor son los que se encuentran situados, diseñados y destinados a ser utilizados en el interior de edificios o lugares de trabajo. De forma contraria, los equipos outdoor son aquellos que se encuentran situados, diseñados y destinados a ser utilizados en el exterior de edificios o lugares de trabajo. La diferencia reside en que los equipos outdoor tienen mayor potencia y accesorios especiales, con los cuales se puede trabajar en condiciones ambientales difíciles.

Un concepto de gran importancia es el concepto de throughput que se refiere al volumen de trabajo o de información que fluye a través de un sistema. Particularmente significativo en almacenamiento de información y sistemas de recuperación de información, en los cuales el rendimiento es medido en unidades como accesos por hora.

Se definen tres partes para entender el funcionamiento básico de los diversos equipos de red WiMAX, éstas son protocolos, seguridad y administración.

5.1 PROTOCOLOS

Un aspecto importante a definir son los protocolos, los cuales ayudan a lograr la comunicación entre los usuarios tanto clientes como servidores, por lo que se emplea un conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre los dispositivos que forman parte de una red.

Entre los protocolos más destacados en la tecnología WiMAX se encuentran los siguientes:

- ✦ **SNMP (Simple Network Management Protocol/Protocolo Simple de Administración de Red)** es un protocolo de gestión de red, esto es, un conjunto de estructuras que permiten tener datos concretos del tráfico que se produce en la red, así como quién lo produce. Además permite a los administradores supervisar el desempeño de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento. Mediante el SNMP se puede obtener información valiosa sobre un host, como son las interfaces de red, las tablas de encaminamiento, datos del sistema operativo, etcétera. Analizando estos datos se pueden deducir las tasas de paquetes enviados y recibidos.
- ✦ **TCP/IP (Transmission Control Protocol-Internet Protocolo /Protocolo de Control de Transmisión-Protocolo de Internet)** es un conjunto de protocolos de red en la que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras. Se le denomina conjunto de protocolos TCP/IP, en referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: TCP Protocolo de Control de Transmisión el cual garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron. Así como IP Protocolo de Internet el cual no provee ningún mecanismo para determinar si un paquete alcanza o no su destino y únicamente proporciona seguridad mediante sumas de comprobación de sus cabeceras y no de los datos transmitidos.
- ✦ **IPv4 (Internet Protocol versión 4)** es la versión 4 del Protocolo IP. IPv4 usa direcciones de 32 bits, limitándola a $2^{32} = 4.294.967.296$ direcciones únicas,

muchas de las cuales están dedicadas a redes locales. Debido al crecimiento que ha tenido Internet y el hecho de que hay desperdicio de direcciones, ya hace varios años se vio que escaseaban las direcciones IPv4. Esta limitación ayudó a estimular el impulso hacia IPv6, que está actualmente en las primeras fases de implementación, y se espera que termine reemplazando a IPv4.

- ✦ **UDP (User Datagram Protocol/ Protocolo de Datagrama de Usuario)** este protocolo permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera. Tampoco tiene confirmación, ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros y no hay confirmación de entrega o de recepción. Su uso principal es para protocolos en los que el intercambio de paquetes de la conexión/desconexión son mayores, o no son rentables con respecto a la información transmitida, así como para la transmisión de audio y vídeo en tiempo real, donde no es posible realizar retransmisiones por los estrictos requisitos de retardo que se tiene en estos casos.
- ✦ **HTTP (Hypertext Transfer Protocol/ Protocolo de Transferencia de Hipertexto)** es el protocolo usado en cada transacción de la Web (WWW). HTTP define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos software de la arquitectura web (clientes, servidores) para comunicarse. Es un protocolo orientado a transacciones y sigue el esquema petición-respuesta entre un cliente y un servidor. Al cliente que efectúa la petición se lo conoce como agente del usuario. A la información transmitida se le llama recurso y se la identifica mediante un URL. HTTP es un protocolo sin estado, es decir, que no guarda ninguna información sobre conexiones anteriores.
- ✦ **IPSec (Internet Protocol Security)** autentica los equipos y cifra los datos para su transmisión entre hosts en una red, incluidas las comunicaciones entre estaciones de trabajo y servidores, y entre servidores. El objetivo principal de IPSec es proporcionar protección a los paquetes IP. IPSec está basado en un modelo de seguridad de extremo a extremo, lo que significa que los únicos hosts que tienen que conocer la protección de IPSec son el que envía y el que recibe. Cada equipo controla la seguridad por sí mismo en su extremo, bajo la hipótesis de que el medio por el que se establece la comunicación no es seguro.

- ✦ **PPP (Point to Point Protocol)** se trata de un protocolo asociado a la pila TCP/IP de uso en Internet. PPP permite establecer una comunicación a nivel de enlace entre dos computadoras. Generalmente, se utiliza para establecer la conexión a Internet de un particular con su proveedor de acceso a través de un módem telefónico. PPP facilita dos funciones importantes, autenticación y asignación dinámica de IP.
- ✦ **PPTP (Protocolo de túnel Punto a Punto)** este es un protocolo que permite a las empresas extender su propia red corporativa a través de "túneles" privados en el Internet público. Efectivamente, una empresa utiliza una red de área extensa como única red de área local. Una empresa ya no necesita alquilar sus propias líneas para una comunicación de área extensa ya que puede utilizar las redes públicas de forma segura. Este tipo de interconexión se conoce como red privada virtual (VPN).
- ✦ **G.711** es un estándar para la compresión de audio. Este estándar es usado principalmente en telefonía. G.711 es un estándar para representar señales de audio con frecuencias de la voz humana, mediante muestras comprimidas de una señal de audio digital con una tasa de muestreo de 8000 muestras por segundo. El codificador G.711 proporcionará un flujo de datos de 64 kbit/s.
- ✦ **VoIP (Voice over IP / Voz sobre IP)** es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP. Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital en paquetes en lugar de enviarla a través de circuitos utilizables sólo para telefonía como una compañía telefónica convencional o PSTN (Public Switched Telephone Network / Red Telefónica Pública Conmutada).

Los protocolos que son usados para llevar las señales de voz sobre la red IP son comúnmente referidos como protocolos de Voz sobre IP o protocolos IP. El tráfico de Voz sobre IP puede circular por cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a Internet, como por ejemplo redes de área local (LAN).

La Telefonía IP es una aplicación inmediata de esta tecnología, de forma que permita la realización de llamadas telefónicas ordinarias sobre redes IP u otras redes de paquetes utilizando una PC, gateways y teléfonos estándares. En general, servicios de comunicación de voz, fax, aplicaciones de mensajes

de voz, que son transportadas vía redes IP, Internet normalmente, en lugar de ser transportados vía la red telefónica convencional.

En una llamada telefónica normal, la central telefónica establece una conexión permanente entre ambos interlocutores, conexión que se utiliza para llevar las señales de voz. En una llamada telefónica por IP, los paquetes de datos, que contienen la señal de voz digitalizada y comprimida, se envían a través de Internet a la dirección IP del destinatario. Cada paquete puede utilizar un camino para llegar, están compartiendo un medio, una red de datos. Cuando llegan a su destino son ordenados y convertidos de nuevo en señal de voz.

El uso de Telefonía IP nos da la enorme ventaja de poder usar un medio de costo controlado, tal como un enlace ADSL o dedicado para cursar la voz. De esa forma se puede eliminar por completo el costo del servicio medido más la larga distancia nacional o internacional.

Clasificación de Soluciones en Telefonía IP

1. Protocolo H323

- H323 es un protocolo de comunicaciones utilizado para el tratamiento de información multimedia en las redes de datos.
- La información multimedia corresponde a voz, video e imágenes.
- H323 es el protocolo utilizado por la mayoría de fabricantes.

2. Protocolo SIP

- SIP es un protocolo de comunicaciones especializado en el tratamiento de la voz sobre las redes de datos, permitiendo la priorización de la telefonía en las redes de datos. Por su facilidad de integración con las redes de voz y datos este protocolo será el de mayor aceptación por todo el mercado empresarial.

3. Protocolo propietario

- Estas soluciones utilizan protocolos propietarios desarrollados por ciertos fabricantes.
- Impiden la integración abierta con otros fabricantes y otras tecnologías

- ✦ **RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Server / Servicio de Usuario de Acceso Telefónico de Autenticación Remota)** es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP. Utiliza el puerto 1813 UDP para establecer sus conexiones. Cuando se realiza la conexión con un Proveedor de Servicios de Internet ISP mediante módem, DSL, cablemódem, Ethernet o Wi-Fi, se envía una información que generalmente es un nombre de usuario y una contraseña. Esta información se transfiere a un dispositivo NAS (Servidor de Acceso a la Red) *sobre el protocolo PPP, quien redirige la petición a un servidor RADIUS sobre el protocolo RADIUS. El servidor RADIUS comprueba que la información es correcta utilizando esquemas de autenticación como PAP, CHAP o EAP. Si es aceptado, el servidor autorizará el acceso al sistema del ISP y le asigna los recursos de red como una dirección IP, y otros parámetros.*

Una de las características más importantes del protocolo RADIUS es su capacidad de manejar sesiones, notificando cuando comienza y termina una conexión, así que al usuario se le podrá determinar su consumo y facturar en consecuencia; los datos se pueden utilizar con propósitos estadísticos.

Actualmente existen muchos servidores RADIUS, tanto comerciales como de código abierto. Las prestaciones pueden variar, pero la mayoría pueden gestionar los usuarios en archivos de texto, servidores LDAP, bases de datos varias, etcétera. A menudo se utiliza SNMP para monitorear remotamente el servicio. Los servidores Proxy RADIUS se utilizan para una administración centralizada y pueden reescribir paquetes RADIUS al vuelo (por razones de seguridad, o hacer conversiones entre dialectos de diferentes fabricantes). RADIUS es extensible; la mayoría de fabricantes de software y hardware RADIUS implementan sus propios dialectos.

- ✦ **SSH (Secure SHell)** es el nombre de un protocolo y del programa que lo implementa, y sirve para acceder a máquinas remotas a través de una red. Permite manejar por completo la computadora mediante un intérprete de comandos, y también puede redirigir el tráfico de un equipo determinado para poder ejecutar programas gráficos si tenemos un servidor específico arrancado. Además de la conexión a otras máquinas, SSH nos permite copiar datos de forma segura (tanto ficheros sueltos como simular sesiones FTP cifradas), gestionar claves RSA para no escribir claves al conectar a las

máquinas y pasar los datos de cualquier otra aplicación por un canal seguro tunelizado mediante SSH.

5.2 SEGURIDAD

Otro aspecto importante a definir es la seguridad, los cuales nos ayudan a lograr la comunicación confiable y veraz entre los usuarios tanto clientes como servidores, por lo que se emplea un conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre los dispositivos que forman parte de una red. Entre los protocolos de seguridad de importancia para WiMAX, se encuentran:

- ✦ **DES (Data Encryption Standard/ Estándar de Encriptado de Datos)** es un algoritmo de cifrado y cuyo uso se ha propagado ampliamente por todo el mundo. Actualmente, DES se considera inseguro para muchas aplicaciones. Esto se debe principalmente a que el tamaño de clave de 56 bits es corto. Existen también resultados analíticos que demuestran debilidades teóricas en su cifrado, aunque son inviables en la práctica. Se cree que el algoritmo es seguro en la práctica en su variante de Triple DES, aunque existan ataques teóricos. Desde hace algunos años, el algoritmo ha sido sustituido por el nuevo AES (Advanced Encryption Standard). En algunas ocasiones, DES es denominado también DEA (Data Encryption Algorithm).
- ✦ **EAP (Extensible Authentication Protocol/ Protocolo de Autenticación Extensible)** este protocolo se usa para transportar la información de identificación del usuario. La forma en que opera el protocolo EAP se basa en el uso de un controlador de acceso llamado *autenticador*, que le otorga o deniega a un usuario el acceso a la red. El usuario en este sistema se llama *solicitante*. El controlador de acceso es un firewall básico que actúa como intermediario entre el usuario y el *servidor de autenticación*, y que necesita muy pocos recursos para funcionar. Cuando se trata de una red inalámbrica, el punto de acceso actúa como autenticador. El servidor de autenticación (a veces llamado *NAS*, que significa *Servicio de autenticación de red* o *Servicio de acceso a la red*) puede aprobar la identidad del usuario transmitida por el controlador de la red y otorgarle acceso según sus credenciales. Además, este tipo de servidor puede almacenar y hacer un seguimiento de la información relacionada con los usuarios. En el caso de un proveedor de servicio, por ejemplo, estas características le permiten al servidor facturarles

con base en cuánto tiempo estuvieron conectados o cuántos datos transfirieron. Generalmente el servidor de autenticación es un servidor RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Server / Servicio de Usuario de Acceso Telefónico de Autenticación Remota), un servidor de autenticación estándar definido por la RFC 2865 y 2866, pero puede utilizarse cualquier otro servicio de autenticación en su lugar.

- ✦ **AES (Advanced Encryption Standard / Estándar de Codificación Avanzada)** también conocido como **Rijndael**, es un esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado por el gobierno de los Estados Unidos. Se espera que sea usado en el mundo entero y analizado exhaustivamente, como fue el caso de su predecesor, el Data Encryption Standard (DES). El AES fue anunciado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) como FIPS PUB 197 de los Estados Unidos (FIPS 197) el 26 de noviembre de 2001 después de un proceso de estandarización que duró 5 años. Se transformó en un estándar efectivo el 26 de mayo de 2002. Desde 2006, el AES es uno de los algoritmos más populares usado en criptografía simétrica.

- ✦ **PKI (Public Key Infrastructure / Infraestructura de Clave Pública)** es una combinación de hardware y software, políticas y procedimientos de seguridad que permiten la ejecución con garantías de operaciones criptográficas como el cifrado, la firma digital o el no repudio de transacciones electrónicas. Una PKI bien construida debe proporcionar:
 - a) **Autenticidad** Firma digital con la misma validez que la manuscrita.
 - b) **Confidencialidad** de la información transmitida entre las partes.
 - c) **Integridad** Capacidad de detectar un documento manipulado.
 - d) **No Repudio** de un documento firmado digitalmente.

- ✦ **X.509** es un estándar para infraestructuras de claves públicas que especifica, entre otras cosas, formatos estándar para certificados de claves públicas y un algoritmo de validación de la ruta de certificación. En esencia, el X.509 es una forma de describir certificados.

5.3 ADMINISTRACIÓN

- ✦ **NAT (Network Address Translation / Traducción de Direcciones de Red)** es un mecanismo que le permite ocultar las direcciones IP internas a las redes externas. Podría tener una red establecida utilizando su propio esquema de numeración, y podría querer acceder a Internet. Hay muchos Proveedores de Servicios de Internet (ISP) eficientes en términos de costos pero que quieren que usted utilice una dirección IP diferente. Mediante el uso de NAT entre su equipo y la red de los ISP todos quedarán satisfechos, sin necesidad de volver a numerar su red. Una ventaja adicional es que todos sus equipos pueden utilizar la instalación del NAT y acceder a Internet a través de esa dirección. NAT es la traducción de una dirección IP en una red a una dirección IP diferente conocida en otra red. Una red es conocida como la red interior y la otra es la exterior. Generalmente, una empresa asigna sus direcciones de red interior locales a una (o más) direcciones IP externas globales y desasigna la dirección IP global de los paquetes entrantes en direcciones IP locales. Esto ayuda a brindar la seguridad ya que cada petición entrante o saliente debe pasar a través de un proceso de traducción que también proporciona la oportunidad de cualificar o autenticar la petición o buscar la correspondencia con alguna petición previa. NAT también conserva el número de las direcciones IP globales que la empresa necesita y permite que la empresa utilice una única dirección IP cuando se comunica con el resto del mundo.

- ✦ **VPN (Virtual Private Network / Red Privada Virtual)** es una tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública o no controlada, como por ejemplo Internet son lo mejor que se ha implementado. La posibilidad de conectar dos o más sucursales de una empresa utilizando como vínculo Internet, permitir a los miembros del equipo de soporte técnico la conexión desde su casa al centro de cómputo, o que un usuario pueda acceder a su equipo doméstico desde un sitio remoto, como por ejemplo un hotel. Todo ello utilizando la infraestructura de Internet.

- ✦ **Bridge Inalámbrico o Puente Inalámbrico** son utilizados para conectar dos o más LANs cableadas, usualmente localizadas dentro de edificios separados, para crear una gran LAN. El puente puede actuar como un Access Point en algunas aplicaciones para comunicarse con clientes en sitios remotos. Estos

operan en la capa de enlace de datos con dirección MAC, lo que significa que éstos no tienen capacidad de ruteo.

- ✦ **DMZ (Demilitarized Zone / Zona Desmilitarizada)** una red local, una subred, que se ubica entre la red interna de una organización y una red externa, generalmente Internet. El objetivo de una DMZ es que las conexiones desde la red interna y la externa a la DMZ estén permitidas, mientras que las conexiones desde la DMZ sólo se permitan a la red externa.

Esto permite que los equipos de la DMZ's den servicios a la red externa a la vez que protegen la red interna en el caso de que intrusos comprometan la seguridad de los equipos situados en la zona desmilitarizada. Para cualquiera de la red externa que quiera conectarse ilegalmente a la red interna, la zona desmilitarizada se convierte en un callejón sin salida.

La DMZ se usa habitualmente para ubicar servidores que es necesario que sean accedidos desde fuera, como servidores de e-mail, Web y DNS. Las conexiones que se realizan desde la red externa hacia la DMZ se controlan generalmente utilizando PAT (Port Address Translation que permite que una sola dirección IP sea utilizada por varias máquinas de la intranet).

Una DMZ se crea a menudo a través de las opciones de configuración de los cortafuegos, donde cada red se conecta a un puerto distinto de éste. Un planteamiento más seguro es usar dos cortafuegos, donde la DMZ se sitúa en medio y se conecta a ambos cortafuegos, uno conectado a la red interna y el otro a la red externa. Esta configuración ayuda a prevenir configuraciones erróneas accidentales que permitan el acceso desde la red externa a la interna. Este tipo de configuración también es llamado cortafuegos de subred monitoreada.

5.4 GENERALES

- ✦ **Tarjeta PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association)** es un dispositivo normalmente utilizado en computadoras portátiles para expandir las capacidades de éste. Se usan para ampliar capacidades en cuanto a: memoria de ordenador, disco duro, tarjeta de red, receptor de radio y tv, puerto paralelo, puerto serial, módem, puerto USB, entre otros.

- ✦ **CPE (Customer Premises Equipment/ Equipo Local del Cliente)** es un equipo de telecomunicaciones usado en interiores como en exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación. Por ejemplo, los teléfonos, máquinas de fax, máquinas contestadoras y buscapersonas. Son unidades terminales asociadas a equipamientos de telecomunicaciones, localizadas en el lado del suscriptor y que se encuentran conectadas con el canal de comunicaciones del proveedor o portador de información, sean estos datos, voz o video. 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 provee, dependiendo del proveedor de servicios de internet una dirección IP, estática o dinámica al equipo que se le conecte. 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.

- ✦ **S-OFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access /Acceso por Multiplexión por División de Frecuencia Ortogonal Escalable) basada** en OFDM, OFDMA permite que muchos usuarios accedan asignándole a cada uno un cierto número de subportadoras. También introduce la tecnología TDMA que asigna diferentes segmentos de tiempo a diferentes grupos de usuario. Todos las subportadoras OFDMA se dividen en diversos grupos de subportadoras en dominios de frecuencia, cada uno de los cuales se denomina subcanal. Un usuario puede ocupar uno o más subcanales. En ámbitos temporales, muchos equipos de usuario en un segmento de tiempo dado pueden transmitir datos simultáneamente a través de diferentes subcanales. Asimismo, el OFDMA presenta un mecanismo de asignación flexible que hace posible asignar subportadoras dinámicamente dependiendo del tráfico, mientras distintos modos de modulación y potencias de transmisión son aplicados en diferentes subportadoras lo que resulta en niveles más altos de utilización de espectro.

Si bien es similar, el S-OFDMA posee más ventajas que el OFDMA. El S-OFDMA no modifica el ancho de los subportadoras por otros anchos de banda de canal y determina los números de subportadoras tomando una medición directa y proporcional del ancho de banda de canal. El ancho de la portadora constante adquiere una utilización de espectro más alto en los canales anchos, reduce el costo de los canales angostos y mantiene la capacidad de interferencia anti-multi-path por medio de diferentes anchos de banda de canal, lo que es básicamente consistente con la capacidad de

soporte de movilidad. El rango del ancho de banda dinámico que provee el S-OFDMA es entre 1.25MHz-20MHz. En caso de un ancho de banda de 10MHz, las tasas de downlink y uplink son de alrededor de 63Mbps y 28Mbps respectivamente.

- ✦ **Diffserv** es un mecanismo de calidad de Servicio TCP/IP utilizado para asegurar que se da prioridad a los paquetes IP de acuerdo con su importancia, por ejemplo prioridad de paquetes de voz sobre paquetes de datos. La priorización se basa en el campo Tipo de Servicio (ToS) en la cabecera IP.
- ✦ **FIPS (Federal Information Processing Standards / Estándares Federales de Procesamiento de la Información)** son estándares anunciados públicamente desarrollados por el gobierno de los Estados Unidos para la utilización por parte de todas las agencias del gobierno no militares y por los contratistas del gobierno. Muchos estándares FIPS son versiones modificadas de los estándares usados en las comunidades más amplias (ANSI, IEEE, ISO, etcétera.) Algunos estándares FIPS fueron desarrollados originalmente por el gobierno de los Estados Unidos. Por ejemplo, los estándares para codificar datos, pero más significativamente algunos estándares de cifrado, tales como el Data Encryption Standard (DES) y el Advanced Encryption Standard (AES).
- ✦ **MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output)** presenta múltiples antenas tanto en los extremos de transmisión como de recepción con el fin de obtener altas tasas de datos y una calidad de transmisión mejorada. En el core de MIMO, existe procesamiento de señal de tiempo y espacio. Específicamente, la distribución de múltiples antenas combina los ámbitos temporales y espaciales para el procesamiento de la señal. MIMO utiliza la tecnología de codificación de tiempo y espacio y términos de código de diseño de ambos ámbitos y transmite streams de bit de información de modo simultáneo de antenas múltiples cuando utiliza la naturaleza ortogonal de la secuencia de transmisión de antenas para obtener ganancias.
- ✦ **AAS (Adaptive Antenna System)** presenta antenas múltiples para transmitir y recibir señales. Utiliza la tecnología de procesamiento de señal digital para rastrear la información espacial de cada abonado móvil y genera haces de

onda direccionales de espacio que utilizan completamente las señales de los abonados al mismo tiempo que elimina señales de interferencia. Con base en las diferentes posiciones espaciales de los abonados, el AAS puede transmitir y recibir las señales de cada abonado en el mismo canal para mejorar la utilización del espectro sin introducir una interferencia mutua significativa.

La transmisión de señal direccional en la transmisión de antena utiliza el AAS para eliminar la interferencia de transmisión de otros abonados en las mismas celdas y en celdas adyacentes. Sintetizando señales de espacio, el AAS mejora las ganancias y reduce la transmisión de las antenas en potencia de transmisión de estaciones móviles en direcciones especiales. Por lo tanto, la utilización de AAS permite a los operadores contar con una cobertura más amplia, reducir la utilización de estaciones base y mejorar la utilización de espectro, reduciendo así el OPEX. En el extremo de recepción de la antena, la síntesis de señales de espacio genera ganancias en la dirección esperada en el mapa direccional de la totalidad del banco de antenas. Por otro lado, en otras direcciones las ganancias son inferiores. Esto conduce a una proporción de ruido a señal más alto en términos de señales de recepción y forma un punto cero de espacio en la dirección de interferencia, suprimiendo así cualquier interferencia importante.

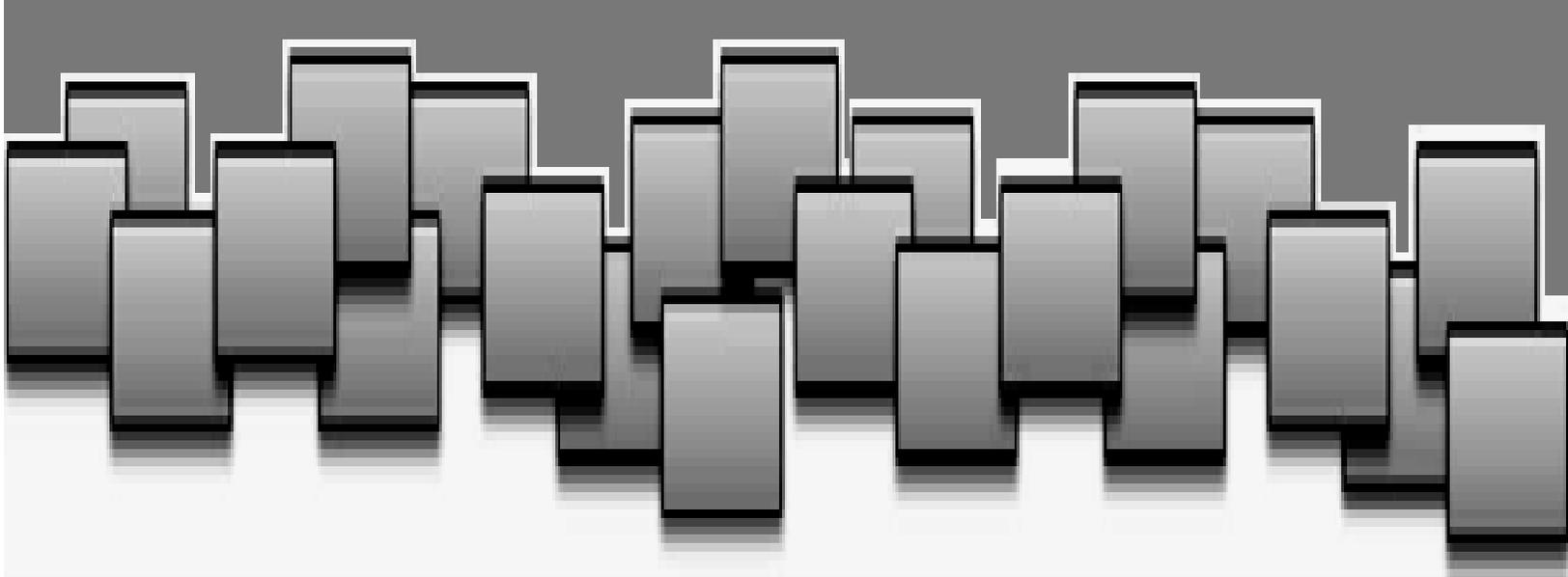
- ✦ **PoE (Power over Ethernet)** es una tecnología que permite la alimentación eléctrica de dispositivos de red a través de un cable UTP / STP en una red Ethernet. PoE se rige según el estándar IEEE 802.3af y abre grandes posibilidades a la hora de dar alimentación a dispositivos tales como cámaras de seguridad, teléfonos o puntos de acceso inalámbricos. Actualmente existen en el mercado varios dispositivos de red como switches o hubs que soportan esta tecnología. Para implementar PoE en una red que no se dispone de dispositivos que la soporten directamente se usa una unidad base (con conectores RJ45 de entrada y de salida) con un adaptador de alimentación para recoger la electricidad y una unidad terminal (también con conectores RJ45) con un cable de alimentación para que el dispositivo final obtenga la energía necesaria para su funcionamiento.

- ✦ **CÓDEC** es una abreviatura de Codificador-Decodificador. Describe una especificación desarrollada en software, hardware o una combinación de ambos, capaz de transformar un archivo con un flujo de datos (*stream*) o una

señal. Los códecs pueden codificar el flujo o la señal (a menudo para la transmisión, el almacenaje o el cifrado) y recuperarlo o descifrarlo del mismo modo para la reproducción o la manipulación en un formato más apropiado para estas operaciones. Los códecs son usados a menudo en videoconferencias y emisiones de medios de comunicación.

La mayor parte de códecs provoca pérdidas de información para conseguir un tamaño lo más pequeño posible del archivo destino. Hay también codecs sin pérdidas (lossless), pero en la mayor parte de aplicaciones prácticas, para un aumento casi imperceptible de la calidad no merece la pena un aumento considerable del tamaño de los datos. La excepción es si los datos sufrirán otros tratamientos en el futuro. En este caso, una codificación repetida con pérdidas a la larga dañaría demasiado la calidad.

Muchos archivos multimedia contienen tanto datos de audio como de vídeo, y a menudo alguna referencia que permite la sincronización del audio y el vídeo. Cada uno de estos tres flujos de datos puede ser manejado con programas, procesos, o hardware diferentes; pero para que estos *streams* sean útiles para almacenarlos o transmitirlos, deben ser encapsulados juntos. Esta función es realizada por un formato de archivo de vídeo (contenedor), como mpeg, avi, mov, mp4, rm, ogg, mkv o tta. Algunos de estos formatos están limitados a contener *streams* que se reducen a un pequeño juego de códecs, mientras otros son usados para objetivos más generales.



CAPÍTULO 6

DISEÑO DE RED WIMAX PARA EL LABORATORIO DE REDES Y SEGURIDAD

6.1 INTRODUCCIÓN

Se debe tomar en cuenta que para toda red inalámbrica que se desee diseñar es posible basarse en cinco puntos principales que son los que llevan a un mejor diseño de la red WiMAX:

✧ COSTO

Incluye el costo inicial del equipo de trabajo, el equipamiento de acuerdo con la tecnología WiMAX, las instalaciones; así como el costo permanente del mantenimiento de la red y las actualizaciones.

✧ COBERTURA

En cuanto a la cobertura se puede hablar de la superficie total o área geográfica que cubre una estación específica.

✧ CAPACIDAD

Puede tratarse de la capacidad máxima de información que puede transportar y recibir una estación base, la red o canal específico.

✧ COMPLEJIDAD

La complejidad puede definirse como el tamaño general de la red, tomando en cuenta cada uno de los componentes físicos y lógicos o administrativos que componen dicha red y que son necesarios para que la red funcione.

✧ CAPACIDAD DE INTERFERENCIA

La capacidad de interferencia que puede ser tolerada ya sea proveniente de dos fuentes principales, una puede ser generada internamente por la reutilización en el canal del sistema o la otra puede estar siendo generada por otros sistemas sobre los que no se tiene control.

Estos cinco elementos están íntimamente relacionados y son mutuamente excluyentes, ya que no se tiene una red compleja ni poco costosa, ni se puede tener una red simple y barata que brinde una buena cobertura y capacidad. La selección de la red más adecuada estará impulsada por la mejor solución a las necesidades del lugar y las expectativas de los usuarios. Equilibrándolas con los cinco elementos y las prioridades de los mismos para lograr el objetivo.

6.2 DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA

Algunos de los puntos fundamentales en los que se basa el diseño de la red, y que son de vital importancia, ya que brindan información preliminar necesaria para lograr el diseño de una red inalámbrica, son los que se mencionan a continuación:

- ✦ **Antecedentes:** Descripción detallada de las condiciones iniciales que se tienen y de lo que se desea obtener de la red, teniendo como objetivo satisfacer necesidades actuales, así como también se prevé un crecimiento futuro de acuerdo con las necesidades de los usuarios de la red.
- ✦ **Características del lugar:** Descripción detallada del lugar en el que se diseña la red, con el objetivo de diseñar una red con el respectivo reconocimiento del

lugar considerando edificaciones, características arquitectónicas y áreas abiertas.

- ✦ **Identificación de redes existentes:** Descripción detallada de las redes con las que se cuenta y las redes que se encuentran aledañas al lugar, esto con el objetivo de tener una variable más en el análisis de radio frecuencia.
- ✦ **Población objetivo:** Descripción detallada de la población a la que va dirigida la red, en este caso se deben tomar en cuenta diversos factores como el tipo de usuarios, con el objetivo de brindar la capacidad y cobertura necesarias al sector.
- ✦ **Análisis de requerimientos (usuarios, aplicaciones y arquitectura):** Los requerimientos presentados deben reflejar los propósitos que se pueden cumplir con la red inalámbrica y sirvan de base para la selección de los equipos. Son definidos de acuerdo con conceptos generales y se detallan de la siguiente manera: requerimientos de usuarios, de aplicaciones y de arquitectura.
- ✦ **Análisis de la demanda (estudiantes, profesores y personal administrativo):** Conocer cómo es la demanda es identificar cuáles son las características, las necesidades y los comportamientos de los usuarios tanto estudiantes, profesores y personal administrativo, esto siempre puede resultar de alto interés para facilitar el diseño de la red, tomando a su vez en cuenta la variación de los diversos sectores de la demanda.

Desde el punto de vista del usuario, se define a los requerimientos como los responsables para que una tarea encomendada a la red, se le pueda catalogar como cumplida.

Se determinan los grupos de aplicaciones para la red inalámbrica, basándose en las características de los distintos servicios requeridos en forma general lo que ayuda a establecer las actuales aplicaciones, su grado de utilización y la satisfacción de los usuarios por los servicios prestados.

- ✦ **Dimensionamiento de la red:** Es la estimación del número aproximado de instalaciones necesarios y su configuración (para cumplir los requisitos de capacidad y cobertura en la zona de interés), así como del número de elementos de red, de los enlaces entre ellos y su capacidad.

6.3 DISEÑO DE LA RED WIMAX

6.3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR

ANTECEDENTES¹: El lugar fue pensado desde un inicio con el objetivo de cubrir la parte práctica de la materia Redes de Computadoras, la cual sólo se componía de la parte teórica y adolecía de la parte práctica, así que quedaba como opcional para los estudiantes cursar talleres durante el intersemestre. Aunado a lo anterior se buscaba que los tesisistas pudieran probar o realizar sus trabajos de investigación, debido a esas necesidades, con la revisión de los planes de estudio, en el año 2005 se adicionaron las asignaturas Redes de datos (la cual sustituyó a Redes de Computadoras), Administración de Redes (ambas asignaturas se componen de una parte teórica y una práctica) y aquellas que componían los diversos módulos terminales como el módulo de Redes y Seguridad.

En un inicio se trabajó con un solo equipo de forma que los alumnos tuvieran inicialmente una muestra de la parte práctica que se le añadiría a la teoría. Posteriormente y con este antecedente se creó el Laboratorio de Redes y Seguridad de la Facultad de Ingeniería con el cual los alumnos integrarían sus conocimientos teóricos con los prácticos.

La ubicación del Laboratorio fue anteriormente parte del Laboratorio de Computación sala C, posteriormente esa sala fue dividida y actualmente una parte de ella aloja el laboratorio de Microsoft Research, pues debido a su crecimiento, abandonó el lugar que tenía asignado en la planta baja del edificio Luis G. Valdés Vallejo, para trasladarse al tercer piso, fue así como se comenzó a trabajar en el diseño e implementación del Laboratorio de Redes y Seguridad, trabajo que fue realizado por tesisistas bajo la dirección de la M.C. Jaquelina López Barrientos, debido a que el sitio ubicado en la planta baja, alojaría al nuevo Laboratorio de Redes y seguridad.

Algunos de los equipos que anteriormente se encontraban en el Laboratorio fueron aportados por algunos alumnos de la facultad, los cuales al concluir tesis y trabajos de investigación los donaron, con lo que inicialmente el laboratorio tenía un equipo nuevo, tres armados, un servidor y un switch de 6 puertos.

¹ Para información detallada visitar: 132.248.52.4

Posteriormente se recibieron donaciones por parte de algunas organizaciones y ex-tesistas, entre las cuales se pueden mencionar la de la empresa HUBBELL que donó herramientas y los elementos de conectividad necesarios para instalar la red del laboratorio bajo las normas de cableado estructurado, la donación de dos equipos de cómputo y un servidor, totalmente nuevos y con lo último en hardware por parte de la empresa ISETI, la entrega de diversas herramientas de parte de los Ingenieros Hugo Cedillo, Sergio Gutiérrez y la M.C. Cintia Quezada y la asignación de más equipos nuevos por parte de la División de Ingeniería Eléctrica.

El Laboratorio consta de una red que opera bajo dos plataformas (Linux y Windows), con nueve equipos de cómputo, un servidor bajo plataforma Linux en la versión Fedora, que cada semestre se modifica dependiendo de las nuevas aplicaciones con las que se vaya a contar, y un hub de 12 puertos, un rack y patch panel. Además de crearse una página para dicho Laboratorio 132.248.52.4.

El 31 de marzo de 2008 el Laboratorio de Redes y Seguridad cambió de sede al Edificio de Posgrado Bernardo Quintana Arrijoja, primer piso junto al Laboratorio de IBM.

En la actualidad el lugar brinda el servicio de Laboratorio a las materias mencionadas y en los tiempos libres se brinda servicio a tesistas, los cuales realizan pruebas e investigación sobre Redes de Datos y Seguridad Informática. Con lo cual, se da un paso más a la investigación y a la práctica, además permite que los alumnos inscritos en las asignaturas del módulo terminal realicen sus proyectos y practiquen lo visto durante sus clases de teoría.

✧ **CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR:** El Laboratorio tiene un área especificada en la figura 6.1, se encuentra ubicado en el primer piso del edificio de posgrado de Ingeniería, a un costado del Laboratorio IBM.

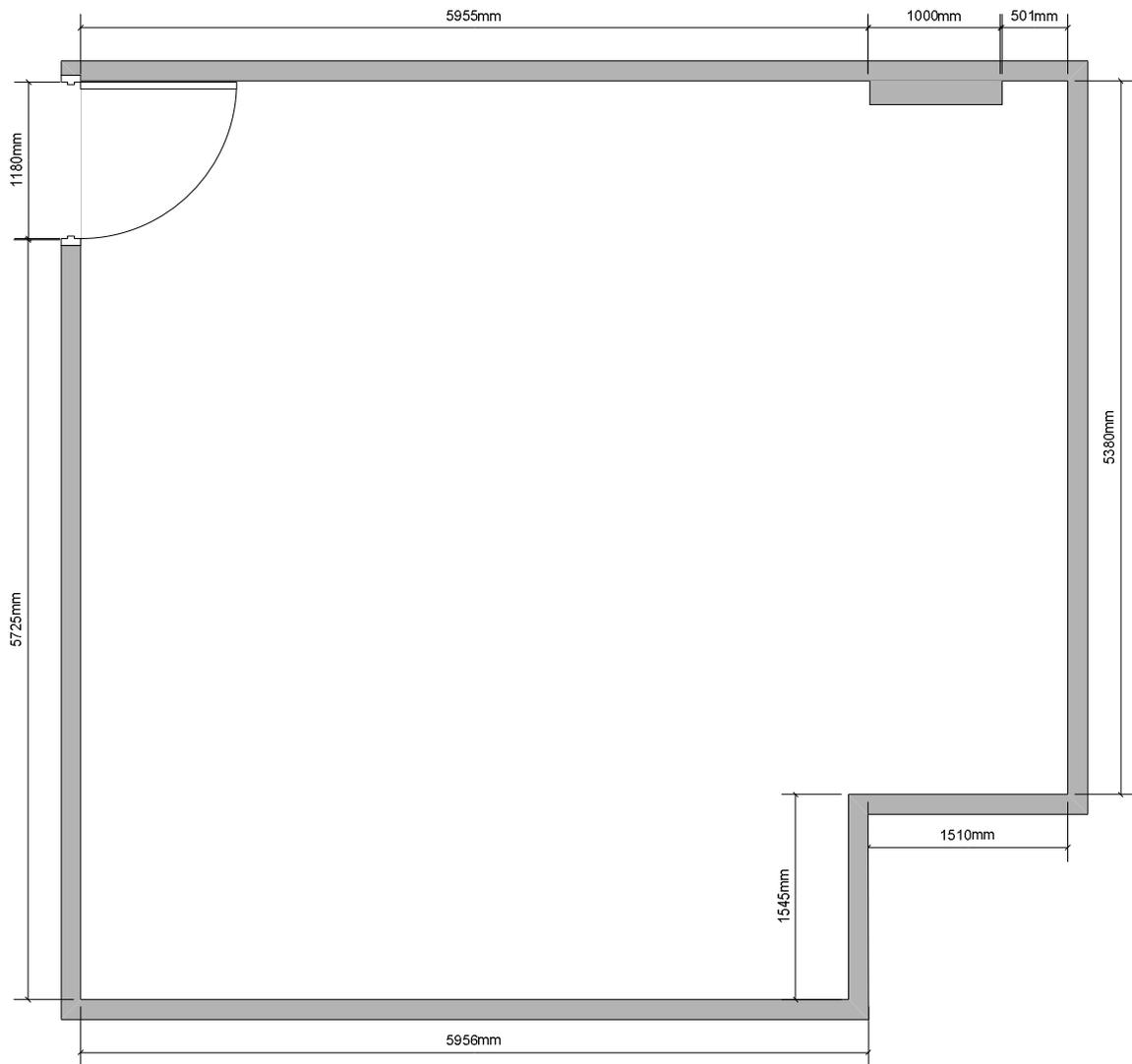


Figura 6.1 Plano del Laboratorio

Las características del lugar y, en general del edificio, se encuentra cimentado con muros que dificultan la propagación de otras redes aledañas. Por lo que la red a diseñar debe considerar que los muros dificultan su propagación a otros lugares.

El equipo con el que se cuenta y sus características son:

DISEÑO DE RED WIMAX PARA EL LABORATORIO DE REDES Y SEGURIDAD

SERVIDOR

EQUIPO	PROCESADOR	DISCO DURO	MEMORIA	SISTEMA OPERATIVO
1	XENON 2.8 GHz	160 GB	1024 MB	Red Hat Enterprise 3

EQUIPOS DE CÓMPUTO

EQUIPO	PROCESADOR	DISCO DURO	MEMORIA	SISTEMA OPERATIVO
1	Pentium IV 2.4 GHz	40 GB	256 MB	Windows XP Professional y Fedora Core 3
2	Pentium IV 2.0 GHz	40 GB	256 MB	Windows XP Professional y Fedora 5
3	Pentium IV 2.8 GHz	40 GB	256 MB	Windows XP Professional y Fedora 5
4	Pentium IV 2.8 GHz	40 GB	256 MB	Windows XP Professional y Fedora 5
5	Pentium IV 2.86 GHz	80 GB	256 MB	Windows XP Professional y Fedora Core 5
6	Pentium IV 3.2 GHz	80 GB	512 MB	Windows XP Professional y Fedora 5
7	Pentium IV 3.2 GHz	80 GB	512 MB	Windows XP y Fedora 5
8	Pentium IV 3.2 GHz	80 GB	512 MB	Windows XP Professional y Fedora 5
9	Pentium IV 3.2 GHz	80 GB	512 MB	Windows XP Professional y Fedora 5

SWITCH 3COM

PUERTOS	VELOCIDAD	PROTOCOLOS DE INTERCONEXIÓN	PROTOCOLOS DE GESTIÓN
24 x Ethernet 10Base-T Ethernet 100Base-TX	100 Mbps	Ethernet, Fast Ethernet	SNMP 1, RMON 1, RMON 2, RMON 3, RMON 9, Telnet, HTTP

El **cableado estructurado**, el cual cubre al Laboratorio, con un cable de categoría 5e, utilizando interconexión Ethernet y Fast Ethernet. La red LAN existente trabaja a una velocidad de 100 Mbps. Los servicios y las configuraciones básicas de la red LAN, son suministrados por la DGSCA² (Dirección General de Servicios de Cómputo Académico).

✂ **IDENTIFICACIÓN DE REDES EXISTENTES:** El Laboratorio cuenta con una red LAN a 100Mbps de tasa de transferencia.

Además de esta red se cuenta con una red inalámbrica universitaria RIU³, la cual fue implementada con el objetivo de brindar acceso a los alumnos de Ciudad Universitaria.

Asimismo se tienen diversas redes bajo el estándar 802.11 Wi-Fi las cuales han sido localizadas por SSID y Canal para lograr una identificación precisa de las redes que se tienen en el edificio y que pueden estar interoperando con la red WiMAX, las redes identificadas son las que tienen cobertura en el edificio y además alcanzan a cubrir el área del Laboratorio de Redes y Seguridad. Tabla 6.1

² www.dgsca.unam.mx

³ <https://www.riu.unam.mx/>

Tabla 6.1 Redes Existentes

CANAL	SSID	TIPO DE RED
CANAL 1	Estudiantes	ESS
	Visitantes	ESS
	INGES-TEST	ESS
	RIU	ESS
	RIU	ESS
	RIU	ESS
CANAL 4	Wireless	ESS
	zinacthe	ESS
CANAL 6	diletante	ESS
	Bugatti	ESS
	diedimeig	ESS
	mobilelan	ESS
	linksys	ESS
	mobilelan	ESS
	RIU	ESS
	RIU	ESS
	TP-LINK	ESS
	protecowifi	ESS
	Instrumentación Biomédica	ESS
CANAL 7	Labvoz	
CANAL 8	LAB-CONTROL	ESS
CANAL 9	LAB-SIMULACIÓN	ESS
CANAL 11	BIORLINKSYS	ESS
	CPFIUNAM	ESS
	hpsetup	IBSS
	meca-red	ESS
	RED LPDI	ESS
	RIU	ESS
	RIU	ESS
	trino	ESS

✂ **POBLACIÓN OBJETIVO:** La población objetivo está conformada por dos partes importantes, el alumnado y la población de investigación, conformada por profesores y tesisistas. Los alumnos son la población que más hace uso del lugar, ya que se tienen 25 grupos de laboratorio en total, de las dos asignaturas obligatorias que se imparten en el laboratorio, los cuales se encuentran repartidos en horarios de lunes a viernes, y de los que se tiene una población aproximada de 315 alumnos inscritos en dichos cursos cada semestre en promedio.

Para la población de investigación se tiene un espacio abierto cuando el laboratorio no se encuentra en uso y con el debido permiso, con lo que las actividades más relevantes de dicha población es la prueba y desarrollo de nuevos proyectos, relacionados con la administración y seguridad en redes de datos.

✂ **ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS:** Los requerimientos se van a dividir en tres partes: usuarios, aplicaciones y arquitectura.

a) Usuarios: Para los usuarios que hacen uso del laboratorio, el tiempo de respuesta es importante para el desarrollo de las prácticas, las pruebas y actividades de investigación, ya que el usuario puede tener acceso, transferir o modificar información dentro de un rango de tiempo tolerable, en específico sin interrupciones en aplicaciones que así lo requieran, como lo son las interactivas de audio y video.

Otro de los requerimientos de los usuarios es la confiabilidad de la red, esto se refiere a que será confiable si es permanente en la entrega de sus servicios. Los usuarios requieren que servicios tales como videoconferencia, navegación Web y descarga de archivos sean totalmente confiables.

La adaptabilidad es uno de los requerimientos que se deben tomar en cuenta, ya que la red debe tener la habilidad para adaptarse con facilidad a nuevos requerimientos. En este punto, se destaca que la red debe adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios, a las eliminaciones y adiciones de equipos y de terminales. Y un aspecto importante será el crecimiento futuro del taller y su expansión.

Finalmente la red debe brindar seguridad, esto es, garantía de entregar con integridad y autenticidad la información que transmite. Además de establecer políticas para el acceso por parte de entes externos e internos a los recursos de información de los usuarios.

b) Aplicaciones: Éstas están basadas en las aplicaciones actuales y en las que se desea desarrollar e implementar.

- Videoconferencia la cual tiene como objetivo principal lograr una comunicación ininterrumpida y que se mantenga la interactividad de dicha comunicación.
- Web involucra el acceso hacia un equipo remoto, esperando que éste le devuelva las respuestas en un tiempo razonablemente reducido y aceptable, mediante la utilización de un navegador Web.
- Correo electrónico que es una aplicación que no exigen una respuesta inmediata por parte de la red, admitiendo retardos incluso de varios minutos.
- Voz aplicación que será de gran ayuda pues las señales de voz se digitalizan y son enviadas como datos mediante paquetes IP a través de la red y son convertidos a señal analógica en los terminales telefónicas. Y que puede dar pie al uso de nuevas tecnologías.

c) Arquitectura: Uno de los principales requerimientos de arquitectura es la cobertura que debe brindar la infraestructura de la red.

La interoperabilidad es uno de los requerimientos que la red inalámbrica debe cumplir ya que se deberá facilitar la conexión de la red LAN existente, ya que diversas aplicaciones necesitan la interconexión con algunos equipos de cómputo y servidores ubicados en la red LAN cableada, por lo que se debe elegir una interfaz de comunicación adecuada.

La gestión de la red consiste en varios elementos como son el software de gestión, que deberá ser compatible con los sistemas operativos LINUX, Windows NT, Windows 2000, Windows XP o posteriores.

La herramienta de gestión debe permitir realizar funciones tales como operar, mantener, configurar y administrar los recursos de red y los servicios soportados por ellos. La interfaz gráfica de usuario del sistema de gestión debe permitir al administrador visualizar el estado de operación o funcionamiento, eventos y alarmas de los elementos de red que se encuentran instalados tales como estaciones base, antenas y estaciones suscriptoras.

El sistema de gestión deberá permitir la configuración de las frecuencias y de la potencia de transmisión, tanto de la estación base como de las estaciones suscriptoras CPE.

Y finalmente la red deberá de cumplir con los lineamientos del marco regulatorio en lo referente a la implementación y operación de sistemas de modulación de banda ancha.

✧ **ANÁLISIS DE LA DEMANDA:** La demanda principal del Laboratorio es la que se tiene por parte de los alumnos que cursan las asignaturas de Laboratorio de Redes de Datos y Administración de Redes, por lo que el Laboratorio debe ser capaz de llenar los requerimientos y las expectativas de dichos usuarios, quienes a su vez, comienzan a tener un contacto directo con el uso y configuración de los equipos para red, ya que las prácticas que se llevan a cabo abordan el armado de cableado estructurado, uso y rendimiento de hub y switch, instalaciones de redes básicas en plataformas Windows y Linux, enrutamiento, protocolos TCP y UDP, SSH y aplicaciones web .

Además para un nivel en el que los alumnos ya tienen un antecedente de redes de datos, los requerimientos y la respuesta de los mismos elementos de red cobra más importancia. Las prácticas del laboratorio ya involucran el uso de configuraciones cliente servidor, además de la configuración como la de dispositivos de interconectividad, administración con SNMP y con diversos paquetes, configuración de VoIP, comunicaciones inalámbricas, mecanismos de seguridad y monitoreo de redes.

En el caso de los tesistas que utilizan el Laboratorio como un lugar para pruebas y nuevos proyectos de investigación, las necesidades son las mismas debido a que el equipo de red debe responder a las expectativas del usuario,

ya que los inconvenientes que se involucren en el proceso de investigación y prueba deben ser inherentes al proceso y no a las configuraciones o rendimiento de los equipos utilizados.

Por lo que la mayor demanda de los usuarios como tesisistas sería el espacio o disponibilidad de equipos en horas de clase y el uso eficiente y en tiempo de las aplicaciones a utilizar.

✧ **ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS:** El número de usuarios esperado se encuentra repartido de la siguiente manera:

13 grupos de Laboratorio de Redes de Datos, provenientes de 4 grupos de la materia de Redes de Datos. Los cuales cursan, según el plan de estudios vigente aprobado en el año 2005, 6.5 horas totales de la materia, de la cuales 4.5 horas son de forma teórica y 2.0 horas de forma práctica.

12 grupos de Laboratorio de Administración de Redes, provenientes de 3 grupos de la asignatura de Administración de Redes. Los cuales cursan 5.0 horas totales de clase, las cuales son 3.0 horas de forma teórica y 2.0 horas de forma práctica.

Se debe considerar además el uso del Laboratorio a tesisistas con lo que se debe agregar un margen de usuarios esperados para el uso de la red que se desea diseñar.

Los profesores de dichos cursos, de asignaturas del módulo terminal y administradores de la red o encargados deben también ser tomados en cuenta debido a que pueden hacer uso de la red diseñada.

✧ **DIMENSIONAMIENTO DE LA RED:** Para la estimación de las necesidades del ancho de banda del Laboratorio se debe considerar proveer un soporte suficiente para la red en tiempos de uso cuando la demanda es mayor. Adicionalmente para la estimación del ancho de banda requerido en la red se debe también considerar los servicios a prestar.

Según las recomendaciones de los ISP (Internet Service Provider/ Proveedor de Servicios de Internet), se necesita 28.8 Kbps de ancho de banda efectivo por cada usuario para que éste pueda utilizar los servicios tales como navegación Web, correo electrónico y transferencia de archivos como FTP.

De acuerdo con el reconocimiento de las instalaciones del Laboratorio, se tienen 10 equipos los cuales van a utilizar el servicio que presta la red inalámbrica, el ancho de banda que ocuparán a través de la red se calcula como: Ancho de Banda = $10 * 28.8 \text{ Kbps} = 288 \text{ Kbps}$. Este ancho de banda se estima al momento de los cursos de Laboratorio de las dos materias impartidas.

Ahora se tiene que tomar en cuenta el ancho de banda que se utilizaría en el caso crítico cuando todos los usuarios estuvieran haciendo uso de la red inalámbrica. Por lo que para los usuarios de las tarjetas PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association/ Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria de Computadoras Personales) se va a asignar también un ancho de banda de 28.8 Kbps por tarjeta.

El alumnado se considera teniendo en caso crítico un total de 315 alumnos aproximados y en el caso crítico todos tendrían un equipo portátil con el cual conectarse.

Además se deben contemplar tesis para trabajos de investigación que en promedio pueden tenerse 10 por semestre, los administradores de la red y académicos de dichas materias que requieran el uso de la misma red por lo que se agregarán estos usuarios a la red, aproximadamente se tomarán en cuenta 20 de acuerdo con las listas de profesores que imparten dichas materias, encargados y administradores del Laboratorio, con lo que el total serían 345 usuarios: Ancho de Banda = $345 * 28.8 \text{ Kbps} = 9.936 \text{ Mbps}$.

Entre la estación base y la estación suscriptora ubicadas, se tiene la opción de utilizar el servicio de voz sobre IP. De acuerdo con estudios realizados en torno a la codificación G711⁴ utilizada en VoIP, es necesario un ancho de banda óptimo de 64 Kbps por cada canal de voz, suponiendo cuatro canales de voz se tendrían 256 Kbps.

⁴ <http://www.voipforo.com/codec/codecs.php>

DISEÑO DE RED WIMAX PARA EL LABORATORIO DE REDES Y SEGURIDAD

La red inalámbrica tiene la opción de brindar el servicio de video conferencia para los usuarios, para esto se va a asignar un ancho de banda de 256 Kbps, con base en que la videoconferencia envía y recibe paquetes de datos con el protocolo TCP/IP y que es codificada mediante un CODEC H.320 que tiene mejor rendimiento sobre este tipo de redes, sin embargo esta norma no define los elementos que permiten garantizar la calidad de servicio (QoS) de la aplicación de videoconferencia, éstos asumen que el enlace empleado para intercambiar audio y video tiene alguna forma de garantizar que la información llegue íntegra y a tiempo. El total del ancho de banda requerido para este diseño deberá contemplar lo que se muestra en la tabla 6.2

Tabla 6.2 Ancho de Banda de la Red WiMAX

TIPO	ANCHO DE BANDA
Alumnado Total	9.936 Mbps
Clases Laboratorio	288 Kbps
VoIP	256 Kbps
Videoconferencias	256 Kbps
TOTAL	
10.736 Mbps	

De la tabla anterior se tiene como resultado que el total que se necesita para la red inalámbrica es de 10,736 Mbps, como esta red está diseñada con la tecnología WiMAX en la cual especifica un ancho de banda de 75 Mbps de los cuales se tiene que restar los 10.736 Mbps se tiene 64.264 Mbps para utilizarlos en otras aplicaciones según los requerimientos a futuro o para expansión de la red.

Para realizar los cálculos de ancho de banda se utilizaron los bits por segundo por cuestiones comerciales, recalcando que el ancho de banda se mide en Hertz y la velocidad de transmisión en bits por segundo.

6.3.2 COMPONENTES DE LA RED WiMAX

Los componentes que se tienen en la red WiMAX son tanto los elementos físicos como lógicos, entre ellos se encuentran las herramientas y configuraciones necesarias para dicha red.

ELEMENTOS FÍSICOS

Las redes inalámbricas WLAN se componen fundamentalmente de dos elementos: los access points, tarjetas PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association / Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria de Computadoras Personales) basadas en el estándar 802.16 al igual que los equipos CPE (Customer Premises Equipment / Equipo Local del Cliente) y los dispositivos de cliente o equipos terminales de voz y datos.

✧ ACCESS POINTS O PUNTOS DE ACCESO

El access point es un dispositivo encargado de transmitir y recibir información hacia los suscriptores o CPEs (Customer Premises Equipment / Equipo Local del Cliente) que se encuentran dentro de su zona de cobertura, es el encargado de asignar y controlar el ancho de banda a los diferentes suscriptores.

Los access points que se tienen en el mercado que están basados en la tecnología WiMAX han sido distribuidos inicialmente por Motorola, proveedor que hasta el momento ya cuenta con una gama de productos dirigidos a dicha tecnología. Estos access points tienen diversas características.

De acuerdo con las características deseadas de la red, se tiene que el modelo propuesto para la red es el access point WAP 400, modelo que Motorola maneja para su solución inalámbrica, éste cuenta con todas las características necesarias, de acuerdo con la tecnología, que se requiere para la transmisión de la información y la conexión con los equipos cliente. El access point WAP 400 es una solución ideal para servicios fijos y móviles para las diversas aplicaciones deseadas de la red.

Compatible con las normas del estándar 802.16e, este access point provee de alto rendimiento de acceso inalámbrico de banda ancha sobre las bandas de frecuencia 2.3, 2.5 y 3.5 GHz del espectro.

Algunos de los beneficios de este modelo son el alto rendimiento ya que cuenta con una interfaz eficiente S-OFDMA, baja latencia en su rendimiento,

además de tener la capacidad de permitir la propagación al interior de los espacios, soportando a su vez la movilidad total de los equipos cliente y adicionalmente teniendo las características de QoS, seguridad, opciones de redundancia lo que hacen de este equipo una buena solución.

Al mismo tiempo este equipo provee de aplicaciones sin línea de vistas NLOS para conexiones inalámbricas tanto fijas como móviles. Su diseño proporciona facilidad de instalación, administración y operación, debido a que posee un software de operación y administración que permite la configuración, autenticación y actualizaciones periódicas.

Conjuntamente provee de un despliegue flexible y escalabilidad, por lo que la capacidad y cobertura estarán cubiertas si es que se desea que la red tenga un crecimiento futuro.

Este equipo ofrece, WiMAX OAM (WiMAX Operations and Management System), el cual trabaja bajo la plataforma de hardware Intel y bajo la plataforma de software Windows 2003 o Windows XP Professional, utilizando como software adicional Java TM Runtime Environment. Este sistema OAM permite monitoreo en tiempo real, notificaciones y herramientas de diagnóstico y reporte de eventos.

En cuanto al sistema de configuración OAM, se tiene el reporte de configuraciones, inventario de datos, autodescubrimiento y autoconfiguración. Lo que simplifica la provisión de nuevos elementos y dispositivos de red, además de mejorar la fiabilidad para el manejo efectivo de la instalación de nuevos equipos y la actualización automática de los mismos.

A su vez el sistema de desempeño y seguridad OAM permite mejorar el monitoreo del desempeño de la red y la oportuna identificación de fallas así como mantener la seguridad de la red en un nivel considerado como apropiado para el administrador. Figura 6.2

Las características se encuentran en la siguiente tabla 6.3 la cual muestra de forma más concreta las especificaciones de dicho access point. Éstas lo convierten en la mejor opción para la solución WiMAX.

Tabla 6.3 Características AP WAP 400

Arquitectura	Cabezales activos de RF con antenas integradas y conexiones digitales de alta frecuencia con la Unidad de Base de Control sobre fibra.
Bandas de Frecuencia	2.3 GHz (2.300-2.400 GHz); 2.5 GHz (2.495-2.690 GHz); 3.5 GHz (3.400-3.600 GHz)
Canales Banda Ancha	2.3 GHz: 5 o 10 MHz; 2.5 GHz: 5 o 10 MHz; 3.5 GHz: 5 o 7 MHz
Interfaz Aérea	WiMAX certificado bajo IEEE 802.16e-2005 (S-OFDMA Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access/ Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal Escalable)
Modo de Duplexión	TDD (Time Division Duplex / Duplexión por División de Tiempo)
Frecuencia Reuso	Arriba de 4 sectores con múltiples opciones de frecuencia de reuso
Dimensiones Físicas Módulo RF Unidad de Control	712 x 178 x 229 mm (28" x 7" x 9") Peso: 16 kg (35lbs) 813 x 508 x 508 mm (32" x 20" x 20") Peso: 68 kg (150 lbs)
Temperatura de Operación	-40°C a 55°C Exterior e Interior
Modulación y Codificación	QPSK, 16 QAM y 64QAM
EIRP*	Arriba de los 50.8 dBm
Entrada de voltaje	-48 VDC, +27 VDC, 88-240 VAC
Características de Priorización de Tráfico	IEEE 802.Q Capa 2 IEEE 802.1p, IPv4 Diffserv
QoS	Concesión no Solicitada (UGS) Reproducción en tiempo real del sistema (rtPS) Reproducción en no tiempo real del sistema (nrtPS) Mejor Esfuerzo (BE)
Seguridad	Autenticación mediante EAP**, CCM-AES codificación y autenticación de datos de 128 bits, protocolo de administración con claves PKMv2.
Conexión Cableada de Unidad de Control Banda Base a Access Point RF	Fibra Óptica, Voltaje DC

DISEÑO DE RED WIMAX PARA EL LABORATORIO DE REDES Y SEGURIDAD

Interfaz Cableado	IEEE 802.3 (10/100/1000 Base T Ethernet)
Disponibilidad	Objetivo arriba de los 99.9995%
Elementos de antena	2
Cadenas Transmisor / Receptor	2/2

* Equivalent Isotropically Radiated Power / Potencia Isotópica Radiada Equivalente.

** Extensible Authentication Protocol / Protocolo de Autenticación Extensible



Figura 6.2 Access Point WAP 400

✧ **CPE (CUSTOMER PREMISES EQUIPMENT / EQUIPO LOCAL DEL CLIENTE)**

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.

Ésta suministra, dependiendo del proveedor de servicios de internet, una dirección IP, estática o dinámica al equipo que se le conecte.

Al igual que el access point, Motorola provee de los equipos CPE de los cuales tiene una amplia gama y con las características necesarias para la elección del adecuado para la red. Por lo que se tienen dos tipos de CPE, los que son indoor o de interior y los que son outdoor o de exterior.

Ambos equipos tienen características que los hacen adecuados a una u otra red, dependiendo de los requerimientos de cada una de ellas. Los equipos CPEo son equipos outdoor y los equipos CPEi son los indoor, clasificación o nombre que se manejan por Motorola.

Para la elección del equipo CPE adecuado se han investigado diversos modelos de CPEo y CPEi. Los modelos que maneja Motorola son los modelos CPEo 200 y 400 Series y los modelos CPEi 100, 200, 300, 400, 600, 750 y 850 Series.

Los modelos con las características y especificaciones que cubre los requerimientos para la red son CPEo 400 y CPEi 850.

Las dos soluciones que se presentan difieren una de la otra en el uso que se desee dar al equipo CPE, la solución más factible es el modelo CPEi ya que el modelo indoor cumple con la cobertura y capacidad apropiada para la red y permite un crecimiento futuro de la misma, escalable a redes de mayor capacidad y cobertura.

La razón principal para la elección del modelo CPEi 850 es que este equipo tiene la capacidad de operar con tecnología tanto WiMAX como Wi-Fi, lo que nos permite la posibilidad de interoperar con ambas tecnologías de red.

Entre sus características destacadas se encuentran su alto diseño, su fiabilidad y eficiencia de operación, el diseño de su antena y la interoperabilidad con otras tecnologías, su desempeño, su fácil administración mediante un sistema remoto de administración y su seguridad y autenticación avanzada. De forma puntual las características del modelo CPEi 850 (Figura 6.3), las cuales cubren los requerimientos de red, están mencionadas en la tabla 6.4

Tabla 6.4 Características de equipo CPEi

Desempeño Radiofrecuencia	Rango de más de 2.5 km Orientación automática de la antena MIMO* Antenas Remotas Opcionales Sensitividad de la antena ≤ 95 dBm (1/2 QPSK @ 5 MHz BW) Ganancia de la antena +7 dBi Ruido 5dB
Conectividad	4 puertos Ethernet 2 puertos integrados ATA (VoIP)
Certificación	Certificación Wave 2 WiMAX Forum 5 MHz y 10MHz Canal de 3.5 GHz 5 MHz y 10MHz Canal de 2.5 GHz 5 MHz y 10MHz Canal de 2.3 GHz
Clases de QoS	BE, UGS, RTPS, NRPTS, ERTPS
Throughput** (Rendimiento)	15 Mbps Downlink, 3 Mbps Uplink Modulación QPSK, 16QAM, 64 QAM en ambos enlaces.
Seguridad	Autenticación de la certificación digital X.509 *** Autenticación basada en el estándar IEEE 802.16e EAP-TLS y EAP-TTLS AES (128 bits CCM) Firewall de Codificación y Autenticación de Datos
Configuración Remota y Actualización de Software	OTA (Over The Air/ Sobre el Aire) campo actualizable Agente SNMP v3 Agente OMA
Sistemas Operativos Compatibles	Windows Mac LINUX
Características	Voltaje: 100-250 Volts AC Temperatura: 0°C a 40°C Humedad: 5% a 95%
Regulación	Norte América Europa Asia Latinoamérica

* Multiple Input, Multiple Output /Múltiple Entrada, Múltiple Salida.

** Volumen de trabajo o de información que fluye a través de un sistema.

*** X.509 especifica, entre otras cosas, formatos estándar para certificados de claves públicas y un algoritmo de validación de la ruta de certificación.



Figura 6.3 CPEi 850

Pensándose en el caso futuro de que la red se amplíe a diversas aéreas al aire libre o se desee dar una mayor cobertura se puede disponer de un equipo outdoor, un equipo más robusto, que en este caso es el modelo CPEo 400 Series el cual tiene la capacidad de permitir escalabilidad de la red.

CPE basado en la tecnología 802.16e tiene entre otras características, un costo accesible, alto desempeño en acceso inalámbrico de banda ancha, además de proveer una significativa mejora en la capacidad y cobertura de la red, reduciendo el número de bases para cubrir una mayor área geográfica.

Estos equipos están configurados para operar en la banda de los 3.5 GHz (3.40 a 3.60 GHz) la cual es una banda difundida como rango de frecuencia licenciada para banda ancha inalámbrica en la mayoría de los mercados internacionales.

Las características que hacen de CPEo 400 la mejor elección es el alto desempeño superior a los equipos CPEi ya que al ser un equipo outdoor, la recepción no se encuentra frenada por paredes de concreto o ladrillo, así como algunas estructuras de vidrio o metal en los edificios que impidan la propagación RF.

Con este equipo, los usuarios pueden maximizar su recepción mediante LOS con la estación base, lo cual no es posible con los equipos indoor. El equipo CPEo tiene la ventaja de apuntar con precisión a la estación base sin pérdidas en la propagación.

El CPEo 400 tiene la capacidad de soporte y administración remota, además de permitir la administración y un adecuado monitoreo de los dispositivos de red desde un equipo central o un sistema elemental de administración. Igualmente el equipo permite, con mejoras de software de forma remota, la fácil instalación de los productos actualizados, nuevas características y mejoras.

Estos equipos emplean la Tecnología de Múltiples Antenas, la cual provee un aumento en el rango y un alto rendimiento comparado con las soluciones que se brindan con equipos que sólo emplean una antena. Con esta tecnología el rendimiento de los access points tiene una mejora significativa, además de que utiliza diversas tecnologías para lograrlo como son: MRC, CSTD y MIMO.

El equipo CPEo (Figura 6.4) provee de un conjunto de servicios que multi-residencia en un edificio. Ya que cuando el equipo es posicionado en alguna azotea puede proveer acceso de banda ancha a múltiples usuarios en un solo edificio. De forma similar una empresa puede usar el equipo outdoor para ofrecer servicio de banda ancha y conexión VPN desde la oficina y de vuelta a la red de la corporación principal, actuando como un puente WiMAX.

Entre las características más destacadas se encuentran, que proporciona la más económica y avanzada solución para acceso a servicios de banda ancha fija. Opera en la banda de 3.5 GHz con OFDM y tecnología NLOS, con la cual se supera los comunes obstáculos urbanos. Integrado con 802.3af PoE (Power of Ethernet / Poder sobre Ethernet) lo que hace fácil y rápida la instalación del equipo. Diseñado para ambientes exteriores a prueba de agua. Además de contar con SNMP AAA (Authentication, Administration y Authorization / Autenticación, Administración y Autorización) para su operación y administración.

En cuanto a sus especificaciones y características técnicas se tiene la siguiente tabla 6.5

Tabla 6.5 Características equipo CPEo

Aplicación	Estacionaria y nómada solamente
Banda de Frecuencia	3.400-3.600 GHz
Ancho de Banda de Canal	5 y 7MHz
Interfaz Aérea	OFDMA
Arquitectura	802.16e
Configuración	Configuración remota/ Software mejorable
Dimensiones físicas	203x203x70 mm
Peso	1.6 kg
Temperatura de operación	-40°C a 55°C
Polarización	Vertical
Requerimientos de potencia	90 a 264 VAC /50.60 Hz
Consumo de potencia	55VDC / 45 Watts
Administración de potencia	Transmisión automática de control de potencia
Protocolos Soportados	IPv4, TCP, UDP, HTTP, SNMP
QoS	Concesión no Solicitada (UGS) Reproducción en tiempo real del sistema (rtPS) Reproducción en no tiempo real del sistema (nrtPS) Mejor Esfuerzo (BE) Reproducción en tiempo real del sistema extendido (ertPS)
Seguridad	DES y AES, FIPS para AES
Interfaz LAN	IEEE 802.3 (10/100Base-T Ethernet)
Soporte VLAN	IEEE 802.1Q
Firewall	Soporta 253 clientes LAN
Funcionalidad NAT	NAT, Host DMZ
VPN	IPSec, PPTP & L2TP Pass Through
DHCP	DHCP para clientes LAN y DHCP para clientes WAN

**Figura 6.4** Equipo CPEo

✧ TARJETAS DE RED

Actualmente los equipos portátiles son el remplazo de los equipos de escritorio denominados PC, ofreciendo a los usuarios todo el poder, la velocidad y capacidad que en algunos años fue brindada sólo por equipos de escritorio. Cuando un equipo portátil elige una conexión inalámbrica se busca que ésta ofrezca el mismo fácil y confiable acceso rápido a la banda ancha que un equipo fijo PC, pero con la facilidad de transportarse libremente al exterior o moverse en el interior de cualquier área, sea una empresa, hogar u oficina.

Para ello se debe contar con una solución que brinde las características necesarias para WiMAX, la tarjeta de red ofrecida por Motorola, logra cubrir las expectativas con una solución móvil y nómada lo que permite el despliegue de la red a un costo efectivo.

La tarjeta de red ofrecida por Motorola ha sido diseñada para llevar a cabo alta tasa de transferencia, un mejor desempeño y brindar fiabilidad en los servicios que se entregan a los usuarios.

La tarjeta que se brinda como solución a la conexión de banda ancha de WiMAX es la tarjeta de red PCCw 100 la cual ofrece un buen desempeño además de su fácil instalación y operación, conjuntamente la tarjeta de red PCCw 100 brinda un bajo consumo de energía.

Las soluciones que brinda, tanto móviles como nómadas, permiten cobertura en interiores y exteriores, posee un desempeño de RF superior, compatible con sistemas operativos como Windows XP SP2 y Vista además de contar con un software de instalación para dichos sistemas operativos, al mismo tiempo brinda un alto throughput y un sistema de seguridad robusto.

Los beneficios principales de esta tarjeta de red, y por las cuales es la solución a la red WiMAX, son el desempeño, cobertura fiable en interiores, un alto throughput, ofrece cinco clases de QoS, y un sistema de seguridad robusto. Las especificaciones técnicas de la tarjeta de red son las mostradas en la tabla 6.6

Tabla 6.6 Características tarjetas PCMCIA

Desempeño de RF	Transmisor a 3.3 W máximos Receptor a 2.3 W máximos Alta sensibilidad en recepción
Conectividad	PCMCIA
Certificación	Certificación de WiMAX Forum 1.7 MHz y 5MHz Para canales de 3.5 GHz, 5MHz y 10MHz y 2.5 GHz
QoS	Concesión no Solicitada (UGS) Reproducción en tiempo real del sistema (rtPS) Reproducción en no tiempo real del sistema (nrtPS) Mejor Esfuerzo (BE) Reproducción en tiempo real del sistema extendido (ertPS)
Seguridad	Dispositivos basados en la certificación digital X.509. Autenticación por IEEE.16e EAP-TLS y también EAP-TTLS. Codificación y Autenticación AES (128 bits CCM)
Configuración remota y renovación de software	Campo renovable y software de instalación para sistema operativo Windows
Sistemas Operativos Compatibles	Windows XP SP2 y Vista
Condiciones ambientales	Temperatura: 0 a 60 °C Humedad: 20 a 85%
Regulación	Norteamérica, Latinoamérica, Europa y Asia.

✧ CABLEADO ESTRUCTURADO

Parte importante de la estructura de la red es el cableado que se tiene de la red LAN ya que a partir de ésta se tiene la base para dar el servicio deseado, esto es, el cableado debe dar el soporte necesario para la cobertura inalámbrica con WiMAX.

Por lo que se debe tomar en cuenta que en la mayoría de los access points requieren de una conexión a una red Ethernet para poder brindar dicho servicio inalámbrico.

En el caso de la red WiMAX la antena se conecta al proveedor de Internet por medio de fibra óptica o cable con un alto ancho de banda, 30 Mbps o más.

Parte importante del diseño es la elección del cableado, éste debe soportar las condiciones de trabajo en exteriores e interiores, ya que las condiciones a las que se exponen van desde las condiciones climáticas y el desgaste natural del material, hasta las condiciones humanas, esto es, el cuidado que los usuarios dan al cableado y que son uno de los principales factores a considerar, ya que se pueden presentar ataques al tendido del cableado.

Otro factor a considerar y que es el más importante es que la instalación de cableado estructurado debe respetar las normas de construcción internacionales más exigentes para datos, voz y eléctricas tanto polarizadas como de servicios generales, para obtener así el mejor desempeño de la red.

✧ EQUIPOS PERSONALES O DE USUARIO

Los equipos personales utilizados deben contar con los requerimientos del sistema y conectividad necesarios para lograr la conexión a la red, entre los diversos requerimientos que deben cumplir los equipos personales que forman parte de la red, son el contar con una tarjeta de red que soporte el protocolo 802.16, y que además ésta esté soportada por el sistema operativo a utilizar.

6.3.3 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS, ÁREA DE COBERTURA Y ESTRUCTURA DE LA RED

La red se conforma de una estación base o AP, una estación suscriptora fija CPE y diversos equipos móviles a través de tarjetas inalámbricas WiMAX PCMCIA.

Para el caso del Laboratorio de Redes y Seguridad con una estación base o AP y la estación suscriptora fija o CPE se logra la cobertura deseada para el área a cubrir y las tarjetas que se integran en los equipos necesarios. En caso de que se requiera ampliar la red a diversas áreas de la Facultad se deberán integrar estaciones suscriptoras fijas en aéreas específicas a lo largo de la facultad.

El AP sirve para transmitir y recibir la información para las estaciones suscriptoras o CPE que se encuentran en su zona de cobertura. El AP se encargará de asignar y controlar el ancho de banda de los diferentes CPE. Este AP está integrado de diversas antenas las cuales producen una diversidad de caminos radioeléctricos que permiten mejorar la recepción de la información.

Con los equipos CPE se logra originar, encaminar o terminar la comunicación con los usuarios. Este CPE se encuentra a un costado de los usuarios finales y se encuentran conectados al canal de comunicación o portador de información, sean éstos datos, voz o video.

Y las tarjetas PCMCIA estarán integradas a los usuarios que deseen contar con dicho servicio de red. Estas tarjetas trabajan bajo el estándar 802.16 para que así equipos personales móviles y fijos puedan tener acceso a la red, mientras se encuentren dentro del área de cobertura.

La red utilizará una topología punto-multipunto y contará con la estación base ubicada en el exterior del edificio. El equipo CPE se encontrará en el interior del edificio logrando así terminar y encaminar la comunicación. La red garantiza que los usuarios cuenten con el servicio de red siempre que estén en el área de cobertura sin la necesidad de estar a la vista del AP. El AP es configurable al estándar 802.16 con el objetivo de lograr la comunicación con todas las tarjetas asignadas a los equipos fijos y móviles. La administración de dicha red permite el uso de un servidor DHCP para la asignación dinámica de las direcciones IP para los usuarios fijos y móviles.

Además de esta configuración se debe tener en cuenta que la red cableada LAN y la red WiMAX se integren, para ello, es preciso actualizar las configuraciones actuales LAN para tal fin. Y a su vez para lograr la conectividad requerida es necesario configurar una interfaz Ethernet en algún equipo de red como un router para lograr dicha integración.

La ubicación de los puntos es sencilla, ya que sólo se requiere de contar con la antena AP al exterior del edificio y la estación suscriptoras o CPE deberá estar en el interior del edificio, justamente en el Laboratorio de Redes y Seguridad. En la figura 6.5 siguiente se muestra la ubicación de dichos equipos. Y en la figura 6.6 se muestra un esquema de la estructura de la red.

DISEÑO DE RED WIMAX PARA EL LABORATORIO DE REDES Y SEGURIDAD

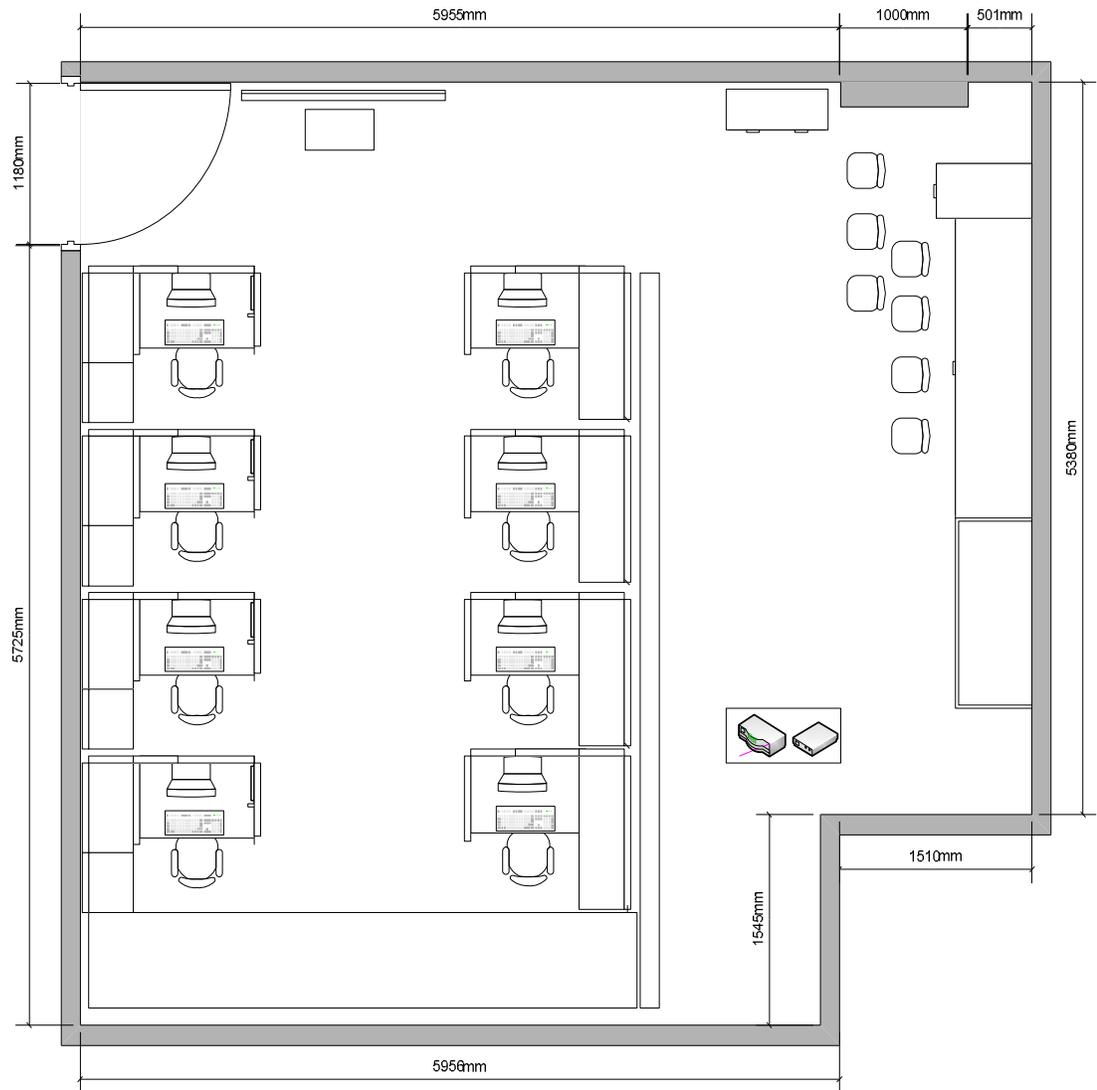


Figura 6.5 CPE ubicación en el Laboratorio de Redes y Seguridad



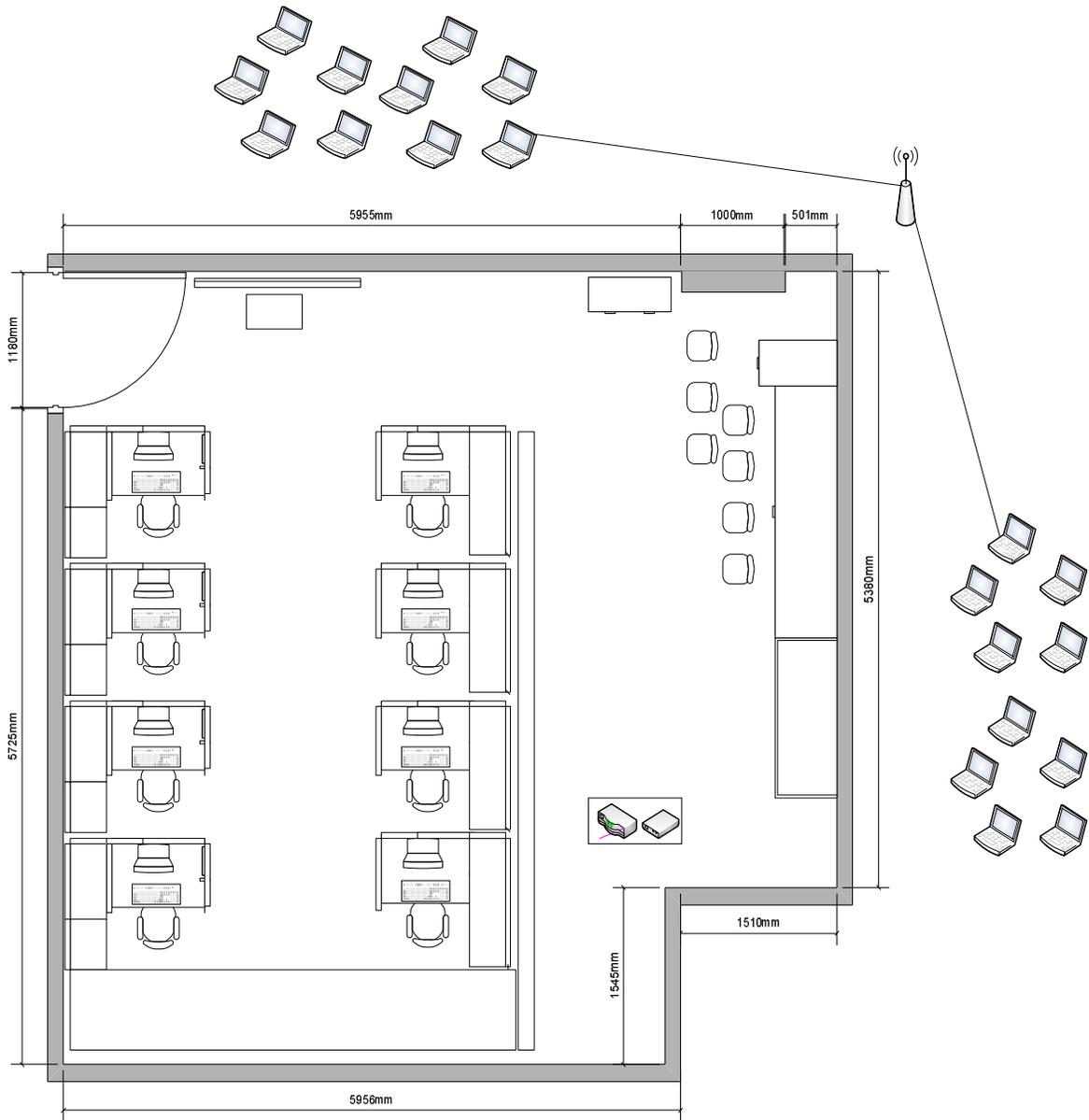


Figura 6.6 Estructura de la red

6.3.4 SEGURIDAD

La seguridad de la red se encuentra respaldada por diversos protocolos que ayudan a dar el nivel de seguridad adecuado para la red inalámbrica WiMAX.

La conectividad universal a través de Internet facilita el acceso a cualquier computadora desde cualquier lugar. La sencillez de acceso a la información técnica de todo tipo, permite ser utilizada para provocar incidentes de seguridad, aprovechando deficiencias o errores en las aplicaciones, sistemas operativos, protocolos de comunicaciones, etcétera; incluso la existencia de herramientas informáticas de libre acceso preparadas para vulnerar sistemas y redes, es ampliamente conocido.

La seguridad informática en entornos inalámbricos añade factores de preocupación adicionales a los usuarios y administradores. El medio de transmisión utilizado es el aire, al cual todo el mundo tiene acceso y, por lo tanto, de una forma sencilla, cualquier persona podría acceder a la información que fluye por el mismo. Además, un ataque puede realizarse de manera remota a enormes distancias con buenas antenas, por lo que no existe una evidencia física clara de un ataque.

En este sentido, un atacante con un equipo correctamente configurado y con posición adecuada puede interceptar una señal, es decir, obstaculizar los mensajes que se están enviando por un canal inalámbrico y reutilizar la trama por lo tanto, hacen falta mecanismos de confidencialidad. Debido a esta vulnerabilidad, también se podrían capturar tramas de lugares autorizados y formar nuevas tramas, modificarlas y retransmitirlas. En este caso el algoritmo de seguridad debe proporcionar un mecanismo de autenticidad de los datos.

Todo mecanismo de protección de información en una red debe estar enmarcado dentro de una política de seguridad adecuada y consistente; el seguimiento de esta política de seguridad evitaría que las medidas de protección se vuelvan un obstáculo para el trabajo habitual con los sistemas de información, garantizando la calidad y confidencialidad de la información presente en los sistemas de la empresa.

Como administradores es importante tener conocimientos de los diversos ataques a los que se puede estar expuesto. Por lo que es de gran importancia

contar con estrategias de seguridad compuestas para que el sistema se vuelva más robusto ante los ataques contra la red y a la vez proporcione la holgura de trabajo que se requiera en el Laboratorio.

Es por ello que se deben implementar mecanismos de seguridad que consideran los dos aspectos clave en las redes inalámbricas: **la privacidad y la autenticación.**

Por un lado, se garantiza la privacidad en las comunicaciones, es decir, se consigue que la información que viaja por el aire vaya cifrada y, por lo tanto, nadie pueda llegar a ver el contenido de una conversación; y por otro, se controla el acceso a la red, es decir, se autoriza o deniega el acceso según la política de seguridad. Ello se consigue a través de mecanismos de autenticación seguros.

La seguridad WiMAX soporta dos estándares de cifrado de calidad, 3DES y AES, que se consideran tecnología de vanguardia.

Los algoritmos simétricos 3DES y AES son utilizados en WiMAX para lograr proveer soluciones eficientes de cifrado de información, proporcionando así la privacidad de la red.

Básicamente, todo el tráfico en la red WiMAX debe ser cifrado empleando el CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) que utiliza AES para transmisiones seguras y autenticación de la integración de datos.

En esta línea se dispone, por un lado, de mecanismos de autenticación EAP (Extensible Authentication Protocol) y por otro, una serie de protocolos de intercambio dinámico de claves de cifrado de la información. EAP utiliza un servidor RADIUS centralizado que implementa los mecanismos de autenticación apropiados. Cada usuario, antes de iniciar una comunicación inalámbrica debe ser autorizado por este servidor. Se utiliza el protocolo 802.1X de las redes locales cableadas. Son varias las posibilidades que se tienen con estos mecanismos EAP:

- EAP-MD5, en donde existe un intercambio de usuario y clave. Está en desuso.

- EAP-TLS, que proporciona mecanismos de autenticación fuerte mediante el uso de infraestructura de clave pública (PKI).
- EAP-TTLS, en donde el intercambio de usuario y clave es seguro.
- EAP-MSCHAPv2, protocolo propietario de Microsoft.
- EAP-FAST, protocolo propietario de Cisco.
- EAP-PEAP, EAP-AKA, EAP-SIM, etcétera.

En relación al suministro de servicios sólo a los usuarios finales específicos, la autenticación, basada en certificados digitales X.509, es incluida en la capa de control de acceso a los medios y da a cada usuario 802.16 receptor su propio certificado incorporado, más otro para el fabricante, permitiendo a la estación base autorizar al usuario final. La privacidad de la conexión es implementada como parte de otro subnivel MAC, la capa de privacidad. Ésta se basa en el protocolo Privacy Key Management (PKM).

Hoy en día se ofrecen otras posibilidades de conexión adicionales que utilizan protocolos muy sofisticados y sencillos para asegurar que accede a la red quien puede acceder y que, una vez que se ha accedido, las comunicaciones se realizan de manera cifrada con las suficientes garantías.

6.3.5 ADMINISTRACIÓN

La administración de la red debe cumplir con tres puntos importantes, que se complementan uno con el otro. La administración de los usuarios, la de los APs y del uso de los recursos.

Para cumplir este fin se tiene el sistema de administración suministrado por el proveedor. Aunque cabe mencionar que el hecho de contar con dispositivos que manejen un sistema de plug and play, lo cual permite conectar los dispositivos y comenzar a trabajar al momento sin la necesidad de una instalación minuciosa, no asegura que la administración de dicho dispositivo con las herramientas propias y por defecto del fabricante sea la mejor forma de administración o la forma más segura. Ya que cada una de las herramientas de administración debe estar adecuada a las necesidades de la red, por lo cual su configuración individual debe ser un factor importante a considerar.

Es por ello que se deben tomar en cuenta la adición de diversas herramientas que ayuden a aprovechar al máximo las características de los dispositivos a utilizar, así como de dispositivos para lograr nuestro fin. Por eso que es preciso conocer todas las herramientas de administración del dispositivo, así como las que se deseen agregar para complementar dicha tarea.

Una ventaja importante en la actualidad es que los equipos WiMAX tienen como herramienta administrativa un sistema de gestión de dispositivos de última generación. Con la que se amplía su solución destinada a satisfacer las necesidades de los equipos inalámbricos, posibilitando la administración de los equipos locales de clientes (CPE) y los dispositivos móviles para los operadores de WiMAX, GSM/UMTS y CDMA. Con este sistema los operadores pueden acelerar la introducción de nuevos servicios y dispositivos.

El sistema permite a los operadores acceder, configurar y solucionar problemas de manera remota del portafolio completo de dispositivos para los usuarios. Ello contribuye a disminuir los gastos operativos.

Este es un sistema escalable a nivel de portador que administra dispositivos, redes de pequeña escala y servicios. Además, este sistema brinda una excelente experiencia de usuario final, mejorando la relación entre el administrador y el su usuario.

Este sistema incluye soporte para los siguientes protocolos de administración de dispositivos:

✘ **OMA DM:** Para gateways y equipos para WiMAX y equipos 3G.

La especificación OMA DM está diseñada para la gestión de dispositivos móviles pequeños como teléfonos móviles, PDAs y Palm Tops. La gestión de dispositivos pretende dar soporte a los siguientes usos típicos:

- **Abastecimiento:** Que se refiere a la configuración del dispositivo (incluyendo el primer uso), habilitando y deshabilitando funciones.
- **Configuración del Dispositivo:** Lo que permite cambios en los ajustes y parámetros del dispositivo.

- **Mejoras de Software:** Provee de nuevo software y/o parches para corrección de errores, para ser cargados en el dispositivo, incluyendo aplicaciones y software de sistema.
- **Gestión de Fallas:** Informa sobre errores en el dispositivo, informa sobre el estado del dispositivo.

La especificación OMA DM soporta todas las funciones anteriores y un dispositivo puede implementar opcionalmente todas o un subconjunto de estas características. Ya que la especificación OMA DM está orientada hacia dispositivos móviles, se ha diseñado para ser sensible ante:

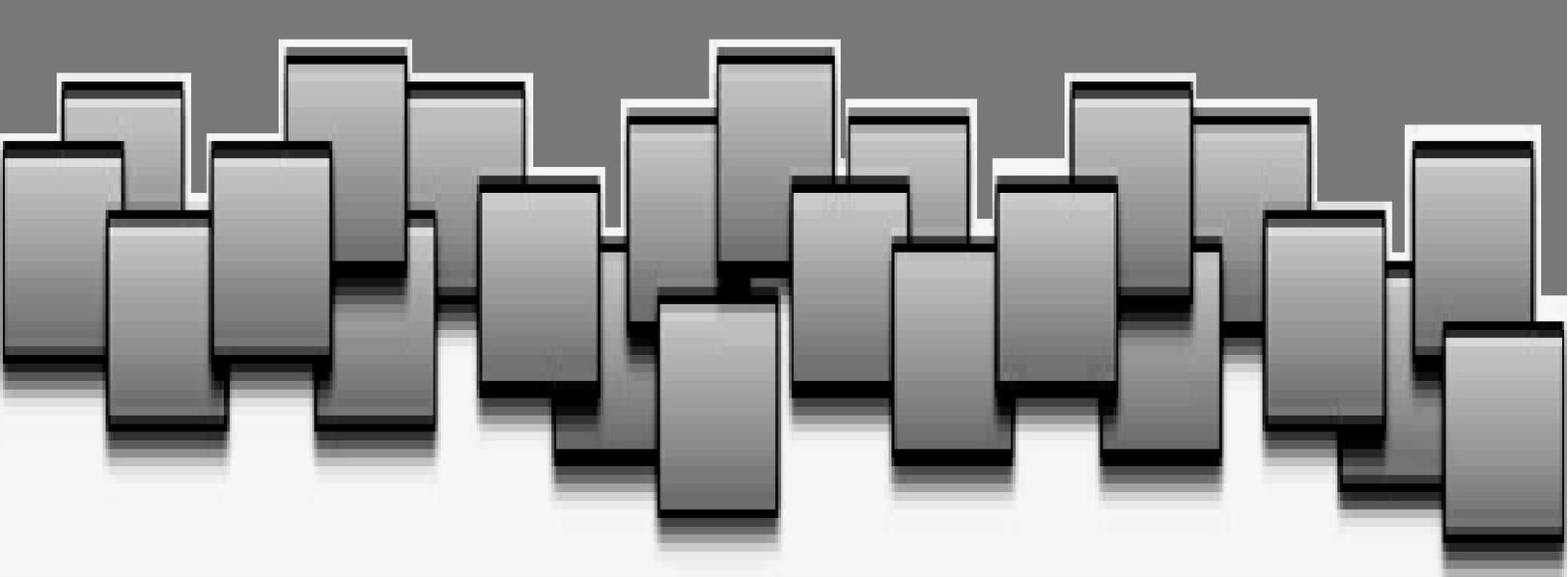
- **Small foot-print devices**, dispositivos en los que la memoria y el almacenamiento puede ser limitado.
 - **Ancho de banda de comunicación limitado**, como en el caso de conectividad inalámbrica
 - **Fuerte seguridad**, ya que los dispositivos son vulnerables a ataques de virus y similares; **Autenticación y Desafíos** (Authentication and Challenges) se incluyen como parte de las especificaciones.
- ✧ **SNMP:** Para el monitoreo de cable módems y decodificadores de cable.
- ✧ **TR-069:** Para gateways DSL, gateways WiMAX, VoIP y video IP.
- ✧ **Telnet:** Para unidades CPE, firewalls, seguridad de redes y dispositivos preexistentes. **TELEcommunication NETwork** es el nombre de un protocolo de red (y del programa informático que implementa el cliente), que sirve para acceder mediante una red a otra máquina, para manejarla como si se estuviera sentado delante de ella. Para que la conexión funcione, como en todos los servicios de Internet, la máquina a la que se acceda debe tener un programa especial que reciba y gestione las conexiones. El puerto que se utiliza generalmente es el 23.

Estas herramientas ayudan en la administración del equipo y de la red. Este sistema es un elemento clave para la administración de dispositivos a través de las tecnologías de acceso, inclusive DSL, WiMAX y cable. Entre algunos de los más recientes servicios de los operadores optimizados por este sistema se incluyen VoIP, WiMAX, IPTV, video a pedido (VOD) y juegos.

El sistema también forma parte del programa general de Aseguramiento del Servicio, lo que mejora la Calidad de Servicio (QoS) en el límite de la red. Éste incluye la solución de soporte eCare, permitiendo que se administren las aplicaciones de software además de los dispositivos.

En concreto y con el equipo que se propuso, el sistema de administración de dispositivos ayuda a brindar soluciones en medios completamente integrados y personalizables para ofrecer soluciones a la medida.





CONCLUSIÓN

El objetivo principal del trabajo es el diseño de una red inalámbrica para el envío de datos bajo el protocolo IEEE 802.16 WiMAX. Por lo que el objetivo se cumplió a partir de una investigación a fondo que proporcionara las bases necesarias para lograr un óptimo diseño cubriendo así las necesidades de los usuarios finales.

Para ello, se siguió una metodología concisa que guiara a través de las necesidades tanto del usuario como de la red, en función de lograr este objetivo se hizo una investigación del lugar, los usuarios y la tecnología con la cual se deseó trabajar.

La investigación del lugar conllevó a identificar los antecedentes del Laboratorio de Redes y Seguridad, las características de las instalaciones con las que se contaba, la identificación de las redes existentes, tomando en cuenta la red LAN ya implementada, el equipo y los servicios existentes en el lugar.

Un aspecto de gran importancia para comenzar el diseño de la red, fue la identificación y análisis de la población objetivo y en función de identificar las necesidades de los usuarios, se identificaron los servicios demandados por éstos, los cuales fueron requerimientos tanto de usuario como de aplicaciones.



Parte de la investigación previa al diseño incluyó la estimación del número de usuarios que se tendría para la red y el dimensionamiento de la red, esto enfocado al uso del ancho de banda, aplicaciones y servicios que se deseaban brindar al hacer uso de la red.

Teniendo la información preliminar, que es de gran importancia en el diseño, se comenzó una investigación de la tecnología bajo la cual la red trabajaría. Con la cual se obtuvo un panorama muy claro de cómo trabaja WiMAX y aún más extenso el marco teórico básico de redes tanto alámbricas como inalámbricas.

Fue indispensable puntualizar en la tecnología WiMAX comenzando por identificar las características del estándar IEEE 802.16, cómo es que éste trabaja, los servicios que brinda y sus diferentes versiones, todo ello con la finalidad de crear un diseño óptimo de la red inalámbrica empleando dicha tecnología.

Al investigar sobre las bandas de frecuencia con y sin licencia, la licitación sobre las mismas y el marco regulatorio que las rige, se logra dar una perspectiva del avance de la tecnología en México y un panorama del desarrollo de ésta en otros países.

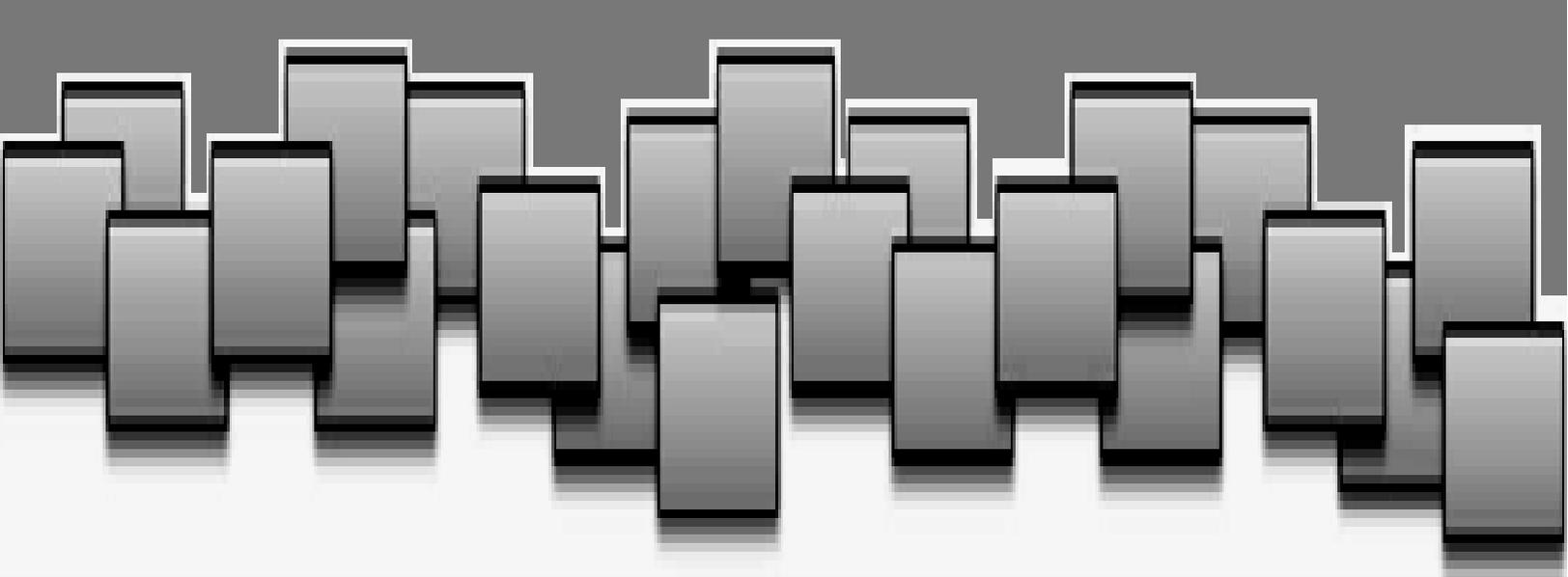
A fin de lograr el diseño de la red, se brindó un vistazo general a las tecnologías utilizadas por los equipos que actualmente se encuentran en el mercado para WiMAX, con lo que se logra entender cómo es que estos aportan conectividad, seguridad y administración de los diferentes servicios brindados.

Teniendo toda la investigación preliminar como respaldo, se logró el diseño formal de la red, iniciando por las bases de diseño de una red inalámbrica para posteriormente puntualizar en el diseño de la red WiMAX para el Laboratorio de Redes y Seguridad, llevando a cabo una investigación minuciosa del equipo existente en el mercado, sus especificaciones técnicas y sus diversos usos, entendiendo la tarea que el equipo llevaría a cabo en el diseño.

Posteriormente entendiendo el papel que cada equipo tiene en la red, se puntualizó en la ubicación de los equipos de red, el área de cobertura que éstos tendrían y conjuntamente lograr la estructura final de la red. Parte importante del diseño es lograr que los servicios brindados tengan la confiabilidad que la red requiere, por lo que la administración y seguridad de la red es parte fundamental del diseño, ya que la solución brindada no sólo requería del posicionamiento de los equipos sino de cómo es que éstos junto con elementos de administración y seguridad logran brindar el servicio de conectividad y lograr el acceso inalámbrico de banda ancha.



Finalmente con la investigación y logrando el diseño de la red inalámbrica se puede brindar el servicio de red a los usuarios, no sólo fijos sino aquellos usuarios que requieran movilidad, en equipos portátiles y demás equipos que no necesariamente estén dentro del Laboratorio quedando, el diseño de la red como base para su futura implementación, con lo que no sólo se logra dar una solución a la conectividad inalámbrica sino ampliar a su vez los conocimientos que se tienen de las redes de acceso inalámbrico de banda ancha con esta tecnología, sirviendo así, este trabajo como base para futuras investigaciones, diseños, desarrollos e implementaciones que conlleven al empleo de redes inalámbricas que utilicen la tecnología WiMAX.



APÉNDICE A

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AAS (ADAPTIVE ANTENNA SYSTEM)

ADS (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, siempre y cuando el alcance no supere los 5.5 km medidos desde la Central Telefónica. Es una tecnología de acceso a Internet de banda ancha, lo que implica capacidad para transmitir más datos, lo que, a su vez, se traduce en mayor velocidad. Esto se consigue mediante la utilización de una banda de frecuencias más alta que la utilizada en las conversaciones telefónicas convencionales (300-3.400 Hz) por lo que, para disponer de ADSL, es necesaria la instalación de un filtro (llamado *splitter* o discriminador) que se encarga de separar la señal telefónica convencional de la que será usada para la conexión mediante ADSL. Esta tecnología se denomina *asimétrica* debido a que la velocidad de descarga (desde la Red hasta el usuario) y de subida de datos (en sentido inverso) no coinciden. Normalmente, la velocidad de descarga es mayor que la de subida. En una línea ADSL se establecen tres canales de comunicación, que son el de envío de datos, el de recepción de datos y el de servicio telefónico normal.

AES (ADVANCED ENCRYPTION STANDARD / ESTÁNDAR DE CODIFICACIÓN AVANZADA)

AP (ACCESS POINTS O PUNTOS DE ACCESO): Son dispositivos que interconectan dispositivos de comunicación inalámbrica para formar una red inalámbrica, también puede conectarse a una red cableada, y puede transmitir datos entre los dispositivos conectados a la red cable y los dispositivos inalámbricos, a su vez pueden conectarse entre sí para formar una red aún mayor, permitiendo realizar "roaming" (movimiento de una zona de cobertura a otra). Los puntos de acceso inalámbricos tienen direcciones IP asignadas, para poder ser configurados.

ASCII (AMERICAN STANDARD CODE FOR INFORMATION INTERCHANGE O CÓDIGO ESTADOUNIDENSE ESTÁNDAR PARA EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN): Un código de caracteres basado en el alfabeto latino, utiliza 7 bits para representar los caracteres, aunque inicialmente empleaba un bit adicional (bit de paridad) que se usaba para detectar errores en la transmisión. En la actualidad define códigos para 33 caracteres no imprimibles, de los cuales la mayoría son caracteres de control obsoletos que tienen efecto sobre cómo se procesa el texto, más otros 95 caracteres imprimibles que les siguen en la numeración (empezando por el carácter espacio). Casi todos los sistemas informáticos actuales utilizan el código ASCII o una extensión compatible para representar textos y para el control de dispositivos que manejan texto.

BACKBONE: Se refiere a las principales conexiones troncales de Internet, asimismo se refiere al cableado troncal o subsistema vertical en una instalación de red de área local que sigue la normativa de cableado estructurado.

BACKHAUL: 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 (BROADBAND): Se conoce como banda ancha 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. Esta tecnología de módems permite que el tráfico de datos se realice a una velocidad extraordinaria a través de una línea

telefónica convencional. Además se puede mantener una conversación por teléfono mientras se está navegando por Internet.

BIT RATE: El término bit rate 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. La unidad con la que el SI (Sistema Internacional) expresa el bit rate es el bit por segundo (bit/s, b/s, bps). La b debe escribirse siempre en minúscula, para impedir la confusión con el término byte por segundo (B/s). Para convertir de bytes/s a bits/s, basta simplemente multiplicar por 8 y viceversa.

BLUETOOTH: Es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal, WPAN, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre, en la frecuencia de 2.4 GHz. Los dispositivos que con mayor intensidad utilizan esta tecnología son los de los sectores de las telecomunicaciones y los equipos personales, como PDAs, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras y cámaras digitales.

BPSK (BINARY PHASE SHIFT KEYING O MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE BINARIA): En esta modulación se tiene como resultado dos posibles fases de salida para la portadora con una sola frecuencia. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase.

BROADCAST: Es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo.

CPE (CUSTOMER PREMISES EQUIPMENT/ EQUIPO LOCAL DEL CLIENTE)

CONECTIVIDAD: Conectividad es la capacidad de un dispositivo de poder ser conectado sin la necesidad de un ordenador, es decir, en forma autónoma. Se dice que existe conectividad entre un par de nodos si el nodo destino pueden recibir correctamente datos del nodo fuente especificando la mínima velocidad de transmisión de datos.

CONMUTADORES: Es un dispositivo electrónico de interconexión de redes de ordenadores que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI. Un conmutador interconecta dos o más segmentos de red, funcionando de manera

similar a los puentes, pasando datos de un segmento a otro, de acuerdo con la dirección MAC de destino de los datagramas en la red. Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola. Al igual que los puentes, dado que funcionan como un *filtro* en la red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las LANs.

DES (DATA ENCRYPTION STANDARD/ ESTÁNDAR DE ENCRIPADO DE DATOS)

DHCP (DYNAMIC HOST CONFIGURATION PROTOCOL O PROTOCOLO DE CONFIGURACIÓN DINÁMICA DE CLIENTE): Es un protocolo de red que permite a los nodos de una red IP obtener sus parámetros de configuración automáticamente. Se trata de un protocolo de tipo cliente/servidor en el que generalmente un servidor posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes conforme éstas van estando libres, sabiendo en todo momento quién ha estado en posesión de esa IP, cuánto tiempo la ha tenido y a quién se le asignó después.

DMZ (DEMILITARIZED ZONE / ZONA DESMILITARIZADA)

EAP (EXTENSIBLE AUTHENTICATION PROTOCOL/ PROTOCOLO DE AUTENTICACIÓN EXTENSIBLE)

EBCDIC (EXTENDED BINARY CODED DECIMAL INTERCHANGE CODE O CÓDIGO EXTENDIDO BINARIO DE INTERCAMBIO DECIMAL): Es un código estándar de 8 bits usado por computadoras mainframe IBM que representa caracteres alfanuméricos, controles y signos de puntuación. Cada carácter está compuesto por 8 bits (1 byte), por eso EBCDIC define un total de 256 caracteres.

ETHERNET: Es el nombre de una tecnología de LANs basada en tramas de datos. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, aunque actualmente se llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen este formato de trama de Ethernet (Ver tabla A.1), aunque no tenga CSMA/CD como método de acceso al medio.

Tabla A.1 Trama de Ethernet

PREÁMBULO	SOF	DESTINO	ORIGEN	TIPO	DATOS	FCS
7 bytes	1 byte	6 bytes	6bytes	2 bytes	46 a 1500 bytes	4 bytes

ESPECTRO ENSANCHADO: Es una técnica por la cual la señal transmitida se ensancha a lo largo de una banda muy ancha de frecuencias, mucho más amplia, de hecho, que el ancho de banda mínimo requerido para transmitir la información que se quiere enviar. No se puede decir que las comunicaciones mediante espectro ensanchado son medios eficientes de utilización del ancho de banda. Sin embargo, rinden al máximo cuando se les combina con sistemas existentes que hacen uso de la frecuencia. La señal de espectro ensanchado, una vez ensanchada puede coexistir con señales en banda estrecha, ya que sólo les aportan un pequeño incremento en el ruido. En lo que se refiere al receptor de espectro ensanchado, él no ve las señales de banda estrecha, ya que está escuchando un ancho de banda mucho más amplio gracias a una secuencia de código preestablecido.

FDD(FREQUENCY DIVISIÓN DUPLEXING O DUPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA): Un método de transmisión que separa a la transmisión y recepción de canales de una frecuencia determinada, las cuales están separadas con una frecuencia de guarda de la banda, que actúa como una protección.

FIPS PUB (FEDERAL INFORMATION PROCESSING STANDARDS PUBLICATIONS / PUBLICACIONES DE ESTÁNDARES DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN FEDERAL)

FIREWALL: Es un elemento de hardware o software utilizado en una red de computadoras para controlar las comunicaciones, permitiéndolas o prohibiéndolas según las políticas de red que haya definido la organización responsable de la red. Su modo de funcionar es indicado por la recomendación RFC (Request For Comments) 2979, que define las características de comportamiento y requerimientos de interoperabilidad. La ubicación habitual de un cortafuegos es el punto de conexión de la red interna de la organización con la red exterior, que normalmente es Internet; de este modo se protege la red interna de intentos de acceso no autorizados desde Internet, que puedan aprovechar vulnerabilidades de los sistemas de la red interna. Un firewall correctamente configurado añade protección a una instalación informática, pero en ningún caso debe considerarse como suficiente. La Seguridad informática abarca más ámbitos y más niveles de trabajo y protección.

FTP (FILE TRANSFER PROTOCOL O PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS): Es un protocolo de transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP basado en la arquitectura cliente/servidor, de manera que desde un equipo cliente es posible conectarse a un servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos independientemente del sistema operativo utilizado en cada

equipo. El Servicio FTP lo ofrece la capa de Aplicación del modelo de capas de red TCP/IP al usuario, utilizando normalmente el puerto de red 20 y el 21. Un problema básico de FTP es que está pensado para ofrecer la máxima velocidad en la conexión, pero no la máxima seguridad, ya que todo el intercambio de información, desde el usuario y contraseña del usuario en el servidor hasta la transferencia de cualquier archivo, se realiza en texto plano sin ningún tipo de cifrado, con lo que un posible fácilmente puede capturar este tráfico, acceder al servidor, o apropiarse de los archivos transferidos.

GBPS: GIGA BITS POR SEGUNDO es una unidad que se usa para cuantificar un flujo de datos y es un múltiplo del bit por segundo y se suele notar por la abreviatura gbps, de esta forma 1 gbps equivale a 1,073,741,824 bits por segundo.

HOST: Es una computadora o dispositivo que funciona como el punto de inicio y final de las transferencias de datos. Se le llama así a una máquina conectada a una red de computadoras y que tiene un nombre de equipo (*hostname*) puede ser una computadora, un servidor de archivos, un dispositivo de almacenamiento por red, una máquina de fax, impresora, etcétera. Este nombre ayuda al administrador de la red a identificar las máquinas sin tener que memorizar una dirección IP para cada una de ellas.

HTTP (HYPERTEXT TRANSFER PROTOCOL/ PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE HIPERTEXTO)

EAP-TLS (EAP-TRANSPORT LEVEL SECURITY / EAP- SEGURIDAD DEL NIVEL DE TRANSPORTE) se utiliza en entornos de seguridad basados en certificados. Si está utilizando tarjetas inteligentes para la autenticación de acceso remoto, debe utilizar el método de autenticación EAP-TLS. El intercambio de mensajes EAP-TLS permite la autenticación y negociación mutua del método de cifrado y el intercambio seguro de claves cifradas entre el cliente de acceso remoto y el autenticador. EAP-TLS proporciona el método de intercambio de claves y autenticación más eficaz. EAP-TLS sólo se admite en servidores de acceso remoto que ejecutan Windows 2000 y que son miembros de un dominio en modo mixto o modo nativo de Windows 2000. Los servidores de acceso remoto que ejecutan Windows 2000 de forma independiente no admiten EAP-TLS.

EAP-TTLS (EAP- TUNELED TLS / EAP- TLS DE TUNEL)

IEEE (THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS O INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS): Es una asociación técnico-profesional mundial dedicada

a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación e ingenieros en telecomunicación.

IEEE 802.16af Es el estándar de Power Over the Ethernet, PoE permite la entrega de energía DC sobre el mismo cable de cobre de Ethernet, esto permite la posibilidad de integrar nuevos dispositivos de energía adjuntos a la red a su infraestructura LAN existente, evitando así el tendido de cable de energía o el uso de fuentes de alimentación para alimentar los dispositivos.

INTERFERENCIA: Es cualquier proceso que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor.

INTERNET: Conjunto de redes descentralizadas implementadas en un conjunto de protocolos denominado TCP/IP y garantiza que redes físicas heterogéneas funcionen como una red lógica única, de alcance mundial. Al contrario de lo que se piensa comúnmente, Internet no es sinónimo de World Wide Web. Éste es un servicio de Internet, siendo uno de los muchos que se frecen en la red Internet. Otros de los muchos servicios disponibles en Internet, aparte de la Web, son el acceso remoto a otras máquinas (SSH y telnet), la transferencia de archivos (FTP), el correo electrónico (SMTP y POP), los boletines electrónicos (newsletters o grupos de noticias), las conversaciones en línea (IRC y chats), la mensajería instantánea y la transmisión de archivos (P2P, P2M, Descarga Directa).

INTEROPERABLES: Es la condición mediante la cual sistemas heterogéneos pueden intercambiar procesos o datos.

INTRANET: Es una red de computadoras dentro de una LAN privada, empresarial o educativa que proporciona herramientas de Internet. Tiene como función principal proveer lógica de negocios para aplicaciones de captura, informes y consultas con el fin de facilitar la producción de dichos grupos de trabajo; es también un importante medio de difusión de información interna a nivel de grupo de trabajo. Las redes internas corporativas son potentes herramientas que permiten divulgar información de la compañía a los empleados con efectividad, consiguiendo que éstos estén permanentemente informados con las últimas novedades y datos de la organización. Tienen gran valor como repositorio documental, convirtiéndose en un factor determinante para conseguir el objetivo de la oficina sin papeles. Añadiéndoles funcionalidades como un buen buscador y

una organización adecuada, se puede conseguir una consulta rápida y eficaz por parte de los empleados de un volumen importante de documentación.

IPSEC (INTERNET PROTOCOL SECURITY)**IPV4 (INTERNET PROTOCOL VERSIÓN 4)**

LÍNEA DE TRANSMISIÓN: Es una estructura material utilizada para dirigir la transmisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, comprendiendo el todo o una parte de la distancia entre dos lugares que se comunican.

LLC (LOGICAL LINK CONTROL O CONTROL DE ENLACE LÓGICO): Es la más alta de las dos subcapas de enlace de datos definidas por el IEEE y la responsable del control de enlace lógico. La subcapa LLC maneja el control de errores, control del flujo, entramado y direccionamiento de la subcapa MAC. El protocolo LLC más generalizado es IEEE 802.3, que incluye variantes no orientadas a la conexión y orientadas a la conexión.

LOS (LINE OF SIGHT O LÍNEA DE VISTA): Se dice o aplica el término para un enlace de radio que debe tener visibilidad directa entre antenas, por lo que no debe haber obstáculo entre ambas.

MBPS: MEGA BITS POR SEGUNDO es una unidad que se usa para cuantificar un flujo de datos equivalente a 1000 kilobits por segundo o 1000000 bits por segundo. No es apropiado referirse a esta magnitud como a una de velocidad, ya que la velocidad a la que se propagan los datos nada tiene que ver con el flujo que se transmite por un medio determinado. Generalmente se le llama "mega", pero no debe confundirse con la unidad de almacenamiento que también suele llamársele "mega" y equivale a 1024 kilobytes.

MIMO (MULTIPLE-INPUT / MULTIPLE-OUTPUT)**NAT (NETWORK ADDRESS TRANSLATION / TRADUCCIÓN DE DIRECCIONES DE RED)**

NIC (NETWORK INTERFACE CARD O TARJETA DE INTERFAZ DE RED): Una tarjeta de red, también llamada adaptador de red que permite la comunicación entre los diferentes aparatos conectados entre sí y también permite compartir recursos entre dos o más equipos. Hay diversos tipos de adaptadores en función del tipo de cableado o arquitectura que se utilice en la red, pero actualmente el más común es del tipo Ethernet utilizando un interfaz o conector RJ-45.

NLOS (NO LINE OF SIGHT O SIN LÍNEA DE VISTA): Las tecnologías de radiofrecuencia utilizan el término NLOS para describir un trayecto parcialmente obstruido entre la ubicación del transmisor de la señal y la ubicación del receptor de la señal. Los obstáculos que pueden impedir la línea de vista incluyen árboles, edificios, montañas y otras estructuras y ~~u~~ objetos construidos por el hombre u obra de la naturaleza.

NODO: Un nodo es todo dispositivo capaz de enviar y recibir datos en una red. Los puntos de acceso, enrutadores, computadoras y laptops son todos ejemplos de nodos.

OSI (OPEN SYSTEM INTERCONNECTION O MODELO DE REFERENCIA DE INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS ABIERTOS): Es un lineamiento funcional para tareas de comunicaciones y, por consiguiente, no especifica un estándar de comunicación para dichas tareas. OSI nace de la necesidad de homogeneizar los elementos que participan en la solución del problema de comunicación entre equipos de cómputo de diferentes fabricantes.

PAQUETE DE DATOS: Es una unidad fundamental de transporte de información en todas las redes de computadoras modernas. El término datagrama es usado a veces como sinónimo. Un paquete está generalmente compuesto de tres elementos: una *cabecera (header)* que contiene generalmente la información necesaria para trasladar el paquete desde el emisor hasta el receptor, el *área de datos (payload)* que contiene los datos que se desean trasladar, y la *cola (trailer)*, que comúnmente incluye código de detección de errores.

PCMCIA (PERSONAL COMPUTER MEMORY CARD INTERNATIONAL ASSOCIATION)

PKI (PUBLIC KEY INFRASTRUCTURE / INFRAESTRUCTURA DE CLAVE PÚBLICA)

PLCP (PHYSICAL LAYER CONVERGENCE PROCEDURE O PROCEDIMIENTO DE CONVERGENCIA DE CAPA FÍSICA): Es la encargada de mantener unidas las tramas de la MAC (Medium Access Control/Control de Acceso al Medio) y las transmisiones de radio en el aire.

PMD (PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT O DEPENDIENTE DEL MEDIO FÍSICO): La responsable de transmitir los bits que recibe de la subcapa PLCP.

PoE (POWER OVER ETHERNET / PODER SOBRE ETHERNET)

POP (POST OFFICE PROTOCOL O PROTOCOLO DE OFICINA DE CORREOS): Al contrario de otros protocolos creados con anterioridad como el SMTP el POP no necesita una conexión permanente a Internet, puesto que es en el momento de la conexión cuando solicita al servidor el envío de la correspondencia almacenada en el servidor para dicho usuario. La situación actual es que se utiliza el protocolo SMTP para el envío de correo y para la recepción de correo se utiliza el protocolo POP, pero ya en su tercera versión desde su aparición, el POP3.

PPP (POINT TO POINT PROTOCOL)

PPTP (PROTOCOLO DE TÚNEL PUNTO A PUNTO)

QAM (QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION O MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA): Es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras. Estas dos ondas, generalmente sinusoidales, están desfasadas entre sí 90° en la cual una onda es la portadora y la otra es la señal de datos. Se utiliza para la transmisión de datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido.

QOS (QUALITY OF SERVICE O CALIDAD DE SERVICIO): Son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado (*throughput*). Calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio.

QPSK (DIFFERENTIAL QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING / MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE EN CUADRATURA DIFERENCIA): Es un método de modulación utilizado para las emisiones digitales por satélite. La información está en la fase de la señal modulada, en cuatro estados.

RADIUS (REMOTE AUTHENTICATION DIAL-IN USER SERVER / SERVICIO DE USUARIO DE ACCESO TELEFÓNICO DE AUTENTICACIÓN REMOTA)

RFC (REQUEST FOR COMMENTS / PETICIÓN DE COMENTARIOS): Son una serie de notas sobre Internet. Cada una de ellas individualmente es un documento cuyo contenido es una propuesta oficial para un nuevo protocolo de la red Internet (originalmente de ARPANET), que se explica con todo detalle para que en caso de ser aceptado pueda ser implementado sin ambigüedades.

ROAMING: Es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra. *Roaming* es una palabra del idioma inglés que significa *vagar* o

rondar. El concepto de *roaming*, cuando es utilizado en las redes Wi-Fi, significa que el dispositivo Wi-Fi cliente puede desplazarse e ir registrándose en diferentes puntos de acceso. En telefonía móvil es la capacidad de hacer y recibir llamadas en redes móviles fuera del área de servicio local de su compañía, es decir, dentro de la zona de servicio de otra empresa del mismo país, o bien durante una estancia en otro país diferente, con la red de una empresa extranjera.

SMTP (SIMPLE MAIL TRANSFER PROTOCOL O PROTOCOLO SIMPLE DE TRANSFERENCIA DE CORREO): Es un protocolo de red basado en texto utilizado para el intercambio de mensajes de correo electrónico entre computadoras o distintos dispositivos. Está definido en el RFC (Request For Comments) 2821 y es un estándar oficial de Internet.

S-OFDMA (SCALABLE ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING ACCESS /ACCESO POR MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL ESCALABLE)

SSH (SECURE SHELL)

SUBRED: Una subred es un rango de direcciones lógicas, la cual ayuda a reducir el tamaño de los dominios de broadcast, hacer la red más manejable, administrativamente y entre otros, se puede controlar el tráfico entre diferentes subredes.

TCP/IP (TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL-INTERNET PROTOCOLO /PROTOCOLO DE CONTROL DE TRANSMISIÓN-PROTOCOLO DE INTERNET)

TDD (TIME DIVISION DUPLEXING O DUPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO): Un método de transmisión que utiliza un solo canal para la transmisión y recepción, la separación de ellos por diferentes ranuras de tiempo. No se utiliza la banda de guarda.

TDMA (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS O ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO): Es una técnica de multiplexión que distribuye las unidades de información en ranuras alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias. Esta técnica de multiplexión se emplea en infinidad de protocolos, sola o en combinación de otras.

TFTP (TRIVIAL FILE TRANSFER PROTOCOL O PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS TRIVIAL): Es un protocolo de transferencia muy simple semejante a una versión básica de FTP. TFTP a menudo se utiliza para transferir pequeños archivos entre

computadoras en una red, como cuando una terminal X Window o cualquier otro cliente ligero arrancan desde un servidor de red.

TOPOLOGÍA: La topología en una red es la configuración adoptada por las estaciones de trabajo para conectarse entre sí, además de definir la forma de tender el cable a estaciones de trabajo individuales; por muros, suelos y techos del edificio. Existe un número de factores a considerar para determinar cuál topología es la más apropiada para una situación dada.

TRANSCIVER: Es un transmisor/receptor de señales de radio frecuencia, sirve para conectar aparatos por vía inalámbrica.

TRONCAL: Se le conoce troncal al enlace entre dos routers o switches, y se dice que se unen por un cable troncal, que es un cable de red cruzado, y la comunicación entre estos dos dispositivos es mucho más rápida que la comunicación con una PC cualquiera.

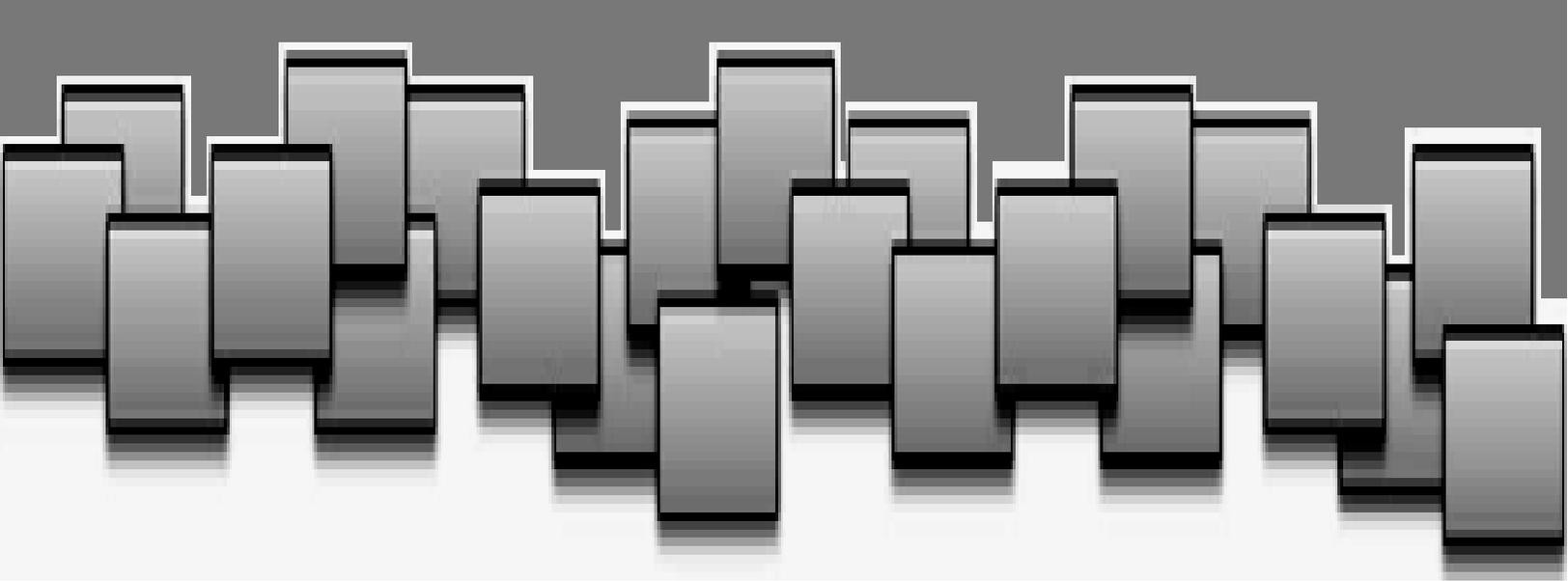
UDP (USER DATAGRAM PROTOCOL/ PROTOCOLO DE DATAGRAMA DE USUARIO)

UNICODE: Es un estándar que regula la codificación de caracteres, las propiedades y los algoritmos que se utilizan en su aplicación. Éste proporciona un número único para cada carácter, sin importar la plataforma, ni el programa, ni el idioma, permitiendo un fácil traspaso entre distintos sistemas de codificación y plataformas.

VOIP (VOICE OVER IP / VOZ SOBRE IP)

VPN (VIRTUAL PRIVATE NETWORK / RED PRIVADA VIRTUAL)

WI-FI (WIRELESS FIDELITY): Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Fue creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, sin embargo es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.



APÉNDICE B

MEDIOS DE TRANSMISIÓN

FIBRA ÓPTICA

Existen dos formas de transmitir sobre una fibra (Figura B.1), éstas son conocidas como:

- a) Transmisión en **monomodo**. En el modo simple o monomodo, se transmite un haz de luz por cada fibra. Dada las características de transmisión de las fibras monomodo, es posible la propagación del haz de luz a decenas de kilómetros. Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño que sólo permite un modo de propagación. Este tipo de fibra es comúnmente utilizada para enlaces de larga distancia, por ejemplo la interconexión de centrales telefónicas.
- b) Transmisión en **multimodo**. En la transmisión multimodo más de un haz de luz puede ser transmitido. Se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km. Su distancia máxima es de 2 Km y usa cañón láser de baja intensidad. Es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión. Se utiliza para interconectar redes de área local entre edificios, campus, entre otros. Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

☒ **Salto de índice:** en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica.

☒ **Índice gradual:** en este tipo, el índice de refracción no es constante.

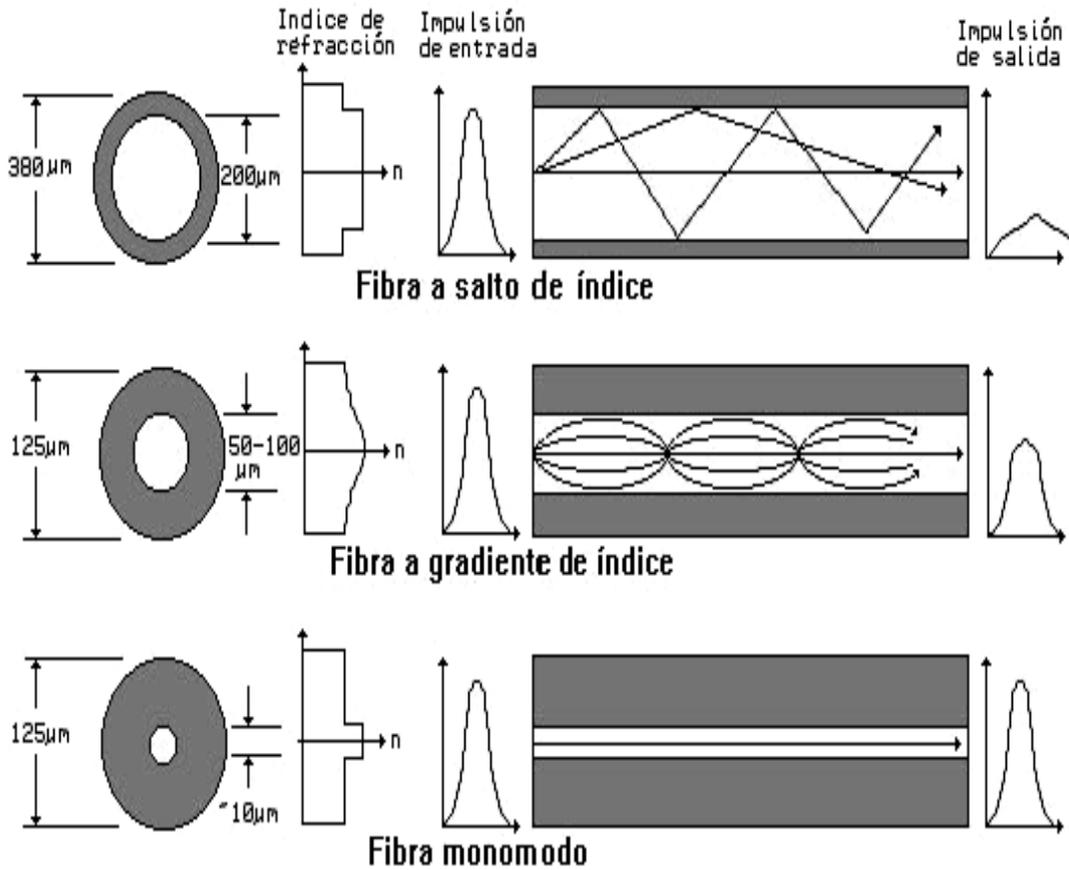


Figura B.1 Fibra óptica

La tecnología de la fibra óptica ha avanzado muy rápidamente y en la actualidad es posible incrementar la capacidad de una fibra y aumentar la distancia de propagación. Algunas de las ventajas y desventajas de la fibra óptica se enlistan a continuación:

Ventajas:

- Su ancho de banda es muy grande, hay sistemas de multiplexión que permiten enviar 32 haces de luz a una velocidad de 10 Gbps cada uno por una misma fibra, dando lugar a una velocidad total de 320 Gbps.



- Su atenuación es muy baja.
- Es inmune al ruido electromagnético.
- La materia prima con la que se fabrica es abundante.
- Es ligera en comparación con el cableado eléctrico tradicional.

Desventajas:

- La fragilidad de las fibras.
- Necesidad de usar transmisores y receptores más caros.
- Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de rotura del cable.
- No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios.
- La necesidad de efectuar, en muchos casos, procesos de conversión eléctrica-óptica.
- La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas.
- No existen memorias ópticas.

SATÉLITE

Debido a que la señal tarda un pequeño intervalo de tiempo desde que sale del emisor en la Tierra hasta que es devuelta al receptor o receptores, debe tenerse cuidado con el control de errores y el control de flujo de la señal.

Las diferencias entre las ondas de radio y las microondas son:

- Las microondas son unidireccionales y las ondas de radio omnidireccionales.
- Las microondas son más sensibles a la atenuación producida por la lluvia.
- En las ondas de radio, al poder reflejarse estas ondas en el mar u otros objetos, pueden aparecer múltiples señales "hermanas".

Algunos de los beneficios de la comunicación por satélite desde el punto de vista de comunicaciones son los siguientes:

- Transferencia de información a altas velocidades (Kbps, Mbps).
- Ideal para comunicaciones en puntos distantes y no fácilmente accesibles geográficamente.
- Ideal en servicios de acceso múltiple a un gran número de puntos.



- Permite establecer la comunicación entre dos usuarios distantes con la posibilidad de evitar las redes públicas telefónicas.

Entre las desventajas de la comunicación por satélite están las siguientes:

- 1/4 de segundo de tiempo de propagación (retardo).
- Sensible a efectos atmosféricos.
- Sensibles a eclipses.
- Falla del satélite (no es muy común).
- Requieren transmitir a mucha potencia.
- Posibilidad de interrupción por cuestiones de estrategia militar.

A pesar de las anteriores limitaciones, la transmisión por satélite sigue siendo muy popular. (Figura B.2)

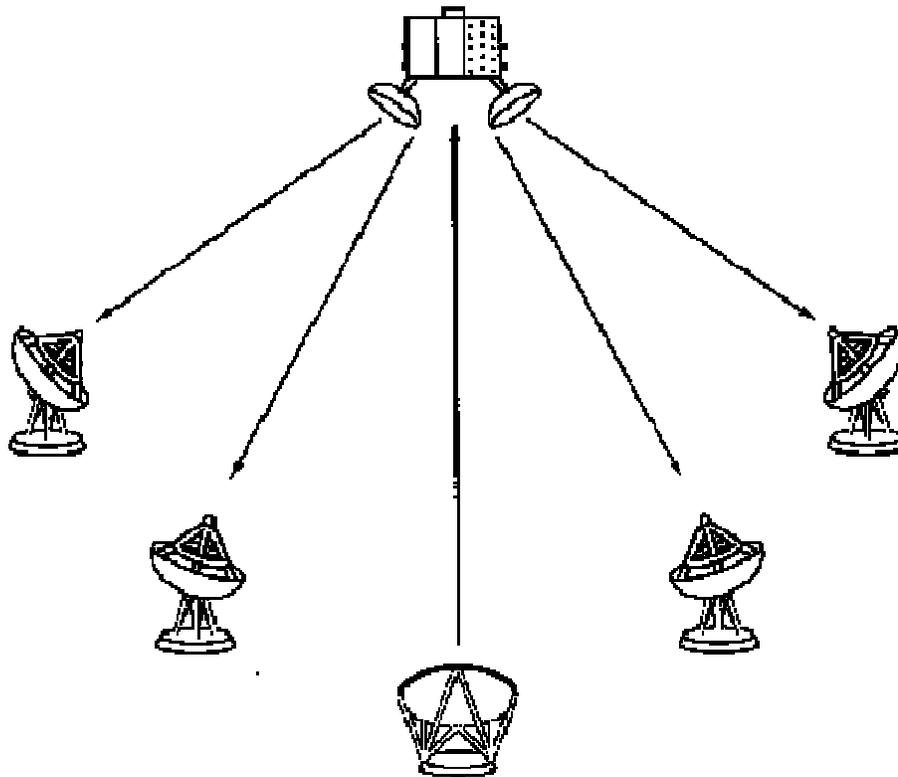
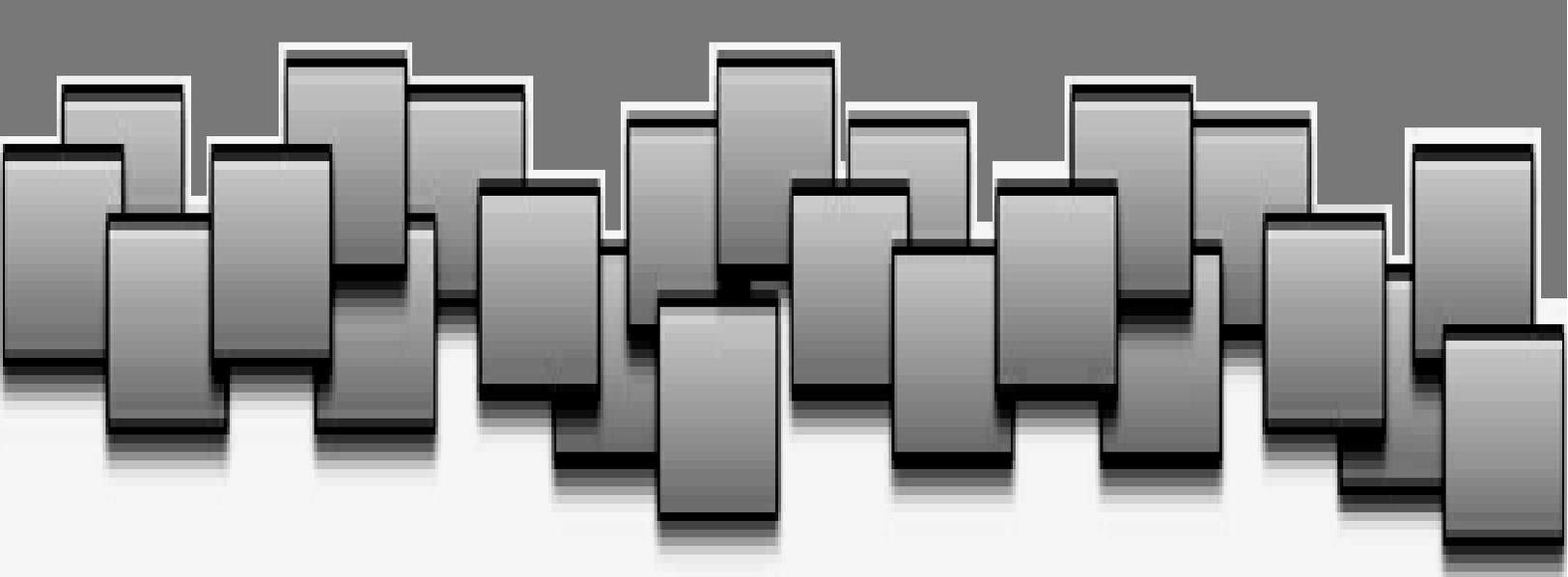


Figura B.2 Transmisión Satelital



APÉNDICE C

ELEMENTOS DE UNA RED

MÓDEM

El módem funciona de la siguiente manera; el modulador emite una señal analógica denominada portadora la cual es una simple señal sinusoidal. Los bits de información digital modifican alguna característica de la portadora, de manera que el receptor sabe si se está transmitiendo un "cero" o un "uno". Las características que se pueden modificar de la señal portadora son:

- ☒ Amplitud, dando lugar a una modulación de amplitud.
- ☒ Frecuencia, dando lugar a una modulación de frecuencia.
- ☒ Fase, dando lugar a una modulación de fase.

El demodulador interpreta los cambios en la señal portadora para reconstruir el flujo de bits enviados. Los tipos de módems entre los cuales se hace una distinción principal entre módems internos y módems externos, aunque, recientemente, han aparecido unos módems llamados "módems software", más conocidos como "winmódems" o "linuxmódems".

A continuación se muestran sus características:



✘ **Internos:** consisten en una tarjeta de expansión sobre la cual están dispuestos los diferentes componentes que forman el módem. Existen para diversos tipos de conector: (Figura C.1)

- **Bus ISA:** debido a las bajas velocidades que se manejan en estos aparatos, durante muchos años se utilizó en exclusiva este conector, hoy en día en desuso.
- **PCI:** el formato más común en la actualidad.
- **AMR:** sólo en algunas placas muy modernas; baratos pero poco recomendables por su bajo rendimiento.

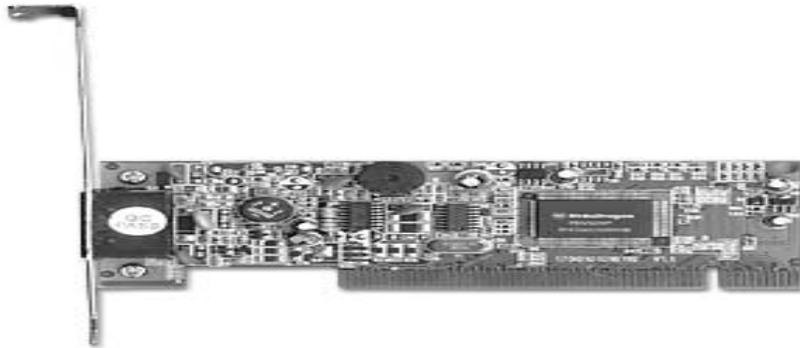


Figura C.1 Módem interno

Entre las principales ventajas podemos señalar las siguientes:

- Estos módems tienen una mayor integración con la computadora, ya que no ocupan espacio sobre la mesa y reciben energía eléctrica directamente del propio ordenador.
- Generalmente son más baratos debido a que carecen de carcasa y transformador, especialmente si son PCI (en este caso, son casi todos del tipo "módem software").

La única desventaja es que son algo más complejos de instalar y la información sobre su estado sólo puede obtenerse vía software.



- ✠ **Externos:** similares a los anteriores, pero externos a la computadora. La ventaja de estos módems reside en su fácil transportabilidad entre computadoras diferentes, algunos de ellos más fácilmente transportables y pequeños que otros, además de que se puede saber el estado del módem mediante los LED's de estado que incorporan. Por el contrario, y obviamente, ocupan más espacio que los internos. (Figura C.2)



Figura C.2 Módem Externo

Lo primero que hay que dejar claro es que los módems se utilizan con líneas analógicas, ya que su propio nombre indica su principal función, que es la de modular-demodular la señal digital proveniente de la computadora y convertirla a una forma de onda que sea asimilable por dicho tipo de líneas.

Uno de los primeros parámetros que lo definen es su velocidad. El estándar más habitual y el más moderno está basado en la actual norma V.90 cuya velocidad máxima está en los 56 Kbps (kilobits por segundo). Esta norma se caracteriza por un funcionamiento asimétrico, puesto que la mayor velocidad sólo es alcanzable al recibir, ya que en el envío de datos está limitada a 33,6 Kbps.

Otra consideración importante es que para poder llegar a esta velocidad máxima se deben dar una serie de circunstancias que no siempre están presentes y que dependen totalmente de la compañía telefónica que presta sus servicios, pudiendo ser en algunos casos bastante inferiores. Evidentemente, el módem que se encuentre al otro lado de la línea telefónica debe ser capaz de trabajar a la misma velocidad y con la misma norma que cualquier módem, ya que la velocidad que se establecerá será la máxima que aquél soporte. Otras normas habitualmente utilizadas se encuentran descritas en la tabla C.1:

Tabla C.1 Normas de módem

NORMA	VELOCIDAD MÁXIMA	OTRAS VELOCIDADES
V.90 y X2*	56.000 bps	57.333, 54.666, 53.333, 52.000, 50.666, 49.333, 48.000, 46.666, 45.333, 44.000, 42.666, 41.333, 40.000, 38.666, 37.333, 36.000, 34.666 bps
V.34+	33.600 bps	31.200 bps
V.34	28.800 bps	26.400, 24.000, 21.600, 19.200, 16.800 bps
V.32bis	14.400 bps	12.000 bps
V.32	9.600 bps	7.200 bps
V.23	4.800 bps	
V.22bis	2.400 bps	
V.22 y Bell 212a	1.200 bps	
V.21 y Bell 103	300 bps	

* Protocolo propietario de 3Com, es decir, no estándar.

Otra funcionalidad ya considerada como obligatoria en cualquier módem es el soporte de funciones de FAX. Los estándares son los siguientes, mostrados en la tabla C.2:

Tabla C.2 Normas para Fax

NORMA	VELOCIDAD MÁXIMA	OTRAS VELOCIDADES
V.17	14.400 bps	12.000 bps
V.29	9.600 bps	7.200 bps
V.27ter	4.800 bps	2.400 bps
V.21	300 bps	

Otros estándares considerados como imprescindibles son los de control de errores y compresión de datos. Los más habituales: V.42, V.42bis y MNP 2-5.

Con una memoria de tipo flash permite la actualización del firmware al igual que ocurre con las BIOS de las placas base.

Este detalle ha sido extremadamente importante en los módem que utilizaban los distintos estándares de 56K anteriores a la norma V.90, ya que gracias a ello y mediante una simple actualización ha sido posible no quedarse con un modelo desfasado.

Igualmente, algunos modelos que funcionaban a 33,6 Kbps han podido ser actualizados y funcionar a 56 Kbps con el mismo método y sin necesidad de actualizar el hardware.

REPETIDORES

Como regla general (Regla 5-4-3) se debe tomar en cuenta que en una red de longitud máxima de 2500 m, pueden existir un máximo de cuatro repetidores, lo que equivale a contar con cinco segmentos, y además en un máximo de tres de ellos pueden conectarse otros nodos (es decir dos de los cinco segmentos sólo pueden ser empleados para la interconexión entre repetidores).

La velocidad a la que transmiten los paquetes es siempre la misma que la de la propia red. Los repetidores actúan, según el modelo OSI, a nivel físico o capa 1.

Los repetidores se utilizan a menudo en los cables transcontinentales y transoceánicos ya que la atenuación (pérdida de señal) en tales distancias sería completamente inaceptable sin ellos. Los repetidores se utilizan tanto en cables de cobre portadores de señales eléctricas como en cables de fibra óptica portadores de luz. Los repetidores se utilizan también en los servicios de radiocomunicación. Un subgrupo de éstos son los repetidores usados por los radioaficionados.

Asimismo, se utilizan repetidores en los enlaces de telecomunicación punto a punto mediante radioenlaces que funcionan en el rango de las microondas, como los utilizados para distribuir las señales de televisión entre los centros de producción y los distintos emisores o los utilizados en redes de telecomunicación para la transmisión de telefonía.



En comunicaciones ópticas el término repetidor se utiliza para describir un elemento del equipo que recibe una señal óptica, la convierte en eléctrica, la regenera y la retransmite de nuevo como señal óptica. Dado que estos dispositivos convierten la señal óptica en eléctrica y nuevamente en óptica, estos dispositivos se conocen a menudo como repetidores electroópticos.

CONCENTRADOR O HUB

Como alternativa existen los sistemas en donde las computadoras están conectadas en serie, es decir, a una línea que une varias o todas las computadoras entre sí, antes de llegar a la computadora central. Llamado también repetidor multipuerto, existen 3 clases.

- ❑ Pasivo: No necesita energía eléctrica.
- ❑ Activo: Necesita alimentación.
- ❑ Inteligente: También llamados smart hubs son hubs activos que incluyen microprocesador.

Dentro del modelo OSI el concentrador opera a nivel de la capa física, al igual que los repetidores, y puede ser implementado utilizando únicamente tecnología analógica. Simplemente une conexiones y no altera las tramas que le llegan.

Por lo que se pueden resumir las tareas de un concentrador en las siguientes:

- a) El concentrador envía la información a todas las computadoras que están conectadas a él aunque no estén interesadas y sólo exista un destinatario de la información, de esta forma asegurar que la información llegue a su destino.
- b) Este tráfico añadido genera más probabilidades de colisión. Una colisión se produce cuando una computadora quiere enviar información y la emite de forma simultánea con otra computadora. Al chocar los dos mensajes se pierden y es necesario retransmitirlos. Además, a medida que se añaden más máquinas a la red también aumentan las probabilidades de colisión.
- c) Un concentrador funciona a la velocidad del dispositivo más lento de la red.

Un concentrador es un dispositivo simple, esto influye en dos características. El precio es barato y es mínimo el retardo que añade a los mensajes.



Los concentradores fueron muy populares hasta que se abarataron los switches que tienen una función similar pero proporcionan más seguridad contra programas como los sniffers (programas que capturan las tramas de red). La disponibilidad de switches Ethernet de bajo precio los ha dejado obsoletos, pero aún se pueden encontrar en instalaciones antiguas y en aplicaciones especializadas.

PUENTE

Funciona a través de una tabla de direcciones detectadas en cada segmento al que está conectado. Cuando detecta que un nodo de uno de los segmentos está intentando transmitir datos a un nodo del otro segmento, el puente copia la trama para la otra subred. La principal diferencia entre un puente y un concentrador es que el segundo pasa cualquier trama con cualquier destino para todos los otros nodos conectados, en cambio el primero sólo pasa las tramas pertenecientes a cada segmento. Esta característica mejora el rendimiento de las redes al disminuir el tráfico inútil. Para hacer el bridging o interconexión de más de 2 redes, se utilizan los switches.

SWITCH

Los switches se utilizan cuando se desean conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola. Al igual que los puentes, dado que funcionan como un filtro en la red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las redes LAN.

Los puentes y switches pueden conectarse entre sí, pero existe una regla que dice que sólo puede existir **un único camino** entre dos puntos de la red. En caso de que no se siga esta regla, se forma un bucle en la red, que produce la transmisión infinita de datagramas de una red a otra.

Sin embargo, esos dispositivos utilizan el algoritmo de spanning tree que gestiona la presencia de bucles en topologías de red debido a la existencia de enlaces redundantes (necesarios en muchos casos para garantizar la disponibilidad de las conexiones). El protocolo permite a los dispositivos de interconexión activar o desactivar automáticamente los enlaces de conexión, de tal forma que se garantice que la topología está libre de lazos, esto para evitar bucles, haciendo la transmisión de datos de forma segura.

ROUTER

En la figura C.5 se muestran 3 redes IP interconectadas por 2 routers. La computadora con el IP 222.22.22.1 envía 2 paquetes, uno para la computadora 123.45.67.9 y otro para 111.11.11.1 A través de sus tablas de enrutamiento configurados previamente, los routers pasan los paquetes para la red o router con el rango de direcciones que corresponde al destino del paquete. Nota: el contenido de las tablas de rutas está simplificado por motivos didácticos. En realidad se utilizan máscaras de red para definir las subredes interconectadas.

Los routers permiten interconectar redes de diferentes protocolos. Mediante una ACL Access Control List permite aceptar o rechazar información dependiendo del origen y del destino.

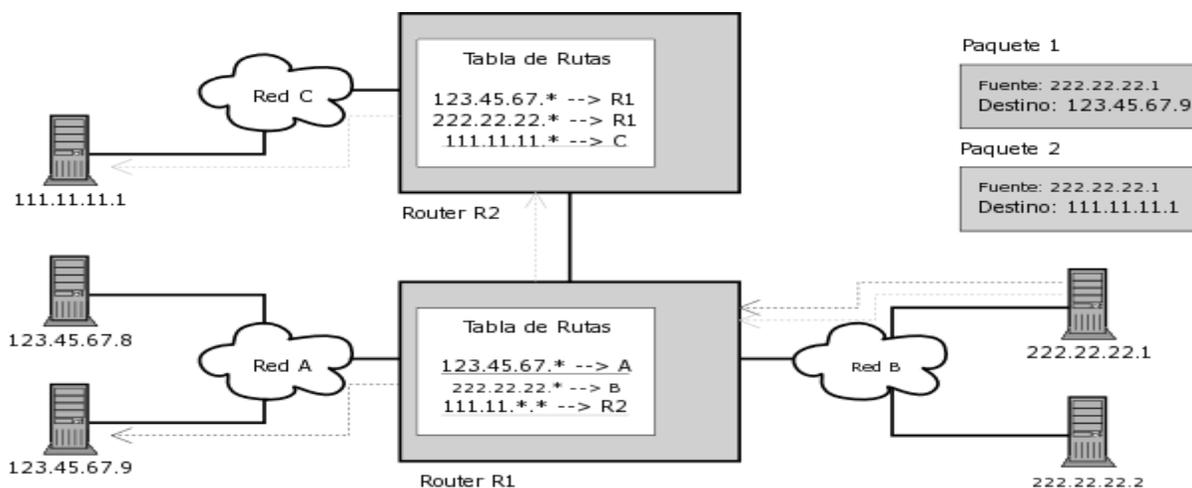


Figura C.5 Redes interconectadas por routers

Asimismo es importante mencionar la parte concerniente a los protocolos de enrutamiento que son aquellos protocolos que utilizan los routers o encaminadores para comunicarse entre sí y compartir información que les permita tomar la decisión de cual la ruta más adecuada en cada momento para enviar un paquete.

Los protocolos más usados son:

- ✦ **RIP (v1 y v2): Routing Information Protocol**, Protocolo de información de encaminamiento. Es un protocolo de puerta de enlace interna o IGP, Internal Gateway Protocol. En la actualidad existen tres versiones diferentes de RIP las cuales son :

- ✘ **RIPv1:** No soporta subredes ni encaminamiento Inter-Dominios sin Clases. Tampoco incluye mecanismos de autenticación de los mensajes. No se usa actualmente. Su especificación se encuentra en el RFC 1058.

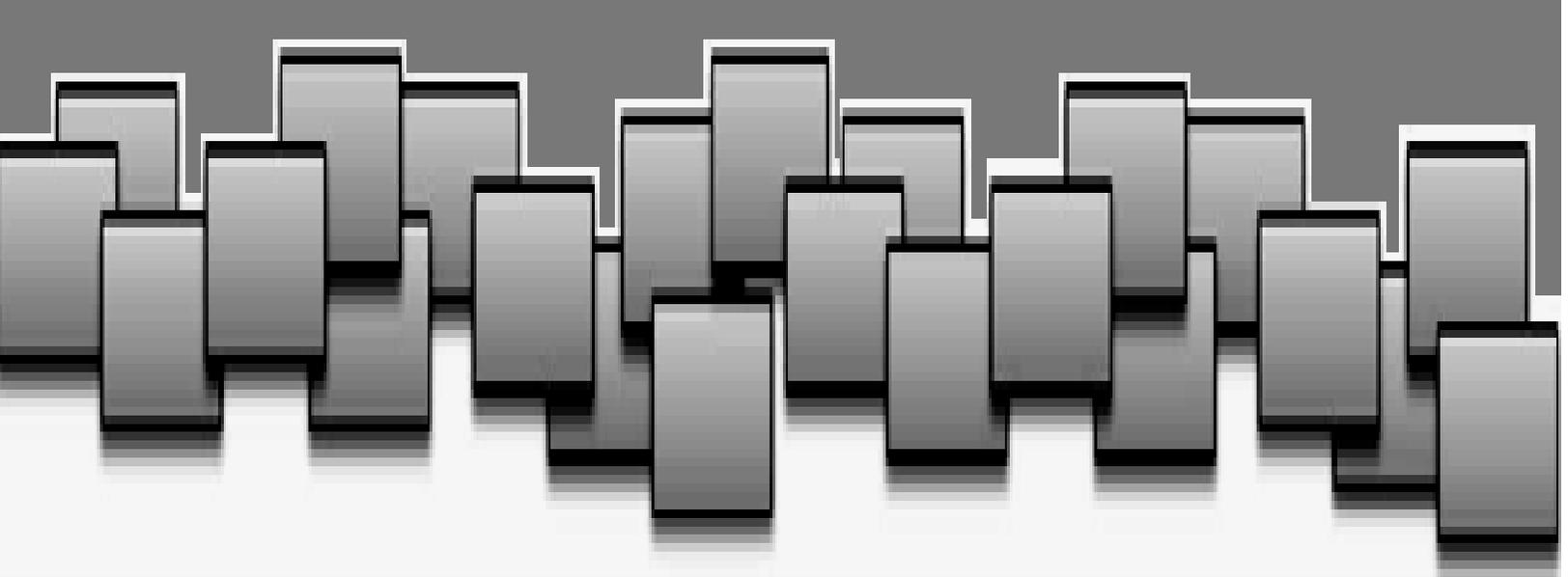
- ✘ **RIPv2:** Soporta subredes, encaminamiento Inter-Dominios sin Clases y máscaras de subred de tamaño variable. Soporta autenticación utilizando uno de los siguientes mecanismos: no autenticación, autenticación mediante contraseña, autenticación mediante contraseña codificada mediante MD5, Algoritmo de Resumen del Mensaje 5 es un algoritmo de reducción criptográfico de 128 bits ampliamente usado. Su especificación se encuentra en el RFC 1723-2453.

- ✘ **OSPF (v1, v2 y v3):** **Open Shortest Path First** es un protocolo de encaminamiento jerárquico de pasarela interior o IGP, Interior Gateway Protocol, que usa el algoritmo Dijkstra enlace-estado (LSA - *Link State Algorithm*) para calcular la ruta más corta posible. Además, construye una base de datos enlace-estado idéntica en todos los routers de la zona.

- ✘ **BGP (v4), Border Gateway Protocol** es un protocolo mediante el cual se intercambian prefijos los ISP, Proveedor de Servicios de Internet o Internet Service Provider, registrados en Internet. Actualmente la totalidad de los ISP intercambian sus tablas de ruteo a través del protocolo BGP. Este protocolo requiere un router que tenga configurado cada uno de los vecinos que intercambiarán información de las rutas que cada uno conozca. Se trata del protocolo más utilizado para redes con intención de configurar un EGP (External Gateway Protocol).

Estos protocolos mencionados se encargan de gestionar las rutas de una forma dinámica, aunque no es rigurosamente necesario que un router haga uso de estos protocolos, pudiéndosele indicar de forma estática las rutas o caminos a seguir para las distintas subredes que estén conectadas al dispositivo.

Usualmente los routers se implementan también como puertas de acceso a Internet usándose habitualmente en casas y oficinas pequeñas. Es correcto utilizar el término router en este caso, ya que estos dispositivos unen dos redes.



APÉNDICE D

MODELO OSI

MODELO OSI

Los datos que se envían en cada capa reciben una serie de nombres y formatos específicos en función de la capa en la que se encuentren (Figura D.1). Los formatos de información son los siguientes:

- ✘ APDU: Unidad de datos en la capa de aplicación.
- ✘ PPDU: Unidad de datos en la capa de presentación.
- ✘ SPDU: Unidad de datos en la capa de sesión.
- ✘ TPDU: Unidad de datos en la capa de transporte.
- ✘ Paquete: Unidad de datos en el nivel de red.
- ✘ Trama: Unidad de datos en la capa de enlace.
- ✘ Bits: Unidad de datos en la capa física.

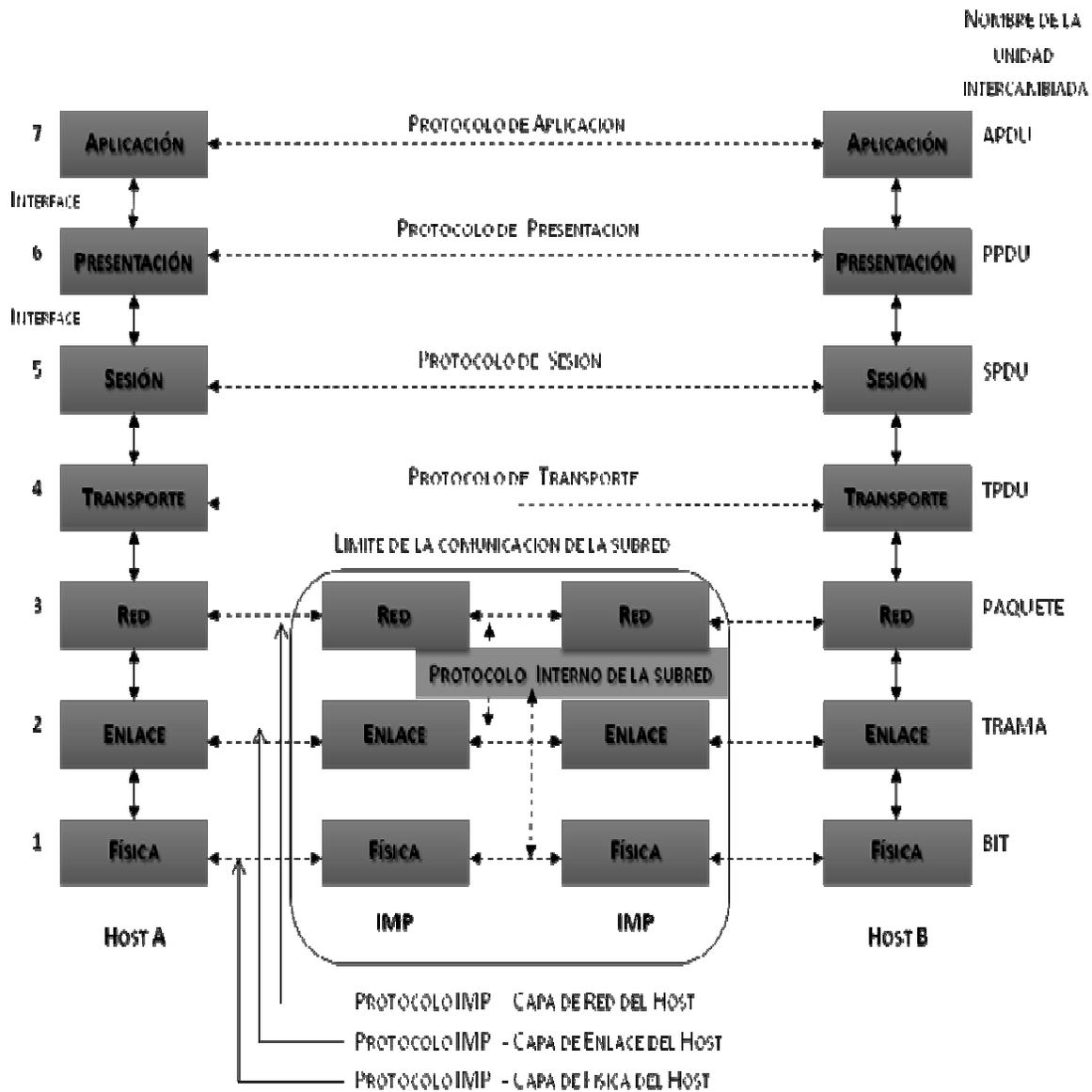


Figura D.1 Además formatos de los datos de cada una de las capas.

CAPA FÍSICA

Se encarga de transmitir los bits de información a través del medio, se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes, de la velocidad de transmisión y del modo de transmisión. También se encarga de aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas y/o electromagnéticas.



Transforma una trama de datos proveniente del nivel de enlace en una señal adecuada al medio físico utilizado en la transmisión.

Sus principales funciones se pueden resumir como:

- ✘ Definir conexiones físicas entre computadoras que será el medio o medios físicos por los que va a viajar la comunicación.
- ✘ Definir las características materiales (componentes y conectores mecánicos) y eléctricas (niveles de tensión) que se van a usar en la transmisión de los datos por los medios físicos.
- ✘ Definir las características funcionales de la interfaz (establecimiento, mantenimiento y liberación del enlace físico).
- ✘ Transmitir el flujo de bits a través del medio.
- ✘ Especificar cables, conectores y componentes de interfaz con el medio de transmisión, entre otros más.
- ✘ Garantizar la conexión (aunque no la fiabilidad de ésta).
- ✘ Definir la técnica de transmisión.
- ✘ Definir el tipo de transmisión.
- ✘ Definir la codificación de la línea.
- ✘ Definir la velocidad de transmisión.

CAPA DE ENLACE

Resumiendo, sus principales funciones son las siguientes:

- ✘ **Iniciación, terminación e identificación**
 - La función de iniciación comprende los procesos necesarios para activar el enlace.
 - Las funciones de terminación liberan los recursos ocupados hasta la recepción/envío de la última trama.
 - La identificación permite identificar a qué terminal se debe enviar una trama o para conocer quién envía la trama.
 - ✘ **Segmentación y bloqueo**
 - La segmentación surge por la longitud de las tramas ya que si es muy extensa, se deben realizar tramas más pequeñas con la información de esa trama excesivamente larga.
- 

- Si estas tramas son excesivamente cortas, se deben implementar técnicas de bloque que mejoran la eficiencia y que consiste en concatenar varios mensajes cortos de nivel superior en una única trama de nivel de enlace más larga.

✘ Sincronización de octeto y carácter

- En el nivel de enlace es necesario identificar los bits y saber qué posición les corresponde en cada carácter u octeto dentro de una serie de bits recibidos.
- Sincronización comprende los procesos de poner en fase los mecanismos de codificación del emisor con los mecanismos de decodificación del receptor.

✘ Delimitación de trama

La capa de enlace debe de ocuparse de la delimitación y sincronización de la trama. La transparencia se realiza mediante la inserción de bits. Consta de ir contando los unos consecutivos y cuando se encuentra con 5 unos seguidos y consecutivos introduce el bit 0 después del quinto uno.

✘ Control de errores

Existen 2 métodos de control de errores:

- **FEC** o corrección de errores por anticipado y no tiene control de flujo. El receptor puede detectar errores y en la decodificación puede arreglarlos. Son adecuados para entornos en los que el número de errores no es grande y los bits erróneos se presentan aislados. Se utilizan en transmisiones simples, aplicaciones militares cuando el receptor no quiere que se detecte su presencia o transmisiones vía satélite.
- **ARQ**: Posee control de flujo mediante parada y espera, o ventana deslizante. Controlan los errores utilizando la técnica de repetición automática de respuesta. Se basan en detectar errores mediante códigos sencillos que permiten al receptor descartar las tramas erróneas, y corregir los errores mediante la representación de las tramas transmitidas.

✘ Control de flujo

El control de flujo es necesario para no preocupar al receptor. El control de flujo conlleva dos acciones importantísimas que son la detección de errores y



la corrección de errores. La detección de errores se utiliza para detectar errores cuando se le envían tramas al receptor e intenta solucionarlos.

✘ **Recuperación de fallas**

Procedimientos para detectar situaciones y recuperarse de situaciones anómalas como la ausencia de respuesta, recepción de tramas inválidas. Generalmente se suelen utilizar *contadores* para limitar el número de errores o reintentos de los procesos y procedimientos. También se pueden usar *temporizadores* para establecer plazos de espera (timeout) de los sucesos.

✘ **Gestión y coordinación de la comunicación**

La gestión atiende a 2 tipos. El primero de ellos es un sistema centralizado donde existe una máquina maestra y varias esclavas. Estas conexiones se pueden realizar punto a punto o multipunto. El segundo de ellos es el distribuido, donde no existe máquina maestra y todas compiten por el control del sistema de comunicación.

Las tareas antes mencionadas logran que la capa de enlace de datos envíe la información correcta a la siguiente capa de red y que la transferencia de los datos sea fiable a través de un circuito de transmisión de datos.

CAPA DE RED

Otro problema a solucionar por esta capa es la interconexión de redes heterogéneas, solucionando problemas de protocolo diferente, o direcciones desiguales. Los protocolos de transmisión, como el IP están íntimamente asociados a esta capa.

✘ **PROTOCOLO IP**

El protocolo IP es el software que implementa el mecanismo de entrega de paquetes y es un protocolo no orientado a la conexión y no confiable (técnica del mejor esfuerzo) usado tanto por el origen como por el destino para la comunicación de éstos a través de una red (Internet) de paquetes conmutados.

El protocolo IP cubre tres aspectos importantes:

1. Define la unidad básica para la transferencia de datos en una interred, especificando el formato exacto de un Datagrama IP.





2. Realiza las funciones de enrutamiento.
3. Define las reglas para que los hosts y routers procesen paquetes, los descarten o generen mensajes de error.

IP no provee ningún mecanismo para determinar si un paquete alcanza o no su destino y únicamente proporciona seguridad (mediante *checksums* o sumas de comprobación) de sus cabeceras y no de los datos transmitidos. Si se necesita fiabilidad, ésta es proporcionada por los protocolos de la capa de transporte, como TCP.

Si la información a transmitir, datagramas, supera el tamaño máximo acordado en el tramo de red por el que va a circular, podrá ser dividida en paquetes más pequeños, y reensamblada luego cuando sea necesario. Estos fragmentos podrán ir cada uno por un camino diferente dependiendo de cómo estén de congestionadas las rutas en cada momento.

Las cabeceras IP contienen las direcciones de las máquinas de origen y destino (direcciones IP), direcciones que serán usadas por los routers para decidir el tramo de red por el que reenviarán los paquetes.

Quizás los aspectos más complejos de IP son el direccionamiento y el enrutamiento. El direccionamiento se refiere a la forma como se asigna una dirección IP y cómo se dividen y se agrupan subredes de equipos.

CAPA DE TRANSPORTE

Estos servicios estarán asociados al tipo de comunicación empleada, la cual puede ser diferente según el requerimiento que se le haga a la capa de transporte. En resumen, podemos definir a la capa de transporte como:

Capa encargada de efectuar el transporte de los datos (que se encuentran dentro del paquete) de la máquina origen a la destino, independizándolo del tipo de red física que se esté utilizando. La unidad de datos de protocolo de la capa 4 se llama segmentos. En esta capa es de vital importancia mencionar dos protocolos TCP y UDP.





✦ PROTOCOLO TCP

Protocolo de Control de Transmisión, TCP (Transmission Control Protocol). Es uno de los protocolos fundamentales en Internet. Muchos programas dentro de una red de datos compuesta por ordenadores pueden usar TCP para crear *conexiones* entre ellos a través de las cuales se envía un flujo de datos. El protocolo garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron.

El protocolo TCP se encarga además de añadir cierta información necesaria a cada uno de los datagramas. Esta información se añade al inicio de los datos que componen el datagrama en forma de cabecera.

La cabecera de un datagrama contiene al menos 160 bits que se encuentran repartidos en varios campos con diferente significado. Cuando la información se divide en datagramas para ser enviados, el orden en que éstos lleguen a su destino no tiene que ser el correcto. Cada uno de ellos puede llegar en cualquier momento y con cualquier orden, e incluso puede que algunos no lleguen a su destino o lleguen con información errónea. Para evitar todos estos problemas el TCP numera los datagramas antes de enviarlos, de manera que sea posible volver a unirlos en el orden adecuado. Esto permite también solicitar de nuevo el envío de los datagramas individuales que no hayan llegado o que contengan errores, sin que sea necesario volver a enviar el mensaje completo.

En cualquier caso, el tamaño de la cabecera debe ser múltiplo de 32 bits, por lo que puede ser necesario añadir un campo de tamaño variable y que contenga ceros al final para conseguir este objetivo cuando se incluyen algunas opciones. El campo de tamaño contiene la longitud total de la cabecera TCP expresada en el número de palabras de 32 bits que ocupa. Esto permite determinar el lugar donde comienzan los datos.

✦ PROTOCOLO UDP

El protocolo de datagramas de usuario (UDP) puede ser la alternativa al TCP en algunos casos en los que no sea necesario el gran nivel de complejidad proporcionado por el TCP. Puesto que UDP no admite numeración de los datagramas, este protocolo se utiliza principalmente cuando el orden en que



se reciben los mismos no es un factor fundamental, o también cuando se quiere enviar información de poco tamaño que cabe en un único datagrama.

Cuando se utiliza UDP la garantía de que un paquete llegue a su destino es mucho menor que con TCP debido a que no se utilizan las señales de confirmación. Por todas estas características la cabecera del UDP es bastante menor en tamaño que la de TCP. Esta simplificación resulta en una mayor eficiencia en determinadas ocasiones.

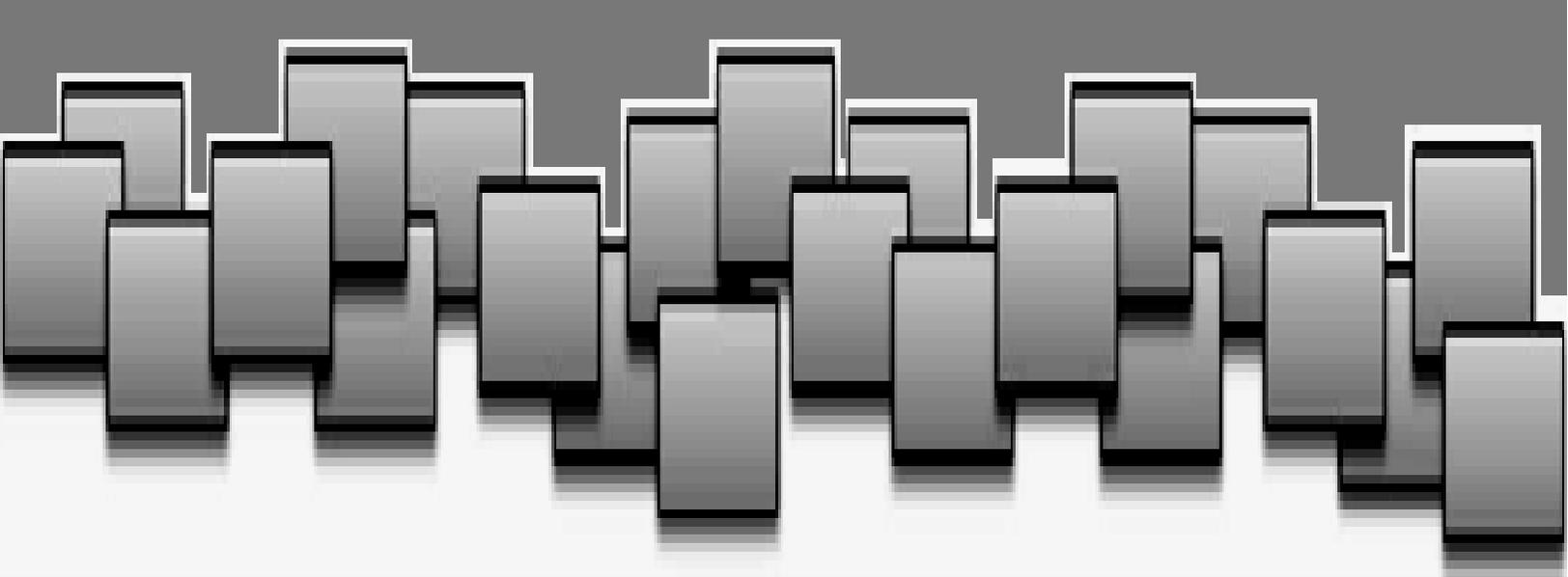
CAPA DE APLICACIÓN

Entre los protocolos (refiriéndose a protocolos genéricos, no a protocolos de la capa de aplicación de OSI) más conocidos destacan:

- ✘ **HTTP** (HyperText Transfer Protocol) el protocolo bajo la www
- ✘ **FTP** (File Transfer Protocol) (FTAM, fuera de TCP/IP) transferencia de ficheros
- ✘ **SMTP** (Simple Mail Transfer Protocol) (X.400 fuera de TCP/IP) envío y distribución de correo electrónico
- ✘ **POP** (Post Office Protocol)/IMAP: reparto de correo al usuario final
- ✘ **SSH** (Secure SHell) principalmente terminal remoto, aunque en realidad cifra casi cualquier tipo de transmisión.
- ✘ **Telnet** otro terminal remoto, ha caído en desuso por su inseguridad intrínseca, ya que las claves viajan sin cifrar por la red.

Hay otros protocolos de nivel de aplicación que facilitan el uso y administración de la red:

- ✘ **SNMP** (Simple Network Management Protocol)
- ✘ **DNS** (Domain Name System)



APÉNDICE E

RADIO FRECUENCIA

RADIOFRECUENCIA

Radio es una palabra utilizada para definir un sistema que involucra la recepción y transmisión de ondas electromagnéticas sobre las cuales va a ser sobrepuesta alguna forma de información. Ésta puede soportar comunicación en un solo sentido como la radio AM, FM y la televisión, también conocida como comunicación broadcast en donde un solo transmisor se comunica con un gran número de receptores.

A su vez puede soportar comunicación en dos sentidos como se lleva a cabo en los teléfonos celulares, en radio comunicadores o radios de banda y los llamados walkie-talkies, donde cada dispositivo está compuesto de un transmisor y un receptor, también llamados transceiver.

Los elementos que tienen en común estos sistemas son que requiere un transmisor para generar e imprimir la información en la onda de radio y un receptor capaz de captar la señal proveniente del transmisor y regresarla a su estado original.

El campo de RF está definido por las características de frecuencia (f) y el ancho de onda (w). Estas dos características son inversamente proporcionales una con otra. La

frecuencia se mide en unidades llamadas *hertz*. Un hertz puede estar definido como un ciclo completo de la onda senoidal por segundo. El ancho de la onda es comúnmente medida en metros, y es definida como lo largo de una onda senoidal. En la atmósfera o en el espacio la relación entre estas dos características es:

$$w = 300/f$$

donde f es la frecuencia en MHertz y w es el ancho de la onda en metros.

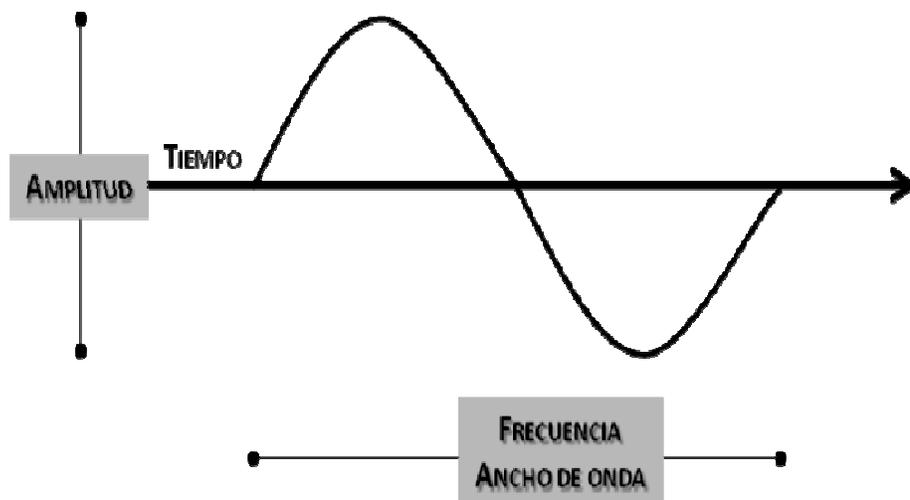


Figura E.2 Señal senoidal

En la Figura E.2 se muestra un ciclo sencillo de una onda senoidal simple. Lo primero que se debe notar es que ésta es una forma de señal analógica. La amplitud de la señal indica el máximo tamaño por encima del eje de referencia cero. Mientras que la frecuencia se identifica por el tiempo que toma en completar un ciclo entero con la transición de positivo a negativo.

Por otra parte, la mayor parte de la luz visible puede ser dividida en colores basados en el ancho de la onda, el espectro de RF está dividido en números de rangos de frecuencia, o bandas, definidos en la tabla E.1 Las bandas de frecuencia son además divididas en canales individuales. Estos canales no son más que una pequeña parte del espectro que ha sido asignado a un transmisor y receptor y definen su exacta frecuencia de operación.

Estos canales son de tamaño y calidad de espectro variable, estas características se dictan por la banda y tipo de servicio de comunicación que ofrecen.

Tabla E.1 Espectro de frecuencias

DESIGNACIÓN	ABREVIACIÓN	FRECUENCIAS	ANCHO DE ONDA ESPACIO LIBRE
Very Low Frequency (Frecuencia Muy Baja)	VLF	9 - 30kHz	33 - 10 km
Low Frequency (Frecuencia Baja)	LF	30 - 300kHz	10 - 1 km
Medium Frequency (Frecuencia Media)	MF	300kHz - 3MHz	1km - 100m
High Frequency (Frecuencia Alta)	HF	3 - 30 MHz	100m - 10m
Very High Frequency (Frecuencia Muy Alta)	VHF	30 - 300 MHz	10m - 1m
Ultra High Frequency (Frecuencia Ultra Muy Alta)	UHF	300 MHz - 3GHz	1m - 100mm
Super High Frequency (Frecuencia Super Alta)	SHF	3 - 30 GHz	100mm - 10mm
Extremely High Frequency (Frecuencia Extremadamente Alta)	EHF	30 - 300 GHz	10mm - 1mm

CONCEPTOS BÁSICOS DE SEÑALES WIRELESS

✧ FACTORES QUE INFLUYEN LA CLARIDAD DE LA SEÑAL

La claridad de señal es la clave para la realización de una comunicación inalámbrica. Algunos de los factores que afectan la claridad son:

- ✦ **Potencia de la señal:** Obviamente, una señal fuerte permite una mejor recepción en largas distancias.
- ✦ **Distancia:** La potencia de la señal de radiofrecuencia disminuye con la distancia. Además se pueden sumar interferencias no deseadas con lo que se consiguen distancias menores.
- ✦ **Interferencias:** Los factores atmosféricos, como la lluvia o el granizo, pueden interferir en la señal. Es un dato para tener en cuenta cuando se quieren realizar enlaces inalámbricos en exteriores. Normalmente las interferencias de RF son causadas por aparatos que están emitiendo cerca, en la misma banda y mismo canal que nosotros. También se consideran interferencias a las transmisiones que estén en el mismo canal que nuestra señal, por lo que siempre es conveniente utilizar el canal menos utilizado. Incluso otros sistemas de RF como pueden ser microondas o cualquier otro sistema también pueden interferir y degradar el nivel de nuestra señal.
- ✦ **Línea de visión:** La señal necesita visión directa para realizar bien la comunicación. Si hay obstáculos en la línea de visión, no se podrá realizar la conexión.

✦ TRANSMISIÓN DE LA SEÑAL

Las ondas de señal de radio viajan como las vibraciones del agua de una piscina cuando se lanza un objeto. La potencia de la señal disminuye a medida que la señal se aleja de la primera onda.

Una antena direccional refleja la señal en una dirección y crea un foco en forma de cono con gran potencia. La señal no se propaga en partes iguales por todo el foco. La señal de RF es más fuerte con un área más estrecha y central. Se hace referencia al área donde la señal es más fuerte como el centro del lóbulo. Siempre siendo más débil en los extremos.

El ancho del haz de la señal de RF depende de cómo la antena forma la señal, tipo de antena, y la distancia de la fuente de la señal. La señal se atenúa gradualmente en el borde del cono y no es aconsejable medir la señal desde el borde. La amplitud del haz, no el nivel de potencia, de señal aumenta con la

distancia, si se desea medir la anchura de la señal en metros, no se podrá determinar hasta que no se sepa a qué distancia estará. La potencia de la señal se mide en decibeles (dB). El número de decibeles indica la distancia de la señal respecto a su punto central, es decir, el alcance de ésta.

Las ondas pueden rebotar en algunos objetos que se encuentren por el camino, en este caso las ondas se desfasan con mayor o menor grado en función del material en el que reboten y su ángulo de incidencia. Una vez que una señal rebota o se desfasa puede ser recuperada o no en función del desfase de la misma. Normalmente si los desfases son muy pequeños, casi despreciables, se puede recuperar la señal.

✂ ENFOCAR LA SEÑAL

Si la distancia de transmisión aumenta, es necesario compensar la distancia seleccionando una antena con una transmisión más enfocada y un foco más estrecho, es decir, una antena directiva.

Algunos de los beneficios de utilizar antenas directivas es que al tener un foco más estrecho, las señales interferentes minimizan a aquellas que pasen y coincidan en el haz de la misma. En casos anteriores, al tener un haz más ancho la posibilidad de encontrar interferencias era superior.

Para conseguir un enlace entre dos puntos, lo más conveniente es que los dos lóbulos principales del emisor y el receptor coincidan en al menos un punto, no es necesario que el lóbulo de cada uno de los extremos esté superpuesto con el otro. Pero cuanto más superposición exista entre los lóbulos del emisor y el receptor mejor será la señal en el enlace, por lo que es aconsejable que siempre estén superpuestos al 100%.

Cuando se quieren enlazar grandes distancias, incluso una antena muy direccional puede tener un gran cono de cobertura. Por ejemplo, con algunas parabólicas de mucha ganancia se pueden conseguir distancias de hasta 20km aproximadamente, y a estas distancias el haz de la señal habrá abierto o aumentado mucho y se puede ver afectada por interferencias.

✂ LÍNEA DE VISIÓN (LOS)

El éxito de un enlace de RF depende de la línea de visión. Una línea de visión sin obstáculos se llama “free space path” o camino con espacio libre.

Un obstáculo en la línea de visión del enlace reduce o elimina totalmente la señal. La desviación de la señal al pasar alrededor de un obstáculo se llama difracción. Una reducción de la potencia de la señal es conocida como atenuación.

Si una antena apunta hacia una ventana de cristal, el cristal debido a su coeficiente de difracción atenuará en gran medida la señal. Algunos tipos de cristal reflejante ofrecen un nivel de atenuación. La señal que pasa por una construcción de madera o un bosque también será atenuada. Las hojas mojadas pueden afectar substancialmente la señal.

También se debe comentar, que no siempre es suficiente una visión directa entre dos puntos para realizar un enlace inalámbrico. Ya que debe tener un campo de visión lo suficientemente ancho como para que pase un cierto porcentaje del haz del emisor y el receptor.

✂ POSICIÓN ESTABLE DE LA ANTENA

Para obtener un óptimo rendimiento, se deben ajustar las antenas con la máxima precisión posible. Para asegurar un buen alineamiento de las antenas, es preciso mantenerlas en una posición estable y rígida. Esto es difícil de conseguir en exteriores y sobre todo cuando se utilizan antenas que el viento mueve fácilmente. Hay que asegurarse que el mástil donde se instalan sea rígido. Pero para instalaciones interiores este fenómeno es despreciable.

ANTENAS

La definición formal de una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión, ya sea un cable o una guía de onda, en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir

por el espacio libre. En resumen, una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y ésta es radiada por el espacio libre.

Las antenas deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección. Es decir, deben acentuar un solo aspecto de dirección y anular o disminuir los demás. Esto es necesario ya que sólo interesa radiar hacia una dirección determinada.

Una antena está constituida por un conjunto de conductores diseñados para radiar o transmitir un campo electromagnético cuando se le aplica una fuerza electromotriz alterna. De manera inversa, en recepción, si una antena se coloca en un campo electromagnético, genera como respuesta a éste una fuerza electromotriz alterna.

El tamaño de las antenas está relacionado con la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, debiendo ser, en general, un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda. Por eso, a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño.

Asimismo, dependiendo de su forma y orientación, pueden captar diferentes frecuencias, así como niveles de intensidad. Las características más importantes de una antena, y que son las que diferencian en gran medida un tipo de otro, son las siguientes:

✦ **Polarización**

Se define como polarización de una antena, la dirección que tiene el campo eléctrico de la onda electromagnética. Si el campo eléctrico es horizontal, la antena tiene polarización horizontal; si es vertical, tendrá polarización vertical. En general, la polarización coincide con la posición del hilo conductor de la antena. Si ésta tiene el conductor en posición horizontal, la antena tiene polarización horizontal; si está vertical, tendrá polarización vertical.

La polarización cobra importancia cuando se toma en cuenta la frecuencia para trabajar, ya que para las frecuencias comprendidas entre 3 y 30 MHz la elección de uno u otro tipo no tiene importancia, debido a que la polarización se pierde al haber una reflexión. Sin embargo, en frecuencias superiores, donde las reflexiones son muy raras, o bien, siempre que se quiera establecer comunicados por vía directa, es decir sin reflexiones, la antena emisora y la

receptora deben tener la misma polarización, ya que en caso contrario las pérdidas son muy importantes.

✦ **Angulo de radiación**

Se llama ángulo de radiación al ángulo vertical, es decir, por encima del horizonte, en que una antena emite o recibe la máxima intensidad de campo electromagnético. Resulta evidente que todas las estaciones con las que podemos contactar se encuentran, o bien en línea horizontal o bien más allá del horizonte. El ángulo para el que el refuerzo es máximo se llama ángulo de radiación de una antena. Curiosamente ninguna antena real situada sobre el suelo tiene su máximo ángulo de radiación en dirección horizontal. La máxima radiación siempre ocurre con un cierto ángulo hacia arriba.

✦ **Directividad**

Se denomina directividad a la dirección horizontal en la que se produce el máximo de radiación de una antena. Algunas antenas irradian igualmente hacia todas las direcciones horizontales, en cambio, otras tienen una o varias direcciones en las que la radiación se ve favorecida.

✦ **Ganancia**

Se define como ganancia de una antena la diferencia que existe entre el campo electromagnético producido por una determinada antena en su dirección más favorable respecto al de otra antena que se toma como patrón.

En la práctica, la antena que se usa como referencia suele ser el dipolo, que ya tiene una ganancia de 2,8 dB sobre la antena isotrópica. Esto se debe a que el dipolo es una antena muy simple y fácil de construir, por lo cual se pueden hacer comparaciones directas entre dos antenas sin tener que recurrir a la antena isotrópica que no existe y por tanto no es comparable directamente.

Si la ganancia de una antena está referida a la antena isotrópica se representa como dBi. Si está referida al dipolo se representa como dBd.

MODULACIÓN

La modulación es el proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia. Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la variación de alguno de sus parámetros, siendo ésta proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora. A la señal resultante de este proceso se le denomina señal modulada y ésta es la señal que se transmite. (Figura E.4)

Existen diferentes razones por las cuales es necesario modular las señales:

- I. Si todos los usuarios transmiten a la frecuencia de la señal original o moduladora, no será posible reconocer la información inteligente contenida en dicha señal, debido a la interferencia entre las señales transmitidas por diferentes usuarios.
- II. A altas frecuencias se tiene mayor eficiencia en la transmisión, de acuerdo con el medio que se emplee.
- III. Se aprovecha mejor el espectro electromagnético, ya que permite la multiplexión por frecuencias.
- IV. En caso de transmisión inalámbrica, las antenas tienen medidas más razonables.

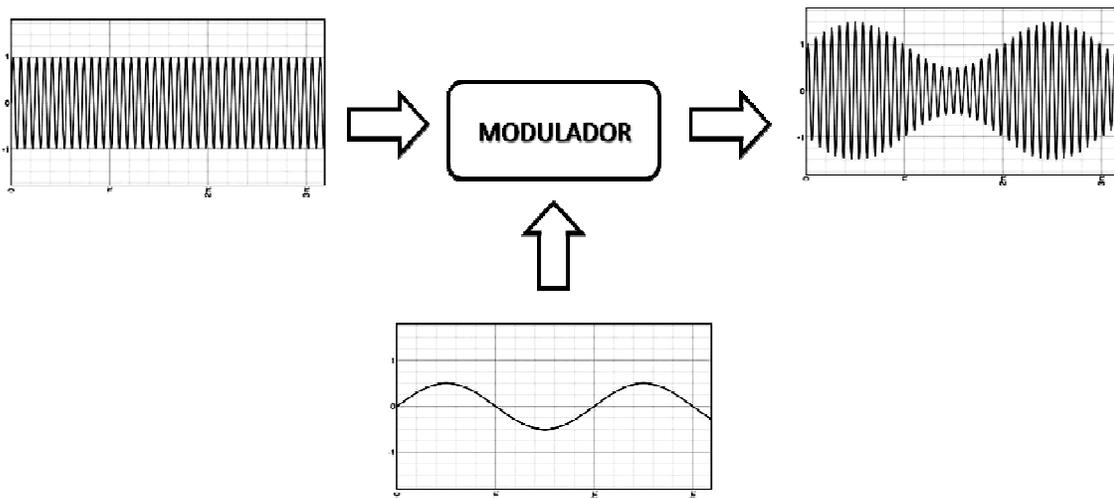


Figura E.4 Modulación

En resumen, la modulación permite aprovechar mejor el canal de comunicación ya que posibilita transmitir más información en forma simultánea por un mismo canal y proteger la información de posibles interferencias y ruidos. Existen diversos tipos de modulación, dependiendo de la variación de la señal.

✂ MODULACIÓN DE AMPLITUD

La modulación de amplitud AM (Amplitude Modulation), es una modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la portadora de forma que ésta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora. Un modulador AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada de información, una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia sencilla, y la señal de información. La información modula la portadora y puede ser una forma de onda de frecuencia simple o compleja compuesta de muchas frecuencias que fueron originadas de una o más fuentes. Debido a que la información actúa sobre la portadora, se le llama señal modulante. La resultante se llama onda modulada o señal modulada. (Figura E.5)

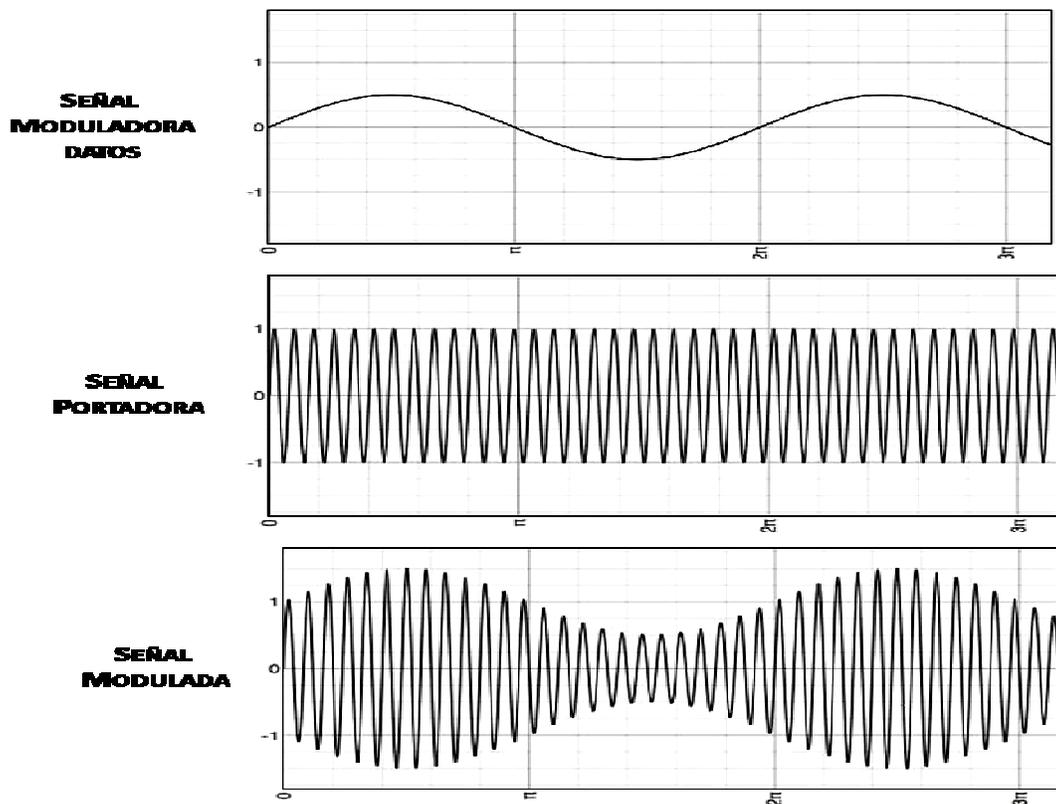


Figura E.5 Modulación de Amplitud

✂ **MODULACIÓN DE FRECUENCIA**

La modulación de frecuencia FM (Frequency Modulation) es una modulación exponencial que transmite información a través de una onda portadora variando la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora o datos, permaneciendo constante su amplitud. La frecuencia modulada posee varias ventajas sobre el sistema de modulación de amplitud AM utilizado alternativamente en radiodifusión. La más importante es que al sistema FM apenas le afectan las interferencias y descargas estáticas. (Figura E.6)

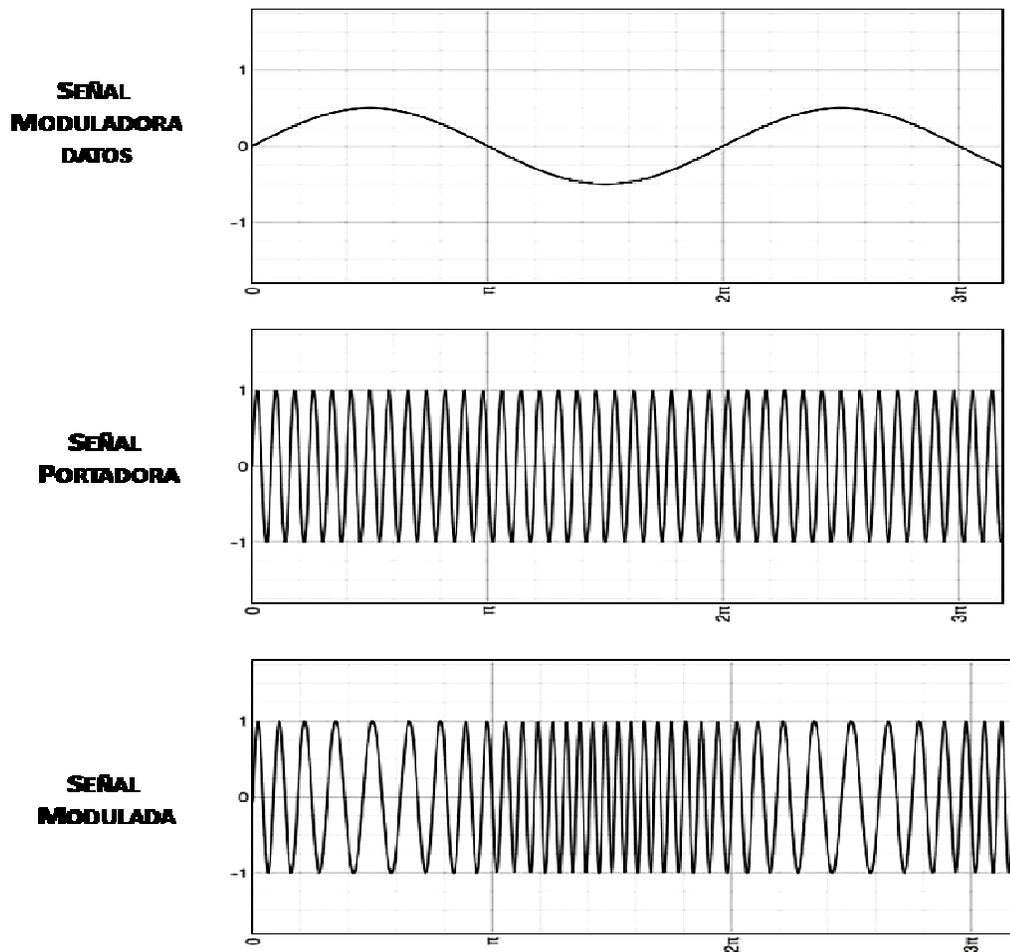


Figura E.6 Modulación de frecuencia

✂ MODULACIÓN DE FASE

La modulación de fase PM (Phase Modulation) también es un caso de modulación donde las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas y es un tipo de modulación exponencial al igual que la modulación de frecuencia.

En este caso el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo a con la señal moduladora es la fase. La modulación de fase PM no es muy utilizada debido a que se requiere de equipos de recepción más complejos que en FM y puede presentar problemas de ambigüedad para determinar por ejemplo si una señal tiene una fase de 0 o 180 grados. La forma de las señales de modulación de frecuencia y modulación de fase son muy parecidas. De hecho, es imposible diferenciarlas sin tener un conocimiento previo de la función de modulación. (Figura E.7)

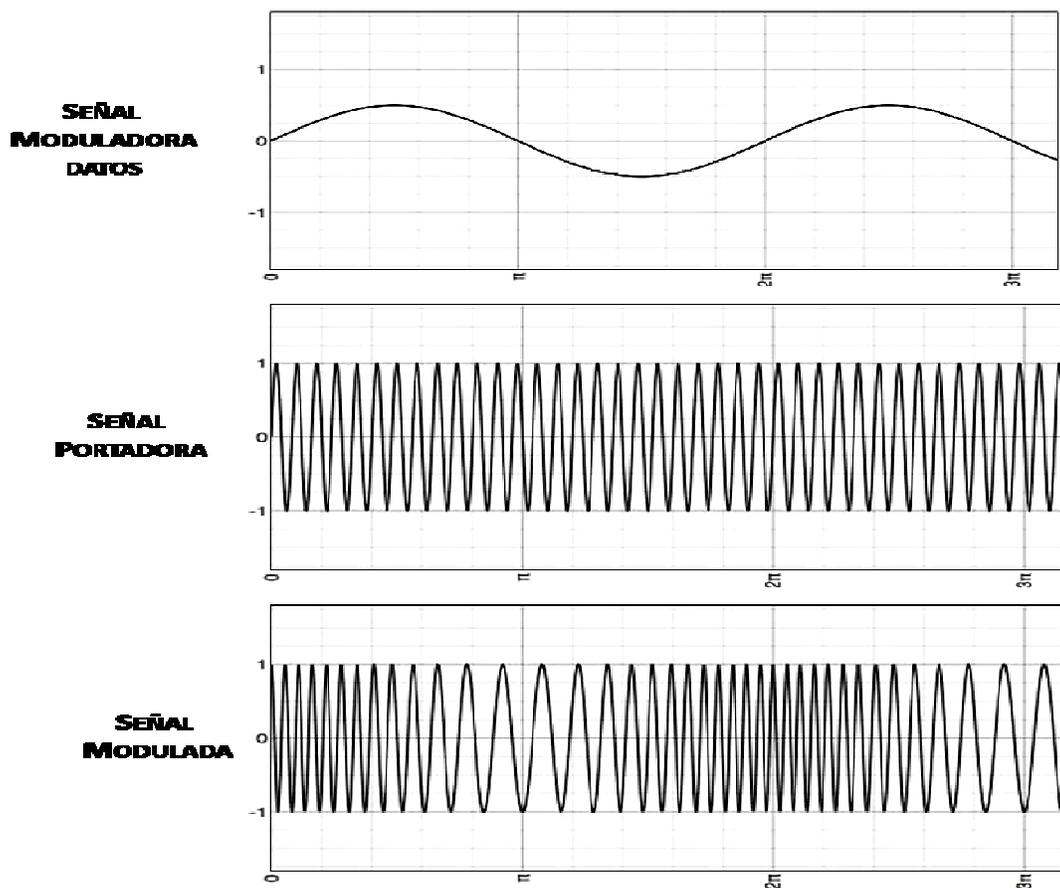


Figura E.7 Modulación de fase

✂ **DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD**

El desplazamiento de amplitud ASK (Amplitude Shift Keying), es una modulación de amplitud donde la señal moduladora o los datos son digitales. Los dos valores binarios se representan con dos amplitudes diferentes y es usual que una de las dos amplitudes sea cero, es decir uno de los dígitos binarios se representa mediante la presencia de la portadora a amplitud constante, y el otro dígito se representa mediante la ausencia de la señal portadora. La señal modulada (figura E.8), puede representarse gráficamente de la siguiente manera.

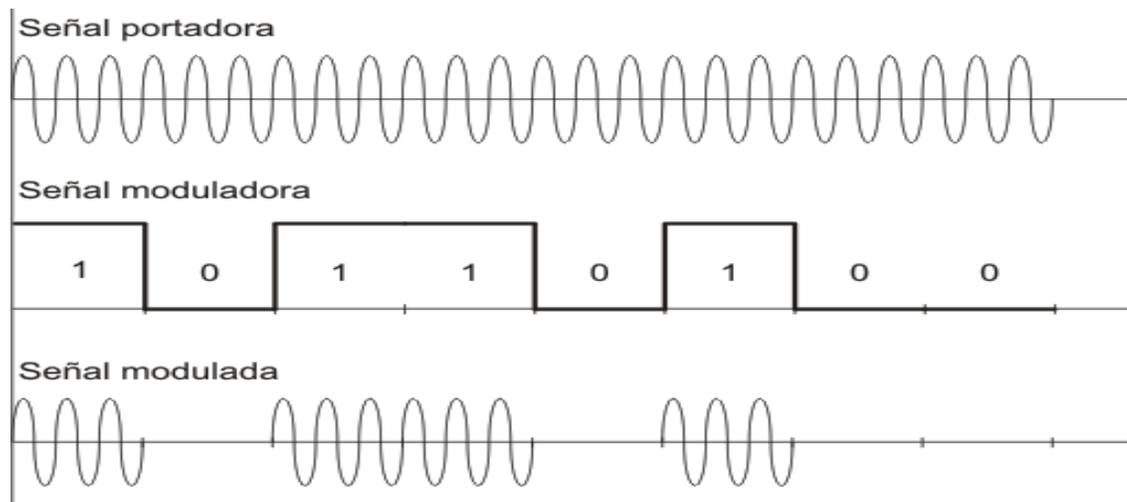


Figura E.8 ASK

La técnica ASK se utiliza para la transmisión de datos digitales en fibras ópticas, en los transmisores con LED, la expresión de la señal modulada sigue siendo válida. Los transmisores láser tienen normalmente un valor de desplazamiento, que hace que el dispositivo emita una señal de alta intensidad para representar un elemento y una señal de menor amplitud para representar al otro.

✂ **DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA**

El desplazamiento de frecuencia FSK (Frequency Shift Keying), es una modulación de frecuencia donde la señal moduladora o datos son digitales. Los dos valores binarios se representan con dos frecuencias diferentes próximas a la frecuencia de la señal portadora. Generalmente las dos frecuencias próximas

a la de la portadora corresponden a desplazamientos de igual magnitud pero en sentidos opuestos de la frecuencia de la señal portadora. (Figura E.9)

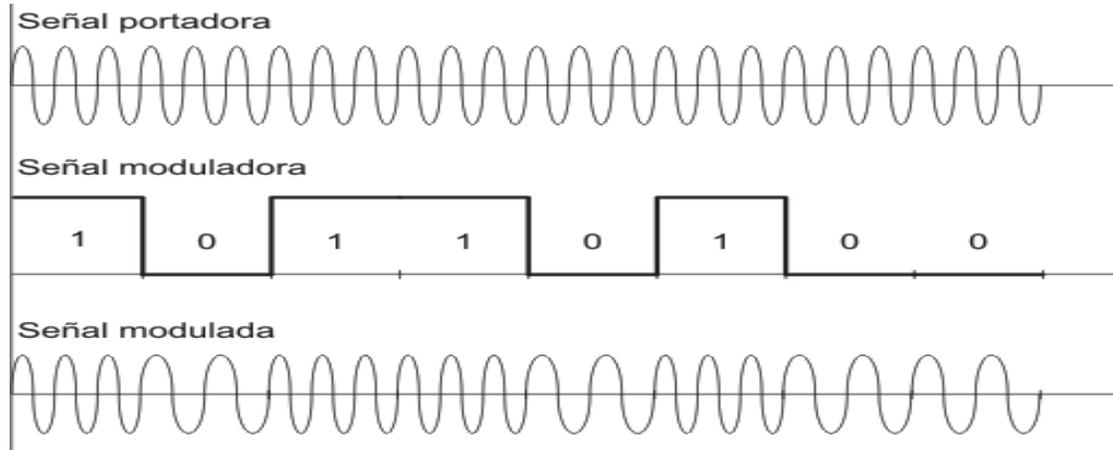


Figura E.9 FSK

✂ DESPLAZAMIENTO DE FASE

El desplazamiento de fase PSK (Phase Shift Keying), es una modulación de fase donde la señal moduladora o datos son digitales. Existen dos alternativas de modulación PSK: PSK convencional, donde se tienen en cuenta los desplazamientos de fase y PSK diferencial, en la cual se consideran las transiciones. Las consideraciones que siguen a continuación son válidas para ambos casos. (Figura E.10)

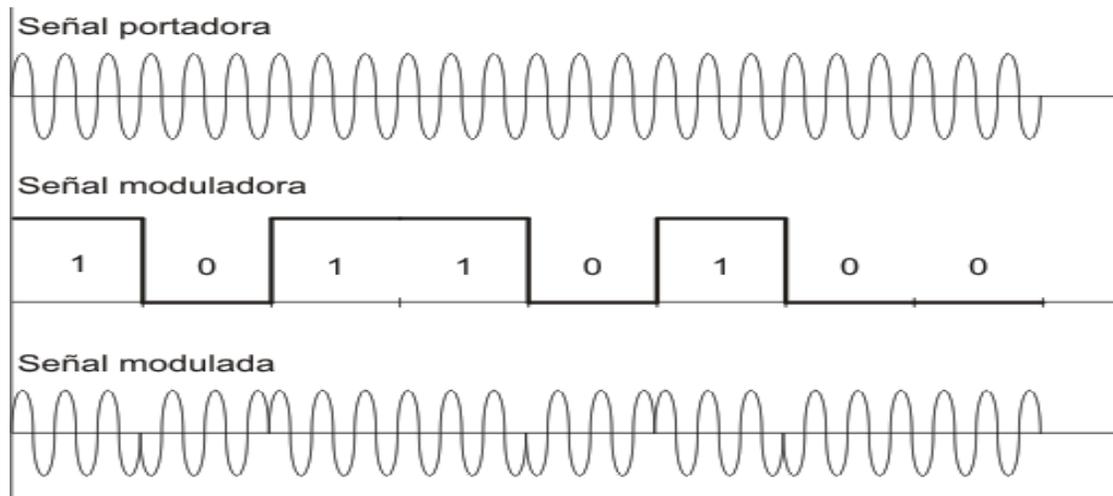


Figura E.10 PSK

✘ **MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA**

La modulación de amplitud en cuadratura QAM (Quadrature Amplitude Modulation) es una modulación digital en la que los datos están contenidos tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90º entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia de ancho de banda que se consigue con esta modulación.

✘ **DÚPLEX EN EL DOMINIO DEL TIEMPO**

Dúplex en el Dominio del Tiempo TDD (Time Division Duplex), es el modo de transmisión en el que cada usuario dispone de un determinado intervalo de tiempo para operar con lo que se consigue que varios usuarios compartan el mismo canal de comunicaciones.

✘ **DÚPLEX EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA**

Dúplex en el Dominio de la Frecuencia FDD (Frequency Division Duplex), es el modo de transmisión en el que el transmisor y receptor de radio opera en frecuencias diferentes. La estación debe ser capaz de enviar y recibir una transmisión al mismo tiempo, y lo hace mediante la alteración de la frecuencia con que se envía y recibe poco.

Otra de las ventajas de FDD es que hace más fácil la comunicación ya que transmiten y reciben en diferentes sub-bandas y, por tanto, normalmente no interfieren entre sí. En cambio, con los sistemas de TDD, se debe tener cuidado de mantener el espacio entre bandas vecinas para sincronizar las estaciones para que se pueda transmitir y recibir al mismo tiempo.

✂ MULTIPLEXIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIAS ORTOGONALES

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing/ Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonales) es una técnica de transmisión multiportadora que ha sido recientemente reconocida como un excelente método para comunicaciones de datos inalámbricos bidireccionales de alta velocidad. Tiene sus orígenes en los años sesentas, pero recientemente se ha vuelto popular debido a sus bajos costos de implementación en los circuitos integrados que pueden mejorar el desempeño y que se han vuelto aprovechables.

OFDM comprime de forma efectiva las múltiples portadoras moduladas de forma que se encuentren muy próximas una de la otra, esto reduce el ancho de banda requerido pero mantiene las señales moduladas ortogonales de forma que éstas no interfieran unas con otras. Hoy en día esta tecnología es usada en muchos sistemas como en ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line/ Línea de Abonado Digital Asimétrica) así como los sistemas inalámbricos como los basados en los estándares IEEE 802.11a/g (Wi-Fi) y IEEE 802.16 (WiMAX).

Esta tecnología está basada en la FDM (Frequency Division Multiplexing), la cual es una tecnología que usa múltiples frecuencias para la transmisión simultánea de múltiples señales en paralelo. Cada señal tiene su propio rango de frecuencia, esta división genera subportadoras las cuales son moduladas y cada subportadora está separada por una banda de guarda para asegurar que éstas no se traslapen. (Figura E.11)

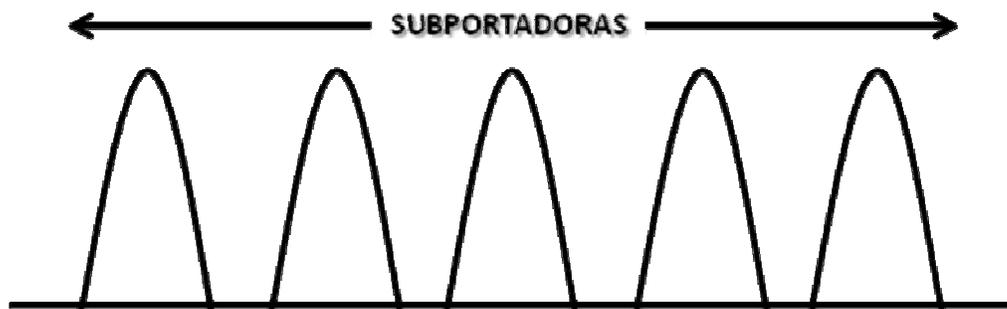


Figura E.11 FDM

Estas subportadoras son posteriormente demoduladas en el receptor usando filtros para separar las bandas.

OFDM es similar a FDM pero mucho más eficiente en el espectro espaciando los subcanales más cercanos unos de otros, que de hecho se encuentran traslapados. Esto se logra encontrando frecuencias que son ortogonales, lo cual significa que están perpendiculares en un sentido matemático, permitiendo que el espectro de cada subcanal se traspale con otro sin interferir con este. (Figura E.12)

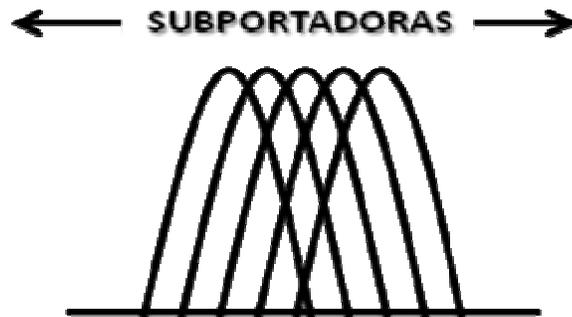


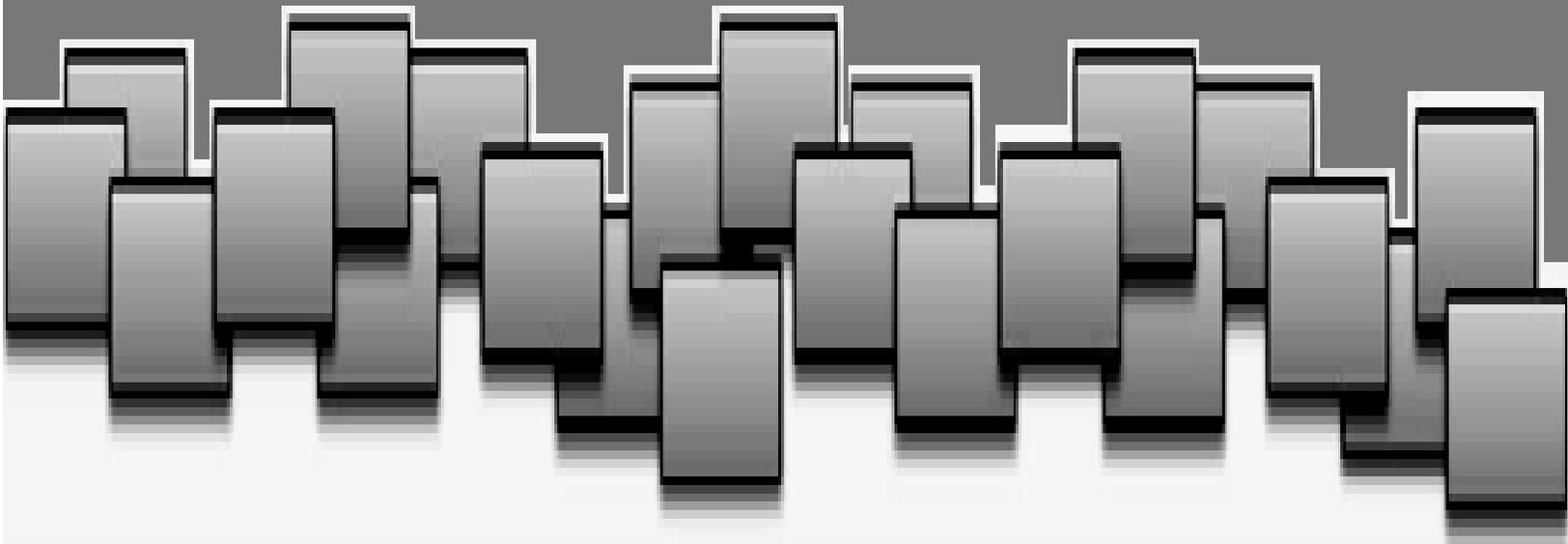
Figura E.12 OFDM

En OFDM se puede ver como los requerimientos de ancho de banda se reducen al omitir las bandas de guarda y permitiendo que las señales se traslapen.

Otra de las ventajas de OFDM es su capacidad de adaptación a multitrayecto, que es el efecto de múltiples señales reflejadas chocando contra el receptor.

OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia y frente a las interferencias de RF. Esto hace OFDM ideal para manejar las duras condiciones del entorno móvil inalámbrico.

La alta eficiencia espectral de OFDM y su resistencia a múltitrayectos lo convierten en una tecnología muy adecuada para satisfacer las demandas de tráfico de datos inalámbricos. Esto ha hecho que sea ideal no sólo para las nuevas tecnologías como WiMAX y Wi-Fi, sino también para una de las principales tecnologías que se están considerando para su uso en el futuro de cuarta generación, 4G, de las redes.



APÉNDICE F

SITUACIÓN ACTUAL WiMAX EN MÉXICO

Algunos artículos muestran la situación actual de la tecnología WiMAX en México.

EL UNIVERSAL, OCTUBRE DEL 2007.

Las redes WiMAX son una realidad en Estados Unidos. WiMAX fue recientemente incorporada al conjunto de normas IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, donde está la red 3G, lo cual significa que WiMAX podrá llegar a más gente a un costo más bajo y agregar otros servicios, como el de telefonía IP.

Impulsada por firmas como Intel, que entre sus planes se encuentra integrar el chip de recepción WiMAX/Si-Fi a sus procesadores a partir de finales de

2008, mientras tanto, podrán adquirirse dispositivos por separado que se conectan vía USB, y con el apoyo de Motorola y Samsung, entre otros, WiMAX promete ser la gran revolución inalámbrica.

En México, los planes al respecto dependen principalmente del uso y las concesiones de banda que otorgue el gobierno, ya que WiMAX trabaja a 3.5 GHz. Para el ingeniero Reynaldo González Bustamante, director general de Ingeniería y Administración del Espectro de la Comisión Federal de



Telecomunicaciones COFETEL, quien recientemente participó en el evento WiMAX World, el punto esencial es definir los parámetros y usos de este espacio, acorde con las regulaciones existentes.

Según la Ley Federal de Telecomunicaciones, la asignación de una señal para uso comercial o privado debe obtenerse mediante subasta. En 1998 tres empresas (Axtel, Telmex y Unefon) adquirieron derechos sobre la mayor parte de la señal que anda entre los 3.4 a los 3.6 GHz, el rango óptimo para WiMAX (Unefon vendió posteriormente su parte a Nextel, y el

gobierno de México podría ampliar el rango a 3.7 GHz).

Esto deja poco espacio en este segmento, ya que sólo quedarían libres algunos espectros que van de los 2 mil 400 a 2 mil 483 MHz y de 5150 al 5350 MHz, no idóneos para esta red inalámbrica. La banda de 2.3 GHz es usada por el gobierno, mientras que los 2.5 GHz están asignados a la televisión de pago por evento. Lo que sí es un hecho es que en México quedan muchos aspectos en materia de regulación para que las redes WiMAX sean una realidad.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, OCTUBRE DEL 2007

PROGRAMA SOBRE BANDAS DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA USOS DETERMINADOS QUE PODRÁN SER MATERIA DE LICITACIÓN PÚBLICA

PRIMERO: Se aprueba el Programa sobre bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para usos determinados propuesto por la Comisión, para los segmentos libres de las bandas de frecuencias a que se refiere el mismo, de conformidad con lo establecido en los siguientes numerales.

SEGUNDO: Para los efectos de este Programa se entenderá por acceso inalámbrico; el enlace radioeléctrico bidireccional para la prestación de

cualquier servicio de telecomunicaciones terrestre, salvo radiodifusión, conforme al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias y podrá ser fijo, móvil o, en ambas modalidades.

TERCERO: La cobertura geográfica para los efectos de este Programa podrá ser por:

- a) **Región.** Conforme a las nueve regiones que se definieron en las bases de la licitación número 3

para la banda 1850-1910/1930-1990 MHz, y

b) Área Básica de Servicio (ABS):

Conforme a las 65 áreas que se definieron en las bases de las licitaciones 15, 16 y 17 para la banda 806-821 MHz y 851-866 MHz.

c) Área de Servicio. La cual está formada por un municipio o delegación.

CUARTO: Los bloques de frecuencias, modalidades de uso y coberturas geográficas para la banda de frecuencias 1850-1910/1930-1990 MHz, se sujetarán a lo siguiente:

BANDA DE FRECUENCIAS	BLOQUES DE FRECUENCIAS	MODALIDADES DE USO	COBERTURA
1850-1910/ 1930-1990 MHz	Bloque C-1. Bandas de frecuencias de 1895-1900/1975-1980 MHz. Bloque C-2. Bandas de frecuencias de 1900-1905/1980-1985 MHz. Bloque C-3. Bandas de frecuencias de 1905-1910/1985-1990 MHz.	Acceso inalámbrico	Regiones 1 y 4
1850-1910/ 1930-1990 MHz	Bloque E. Bandas de frecuencias de 1885-1890/1965-1970 MHz. Bloque C-1. Bandas de frecuencias de 1895-1900/1975-1980 MHz. Bloque C-2. Bandas de frecuencias de 1900-1905/1980-1985 MHz.	Acceso inalámbrico	Regiones 2, 6 y 9
1850-1910/ 1930-1990 MHz	Bloque B-1. Bandas de frecuencias de 1870-1875/1950-1955 MHz. Bloque B-2. Bandas de frecuencias de 1875-1880/1955-1960 MHz. Bloque B-3. Bandas de frecuencias de 1880-1885/1960-1965 MHz.	Acceso inalámbrico	Regiones 3, 5 y 7

QUINTO: Los bloques de frecuencias, modalidades de uso y coberturas geográficas para la banda de

frecuencias 3400-3700 MHz, se sujetarán a lo siguiente:

BANDA DE FRECUENCIAS	BLOQUES DE FRECUENCIAS	MODALIDADES DE USO	COBERTURA GEOGRÁFICA
3400-3700 MHz	Bloque A. Bandas de frecuencias de 3400-3425 MHz. Bloque E. Bandas de frecuencias de 3500-3525 MHz.	Acceso inalámbrico	Regiones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9
3400-3700 MHz	Bloque I-J. Bandas de frecuencias de 3600-3650 MHz. Bloque K-L. Bandas de frecuencias de 3650-3700 MHz.	Acceso inalámbrico	Áreas de Servicio

SEXTO: Las modalidades de uso y coberturas geográficas para la banda de frecuencias de 1710-1770/2110-2170 MHz, se sujetarán a lo siguiente:

BANDA DE FRECUENCIAS	BLOQUES DE FRECUENCIAS	MODALIDADES DE USO	COBERTURA GEOGRÁFICA
1710-1770/2110-2170 MHz	Bloque A. Bandas de frecuencias de 1710-1720/2110-2120 MHz. Bloque B1. Bandas de frecuencias de 1720-1725/2120-2125 MHz. Bloque B2. Bandas de frecuencias de 1725-1730/2125-2130 MHz.	Acceso inalámbrico	Áreas Básicas de Servicio
1710-1770/2110-2170 MHz	Bloque C. Bandas de frecuencias de 1730-1735/2130-2135 MHz. Bloque D. Bandas de frecuencias de 1735-1740/2135-2140 MHz. Bloque E. Bandas de frecuencias de 1740-1745/2140-2145 MHz. Bloque F. Bandas de frecuencias de 1745-1755/2145-2155 MHz.	Acceso inalámbrico	Regiones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9

SÉPTIMO: Las modalidades de uso y coberturas geográficas para la banda de frecuencias de 71-76/81-86 GHz, se sujetarán a lo siguiente:

BANDA DE FRECUENCIAS	BLOQUES DE FRECUENCIAS	MODALIDADES DE USO	COBERTURA GEOGRÁFICA
71-76/81-86 GHz	Un solo bloque en la banda de frecuencias 71-76/81-86 GHz.	Acceso inalámbrico fijo	Áreas Básicas de Servicio

Para el caso de la banda 71-76/81-86 GHz su uso será de acceso inalámbrico de servicio fijo, para favorecer la reutilización del espectro en la cobertura. El concesionario será un proveedor de capacidad para otros concesionarios en condiciones no discriminatorias, conforme se especifique en las bases de licitación respectivas.

OCTAVO: En términos de lo establecido en el artículo 16 de la Ley Federal de Telecomunicaciones, la Comisión publicará las convocatorias para que cualquier interesado obtenga las bases de licitación pública correspondientes a las bandas señaladas en el presente Programa.

Se recomienda a la Comisión publicar las convocatorias correspondientes en

el orden secuencial del presente Programa en plazos que no excedan de 90 días naturales para las bandas de frecuencias a que se refiere el numeral cuarto; 180 días naturales para el quinto, y 270 días naturales para el sexto y séptimo, todos contados a partir del día de la publicación del presente Programa en el Diario Oficial de la Federación.

NOVENO: Este Programa podrá ser modificado o adicionado por la Secretaría mediante la publicación correspondiente en el Diario Oficial de la Federación.

Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los doce días del mes de octubre de dos mil siete.- El Subsecretario de Comunicaciones, **Rafael Noel del Villar Alrich**.- Rúbrica.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, DICIEMBRE DEL 2007

COMUNICADO DE PRENSA No. 134.- PUBLICA LA SCT PROGRAMA DE LICITACIÓN DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

La SCT estableció cuatro bandas de frecuencias para servicios de

telecomunicaciones que se licitarán en forma secuencial durante el 2008 con

el fin de contar en el país con mayor capacidad de transmisión para ofrecer más y mejores servicios a los usuarios principalmente de telefonía celular, de acceso a Internet y de acceso a banda ancha, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes publicó hoy en el Diario Oficial de la Federación el Programa para la licitación de frecuencias del espectro radioeléctrico.

Ello permitirá el uso de tecnologías más avanzadas e impulsará la competencia en el sector, en beneficio de los usuarios, para que cuenten con servicios a precios más asequibles así como el acceso a los servicios de telecomunicaciones más avanzados en el mundo.

De igual forma, uno de los principales objetivos que se persigue con este programa es incrementar la cobertura de los servicios de comunicaciones tal que aquellas personas que aún no tienen acceso a estos servicios, pueden tenerlo.

La COFETEL llevará a cabo las licitaciones de estas bandas, la SCT proyecta que dichas licitaciones se lleven a cabo en plazos que no excedan de 90, 180 y 270 días a partir del día de hoy.

El Programa incluye licitaciones en cada una de las cuatro bandas que se describen a continuación:

✘ **1.9 GHz.** Esta banda conocida por sus siglas en inglés como PCS (servicios personales de comunicación) es útil para su aplicación inmediata en telefonía celular y servicios de acceso a Internet con tecnología de tercera generación. Esta es la primera banda que se proyecta para ser licitada antes de 90 días, ya que parte de esta banda es utilizada actualmente por los operadores existentes de telefonía celular, por lo que su posible utilización permite la incorporación de nuevas tecnologías y la reducción de costos de operación, lo anterior sin perjuicio de que pueda incorporarse un nuevo operador en este mercado. Estarán disponibles tres bloques de 10MHz en 8 de las 9 regiones del país.

✘ **3.4 – 3.7 GHz.** La banda se identifica comúnmente por una de las tecnologías que se pueden utilizar en ella, WiMAX. En estas frecuencias se podrán ofrecer servicios de banda ancha, que tienen la capacidad para impulsar el acceso a servicios de Internet de alta velocidad, así como servicios de telefonía. Se harán disponibles en todo el país dos bloques de 25 MHz

con cobertura por regiones y dos bloques de 50 MHz con cobertura por municipio. Con esta medida, se busca impulsar la inversión en todos los municipios del país. La SCT recomienda que las convocatorias para la licitación se lleven a cabo a más tardar dentro de los siguientes 180 días a partir de la publicación del Programa.

✂ **1.7 – 2.1 GHz.** Se trata de una nueva banda de frecuencias para servicios de banda ancha móvil. Cuenta con el potencial necesario para que ingrese al menos un nuevo competidor a los servicios móviles. Se harán disponibles dos bloques de 20 MHz y cinco bloques de 10 MHz en coberturas regionales y de áreas de servicio local en todo el país. La licitación de esta banda de frecuencias, recomienda la SCT, debe desarrollarse dentro de los próximos 270 días.

✂ **71 – 76 / 81 – 86 GHz.** Esta banda tiene frecuencias muy altas, lo que limita su alcance y la hace una banda ideal para enlaces de gran capacidad y corta distancia. En virtud de los 10 mil MHz de que se dispone en esta banda, es de

utilidad para el transporte de un gran volumen de señales a alta velocidad y se le conoce como fibra inalámbrica, Wifiber. Se pondrá a disposición un bloque de 10 mil MHz en cada área de servicio básico en todo el país. La SCT recomienda que la licitación se concrete dentro de los próximos 270 días.

La licitación de estas frecuencias se enmarca dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 en el que se establece como uno de los objetivos garantizar el acceso y ampliar la infraestructura y servicios de comunicaciones a través de incrementar la competencia entre concesionarios para aumentar la cobertura de los servicios y contribuir a que las tarifas permitan el acceso a un mayor número de usuarios.

Con estas frecuencias damos pasos decididos para cumplir con las metas del Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012, para que contemos con 78 líneas móviles por cada cien habitantes, 70 millones de mexicanos tengan acceso a Internet y logremos una cobertura de banda ancha del 22 por ciento de la población.

EL FINANCIERO, ENERO DEL 2008

Una mayor apertura en el uso de frecuencias libres del espectro radioeléctrico es una tarea pendiente que tienen las autoridades regulatorias en el sector de las telecomunicaciones para 2008, afirmó la ex comisionada de la COFETEL, Clara Luz Álvarez.

La especialista explicó que el uso libre de frecuencias para lograr conexiones inalámbricas de alta velocidad a Internet disminuye el costo de los servicios y en consecuencia impulsa el número de usuarios de tecnología de este tipo. Al no requerir ningún tipo de concesión, permiso o registro, estos espacios pueden ser usados por universidades, gobiernos locales e incluso parques industriales de forma gratuita, toda vez que no necesitan contratar a ningún proveedor de redes, indicó.

Sin embargo, la especialista de la COFETEL Comisión Federal de Telecomunicaciones advirtió que las autoridades deben analizar la asignación de frecuencias libres para evitar que exista una saturación de señales o inseguridad por los datos que cruzan por las mismas. La especialista expuso que aunque el sector de las telecomunicaciones tuvo "un buen año" en términos de regulación rumbo a la convergencia

tecnológica y de servicios, "es necesario que en 2008 "haya más actividad en cuanto a qué bandas de frecuencias pueden estar disponibles para declararlas de uso libre".

Recordó que en 2006 fueron liberadas las bandas 5.7 y 5.8 GHz, lo que significó un impulso a la penetración de servicios con tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Planteó que para alcanzar el objetivo de cerrar la brecha tecnológica en el país se requiere abrir el espectro radioeléctrico y que tanto la COFETEL como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) analicen de forma coordinada la mejor distribución de frecuencias.

Por otra parte, Clara Luz Álvarez consideró positivo el desempeño de las autoridades regulatorias del sector en 2007, cuando se dieron avances importantes para incentivar la competencia en segmentos como el de la telefonía.

"La labor de la COFETEL en cuanto a portabilidad numérica, interconexión y licitación de frecuencias es un tema que debe reconocerse por su trascendencia, pero aún hay áreas de oportunidad que deben analizarse como el impulso a la tecnología

WiMAX", anotó. La especialista en temas de telecomunicaciones confió que en 2008 surja una nueva Ley de Medios "satisfactoria, una ley convergente que busque regular infraestructura por una parte, y separar el tema de contenidos, que establezca que las telecomunicaciones deben ser accesibles". La Ley de

Medios que necesita el sector debe dotar instituciones fuertes, "actores como la COFETEL deben poder sancionar cuando sea necesario, ya que por ahora sólo opina, y la SCT lleva el procedimiento de sanción y eso provoca un sistema sancionatorio inefectivo", concluyó. (Con información de Notimex/SCL).

EL UNIVERSAL, ENERO DEL 2008

Este año entrará a México la tecnología WiMAX, sin embargo, los especialistas advierten que tomará un buen tiempo que estos servicios lleguen al mercado masivo.

Axtel introducirá sus servicios WiMAX en los siguientes meses. En tanto, se espera que sea hacia el segundo trimestre cuando el gobierno federal licite las frecuencias para esta tecnología. Hasta el momento Axtel, Nextel y Telmex ya cuentan con espectro radioeléctrico para el desarrollo de la tecnología WiMAX.

José Otero, presidente de Signals Telecomm Consulting, señaló que en América Latina los lanzamientos de WiMAX han sido dirigidos primordialmente a capturar clientes empresariales con mayor énfasis en las pequeñas y medianas empresas. El único operador WiMAX que ha

lanzado servicios dirigidos al sector masivo es Orbitel, la filial de la empresa colombiana UNE Telecomunicaciones, y que al tercer trimestre de 2007 no había logrado cumplir ni con 30% de las líneas activas proyectadas o con 15% de los ingresos estimados desde su lanzamiento, señaló.

Destacó que en comparación a otras tecnologías inalámbricas comercialmente disponibles en el mercado actualmente, WiMAX no le concede ningún nuevo beneficio al usuario más allá de ser una alternativa adicional para poder tener acceso a banda ancha. "Para realmente ofrecer beneficios al mercado masivo, WiMAX tiene que desarrollar economías de escala que permitan ofrecer terminales y otros dispositivos a precios accesibles", sostuvo.

Dijo que con WiMAX el usuario final tendría servicios equivalentes a los que se ofrecen con las tecnologías de

Tercera Generación (3G) en la telefonía celular, como internet de alta velocidad y multimedia, entre otros.

INFOBAE, SEPTIEMBRE DEL 2007

Al no poder participar en México en licitaciones para este tipo de tecnologías, el empresario Carlos Slim comenzó a buscar oportunidades en la región.

“No se nos debe frenar en las licitaciones para WiMAX”, exigió Carlos Slim en marzo respecto de esa tecnología de comunicaciones. Pero el presidente de la Comisión Nacional de Competencia, Eduardo Pérez Motta, respondió que el organismo mantendría su postura de no permitir que Telmex participe en esas licitaciones.

Ante ese escenario, Telmex comenzó a mirar al sur del continente, pues la regulación le ha permitido presentar, en Chile y Argentina, plataformas comerciales de comunicaciones con WiMAX, dejando el mercado en México, por lo pronto, para sus rivales.

Telmex adquirió Chilesat en 2004, la quebrada empresa de telecomunicaciones rescatada por Southern Cross. La mexicana recibió de Chilesat la base del negocio de servicios de telecomunicaciones

corporativos y que, a partir de este año, incluye servicios de WiMAX.

La firma de Slim ganó una de las licencias licitadas por el gobierno chileno para proveer el servicio en todo el país. En Chile tiene un especial potencial en el segmento corporativo, dado el peso de empresas con operaciones en zonas remotas, como mineras y viñedos.

Las operaciones en Sudamérica, donde Telmex factura más de la cuarta parte de sus ingresos totales, le vienen como anillo al dedo. Las regulaciones, la penetración de Internet y los crecientes mercados le permiten probar distintos modelos de negocios y experimentar con nuevas tecnologías que, en su momento, podría adaptar en México. El sur del continente no sólo aporta usuarios y fondos a Telmex: es un laboratorio para ganar competitividad global.

En el caso del triple play –telefonía, internet y cable–, el modelo está en pleno desarrollo. La barrera ya no es tecnológica sino de infraestructura, regulación y alianzas entre

operadores. La chilena VTR fue de las primeras en desplegar el servicio, a fines de los 90. En el resto de América Latina, el negocio comenzó a tomar cuerpo en 2006.

Esto incluye a Telmex. En Brasil, es socia, a través de Embratel, de Net Servicios, el mayor proveedor de cable del país, controlado por el gigante Globo. Net anunció inversiones por casi 300 millones de dólares (mdd) este año para ampliar y mejorar su red y poder ofrecer triple play en las 43 ciudades donde opera. A la fecha, lo ofrece en 15 ciudades en Brasil, contra cero en México.

Sin cables, sin fuerza

Con WiMAX, en cambio, el despliegue de infraestructura va más lento. Colombia es el país donde más se ha avanzado. En diciembre de 2005, el gobierno otorgó tres licencias nacionales y, un año después, 55 licencias locales para ofrecer WiMAX. Telmex no obtuvo ninguna licencia en la subasta, pero los analistas creen que intentará adquirir alguna de las operadoras locales.

En Chile, en cambio, Telmex tiene planes ambiciosos. La empresa firmó un contrato con Alcatel-Lucent a principios de 2007 para instalar una red nacional de WiMAX. Aunque todavía no hay claridad con respecto al

ancho de banda que ofrecerá y a qué precio, Telmex anunció que, para fines de año, cubrirá más de 90% del territorio chileno. La inversión inicial es de 15 mdd.

En Brasil, Embratel es, por ahora, la única compañía con una licencia nacional para ofrecer WiMAX. Sin embargo, la empresa apenas prueba el servicio. Además, Anatel, el regulador de telecomunicaciones en Brasil, ha postergado una licitación de frecuencias para WiMAX, subasta que finalmente se habrá resuelto a fines de julio.

La avanzada WiMAX de Telmex es más fuerte en Argentina, donde el año pasado, por 22.5 mdd compró Ertach, un pequeño proveedor de Internet que opera una de las dos redes WiMAX existentes en el país. En la provincia de Buenos Aires, Ertach une a 100 municipios con una red y el potencial es enorme, con clientes eventuales en gobierno, escuelas y hospitales.

Según los analistas, Telmex, como operador en América Latina, se ha dedicado a proveer este servicio para poder luchar contra las firmas dominantes. “En los países donde Telmex no tiene tanta penetración ha incursionado con esta nueva tecnología”, comenta Elia San Miguel, analista de Gartner Inc.

Wimex

En México, por lo pronto, Axtel 'le salió respondón' a Telmex. El segundo operador de telefonía fija del país, con casi 1 millón de usuarios, es la única empresa con una licencia en la frecuencia de 3.4 GHz, en la que puede desplegar WiMAX. En su más reciente conferencia con inversionistas, Axtel dijo que tiene a más de 50,000 usuarios en pre-WiMAX; es decir, usando servicios con tecnología lista para cuando esa plataforma se licite. Además, Francisco Gil Díaz, presidente de Telefónica México, dijo a Expansión que desplegará redes WiMAX para dar telefonía fija.

Axtel también quiere competir contra Telmex en servicios de internet de banda ancha con WiMAX. A finales de 2007 ofrecerá este estándar de transmisión inalámbrica de datos en la ciudad de Monterrey.

Telmex no ha anunciado oficialmente planes para ofrecer este servicio a sus usuarios mexicanos. ¿Por qué? "En México, Telmex tiene toda la línea de Prodigy y acceso a DSL (con alambre de cobre), por lo que WiMAX competiría contra su propia fuerza (...). Por eso es que han retardado sus inversiones en WiMAX dentro de México", explica Juan Ignacio

Fernández, vicepresidente de Análisis de Gartner.

Además de que las licitaciones no están listas, hay otras razones por las cuales México aplaza su entrada a WiMAX. Los operadores deben analizar no sólo si quieren competir contra Telmex, sino si el mercado vale la pena. Hay 7.4 millones de PC conectadas a internet, 59% del total instaladas en el país, apunta la Asociación Mexicana de Internet. Y la banda ancha apenas está avanzando, con un crecimiento de 47% de 2005 a 2006.

"La bolita de nieve que se requería crear para la adopción de una tecnología tan atractiva como WiMAX ya está rodando", explica Pedro Cerecer, gerente de Telecomunicaciones de Intel México. "La tecnología está lista, la regulación está lista, hay áreas de oportunidad, pero están las bases suficientes para empezar con los servicios de WiMAX. Tecnológicamente, ya es factible hacer la implementación del servicio", asegura.

Nuevos competidores para Carlos Slim entrarán a la competencia y "en el momento que vea la necesidad de extenderse a otro tipo de tecnología nueva para competir (es decir, cuando los rivales ofrezcan servicios vía WiMAX), entonces Telmex competirá

con servicios basados en las frecuencias que ya tiene”, dice Fernández.

Telmex está consciente de ello al afirmar que sí utilizará WiMAX en México como una alternativa tecnológica para su servicio de banda ancha Prodigy y para poder llegar a zonas que no ha podido sumar a su cobertura.

“Es una tecnología que estaremos empleando en el futuro próximo”, confirma Marco Antonio Galván, responsable de la Coordinación de Innovación y Estrategia de la empresa, quien agrega que tienen un compromiso de inversión y que Telmex “siempre ha sido de los competidores que tienen un activo (...) y sí le invierten”.

EL UNIVERSAL, ENERO DEL 2008

Competidores no tradicionales, como las redes de tercera generación (3G) y WiMAX, entrarán en 2008 al mercado de los servicios de banda ancha, mercado que será uno de los de mayor crecimiento dentro de la región de América Latina, de acuerdo con la consultora Signals Telecomm Consulting.

José Otero, presidente de la firma de análisis e investigación, dijo que ya no serán solamente las telefónicas o las cableras las que ofrecerán este acceso a Internet de alta velocidad. Sin embargo, acotó el directivo, tal como lo han demostrado algunos operadores de redes de tercera generación (3G) como Iusacell, Personal de Argentina y Entel PCS de Chile, estos servicios se enfocarán al

segmento corporativo o de alto consumo.

“Signals estima que las nuevas redes WiMAX adoptarán una estrategia similar, como está ocurriendo con Movilmax en Venezuela o Tigo en Paraguay, para evitar los problemas mostrados por el lanzamiento de WiMAX de Orbitel, que mostró un insignificante crecimiento de suscriptores en Colombia, pues no obtuvo siquiera 30% de los usuarios proyectados para 2007”, indicó.

Otro de los servicios en los que se registrará una mayor competencia y se sumarán nuevos suscriptores es la televisión de paga, dijo Otero. En este segmento, se prevé que en el mediano plazo el mercado esté dominado por las tecnologías satelitales y de cable,

pero el IPTV (Televisión sobre Protocolo de Internet) ya está disponible en países como Chile.

Ante esto, empresas como Telefónica mantendrán su agresiva estrategia de precios para servicios de televisión satelital y destaca el surgimiento de Telmex TV como proveedor panregional de este tipo de servicios.

En este sentido, Telmex TV podría usar capacidad de los satélites StarOne C1 y

C2 de Embratel, empresa en la que tiene el control.

El analista subrayó la tendencia de la consolidación en el mercado de la televisión de paga y banda ancha, pues los operadores desean incursionar en el triple play (telefonía, acceso a internet y tv de paga en un solo paquete). Muestra de esto es la adquisición de Bestel, Cablemás y Televisión Internacional por parte de Televisa en México.

EL UNIVERSAL, ENERO DEL 2008

Cablevisión y Telmex ya realizan pruebas, por separado, para ofrecer el servicio de Internet inalámbrico con cobertura de ciudad, en algunas colonias del DF, con el cual los usuarios pueden navegar por la red en la calle y sitios públicos (restaurantes y hoteles) desde sus computadoras portátiles u otro dispositivo con acceso. La empresa filial de Grupo Televisa arrancó su programa piloto en la colonia Polanco con la tecnología Metro Wi-Fi, y Telmex lo hace en las Lomas, con tecnología WiMAX.

Jean Paul Broc Haro, director general de Cablevisión, dijo que desde diciembre del año pasado la empresa arrancó estas pruebas, que abarcan desde la zona hotelera (Reforma)

hasta Ejército Nacional (a la altura de Periférico).

El servicio es gratuito y funciona con la tecnología Metro Wi-Fi a través de antenas que se colocan en ciertos puntos para ofrecer la cobertura.

“No lo estamos haciendo a nivel comercial; apenas son pruebas técnicas de densidad, de ocupación de clientes, de horas pico, para darnos una idea del consumo y volumen que requerimos para ponerlo en toda la ciudad”, sostuvo.

El directivo explicó que hacia marzo de este año se podrán tener los resultados de esta prueba, y con base en éstos, la empresa determinará si

expande el servicio al resto de la ciudad.

Broc Haro comentó que para cubrir la zona metropolitana Cablevisión requiere instalar aproximadamente 400 antenas, y cada una de éstas implica una inversión de aproximadamente 3 mil dólares.

Dijo que aunque la intención de la empresa es desplegar una red WiMAX, debido a que son las redes más seguras, con este proyecto se está midiendo qué tantas ventajas tiene Metro Wi-Fi frente a la otra tecnología.

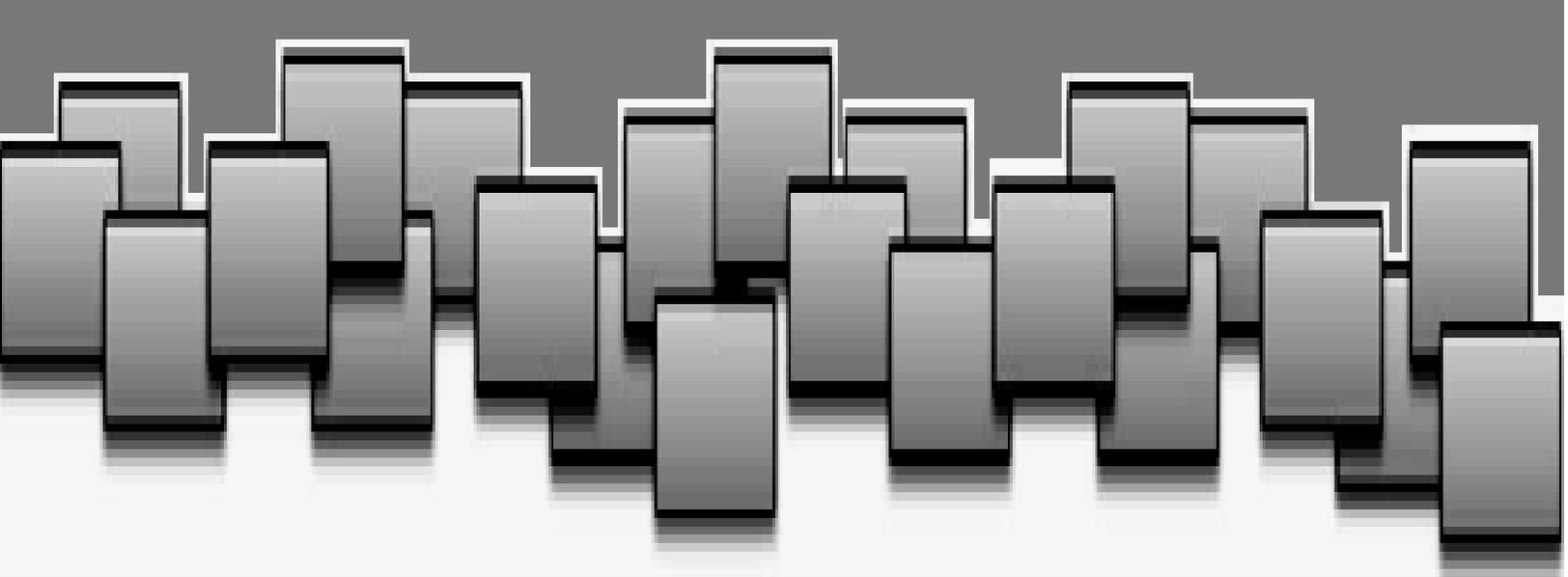
En breve, Cablevisión distribuirá folletos informativos en los restaurantes y hoteles de Polanco para alentar a la gente a usar el servicio.

No suben tarifas. Por otra parte, Broc Haro aclaró que por el momento Cablevisión no tiene planeado un aumento en las tarifas de sus servicios de televisión de paga. Explicó que, de hacerlo, esta decisión se tomaría en enero e implicaría un incremento de cinco a siete pesos.

Consultado sobre la meta de instalación de líneas telefónicas en el año, Broc Haro dijo que el objetivo es llegar a más de 40 mil clientes.

En 2007, la empresa cerró con aproximadamente 9 mil clientes del servicio telefónico, por lo que luego de los convenios de interconexión con Telmex el servicio podrá expandirse.

El directivo mencionó que es posible que para septiembre próximo exista cobertura telefónica en toda la ciudad de México y área metropolitana.



REFERENCIAS

CAPÍTULO 1

- Apuntes de Redes de Computadoras. (2000). Recuperado 2007.
(<http://tele.ti.uach.mx/~siredgar/ApuntesRedes/apuntes.html>)
- Clasificación de las Redes. (1998-1999). Recuperado 2007.
(<http://www.geocities.com/TimesSquare/Chasm/7990/clasific.htm>)
- Introducción a las redes de computadoras. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.fing.edu.uy/inco/cursos/redescomp/index.php>)
- Wikipedia. (2006). Recuperado 2007. (<http://es.wikipedia.org/wiki/MAN>)
- Tipos de Redes. (s.f.). Recuperación 2007. (<http://www.dei.uc.edu.py/tai2003-2/interredes/index.htm>)
- Fundamentos de una red de área local (2000). Recuperado 2007.
(<http://www.geocities.com/SiliconValley/8195/redes.html>)
- Redes WAN. (s.f.). Recuperado 2007. (<http://html.rincondelvago.com/redes-wan.html>)
- Redes de área local (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.geocities.com/Athens/Olympus/7428/red1.html>)

- Medios de transmisión. (2002). Recuperado 2007.
(<http://eveliux.com/mx/?option=content&task=view&id=21>)
- Textos científicos. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica>)
- Medios de transmisión. (1997). Recuperado 2007.
(<http://www.jegsworks.com/Lessons-sp/lesson7/lesson7-2.htm>)
- Medios de transmisión. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://personales.com/elsalvador/sansalvador/altainformacion/>)
- Medios de transmisión. (s.f.). Recuperado 2007. (http://es.geocities.com/yeiko_6/)
- Medios físicos y no físicos de transmisión. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://ciberhabitat.gob.mx/museo/cerquita/redes/medios/trenzado.htm>)
- Medios de transmisión. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>)
- Conceptos básicos de redes. (2005). Recuperado 2007.
(<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/redesbasicas/capitulo6.htm>)
- Modo de transmisión. (2002). Recuperado 2007.
(http://www.geocities.com/alejandro_alonso/pagina_nueva_3.htm#8)
- Elementos de redes. (2002). Recuperado 2007.
(<http://www.mundofree.com/juanpablo/xarxes/temas.html>)
- Redes de computadoras. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_computadoras)
- Elementos de una red. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://es.wikipedia.org/wiki/Repetidor>)
- Elementos de una red. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_red)
- Elementos de una red. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_red)
- Tecnología y productos de conmutación de redes. (1999). Recuperado 2007.
(http://www.consulintel.es/Html/Tutoriales/Articulos/tecn_conm.html)
- Redes. Equipo de red. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://www.consulintel.es/Html/Tutoriales/Articulos/tecn_conm.html)

- Protocolos de Internet. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Internet)
- Modelo OSI. Monografias. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.monografias.com/trabajos13/modosi/modosi.shtml#NIVEL>)
- Modelo OSI. (s.f.). Recuperado 2007. (http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI)
- Protocolos y capas. (s.f.). Recuperado 2007. (<http://mx.geocities.com/lemt78/>)
- Redes y protocolos. (2000). Recuperado 2007.
(<http://www.une.edu.ve/~iramirez/tesis/inicio.html#ProTCPIP>)

CAPÍTULO 2

- Estándares WLAN. (2002). Recuperado 2007.
(http://www.eveliux.com/mx/index.php?option=com_content&task=view&id=189)
- IEEE 802. (s.f.). Recuperado 2007. (http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802)
- IEEE 802.11. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#802.11_legacy)
- Introducción a redes inalámbricas. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.electrica.frba.utn.edu.ar/redesinal.htm>)
- Redes Inalambricas. (2004). Recuperado 2007.
(<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/wifi/capitulo1.htm>)
- Introducción a tecnología Wireless 802.11. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://www.e-advento.com/tecnologia/wlan_intro.php)
- Redes inalámbricas. Wi-Fi, el futuro de la comunicación. (2004).
Recuperado 2007.
(<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/wifi/capitulo11.htm>)
- Resumen de WLANs. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://mx.geocities.com/AdmonRedes/EquipoUnoTema2.htm>)
- Redes Wireless. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://www.microalcarria.com/descargas/documentos/Wireless/Presentacion_Redес_Inalambricas_802.11b.pdf)

- Capa de datos. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.arqhys.com/construccion/datos-capas.html>)
- Espectro ensanchado. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://es.wikipedia.org/wiki/DSSS>)
- Manuales Documentos redes. (2002). Recuperado 2007. (<http://www.todo-linux.com/tl.php?file=manual.todo-linux.com/redes.htm>)
- La Capa MAC. (). Recuperado 2007.
(http://www.bdat.net/seguridad_en_redes_inalambricas/c113.html)
- Jaime Cuéllar Ruiz (Agosto de 2004). Redes Inalámbricas.
Estándares y mecanismos de seguridad. Entérate [en línea], *Numero 31*,
Disponible en:
<http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2004/agosto/redes.htm> [2077]
[unam.mx/Articulos/2004/agosto/redes.htm](http://www.unam.mx/Articulos/2004/agosto/redes.htm)

CAPÍTULO 3

- Como entender WiMAX y Wi-Fi. (2007). Recuperado 2007.
(<http://www.slideshare.net/MAMOGU/como-entender-wimax-and-wifi/>)
- WiMAX, el futuro inalámbrico. (2004). Recuperado 2007.
(<http://barrapunto.com/articles/04/09/02/090259.shtml>)
- WiMAX: El nuevo acceso inalámbrico de Internet. (2005). Recuperado 2007.
(<http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=31>)
- WiMAX en el 2007. (2006). Recuperado 2007.
(<http://www.cinit.org.mx/noticia.php?idNoticia=101>)
- Introduction to WiMAX. (2006). Recuperado 2007.
(<http://www.slideshare.net/satishr/introduction-to-wimax/>)
- WiMAX. (s.f.). Recuperado 2007. (<http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>)
- LOS versus NLOS. (2005). Recuperado 2007.
(<http://www.conniq.com/WiMAX/nlos-los.htm>)

- Como surge WiMAX.* (Octubre 2007),[en línea]. Buenos Aires: INFO CITEL.
Disponible en
http://www.citel.oas.org/newsletter/2007/octubre/wimax_e.asp [2007]
- What WiMAX mean to the Enterprise. (s.f.). Recuperado 2007.
(<http://www.tmcnet.com/voip/0406/featurearticle-what-wimax-means-for-enterprise.htm>)
- WiMAX book overwie. (s.f.). Recuperado 2007.
(http://www.wimax.com/education/wimax/wimax_overview)
- WiMAX Trend. (2007). Recuperado 2007. (<http://www.wimaxtrends.com/>)
- IEEE. (s.f.). Recuperado 2007. (<http://www.ieee.org/portal/site>)
- Service Provided Solutions. (s.f.). Recuperado 2008.
(<http://www.motorola.com/content.jsp?globalObjectId=5873-9057>)

CAPÍTULO 4

- WiMAX Forum. (s.f.). Recuperado 2008. (<http://www.wimaxforum.org/home/>)
- WiMAX Technology. (s.f.). Recuperado 2008.
(<http://www.intel.com/technology/wimax/index.htm>)
- Soluciones WiMAX excentos de licencia. (2005) Recuperado 2008.
(http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf)
- Trabajo de WiMAX. (). Recuperado 2007.
(http://marcosd.files.wordpress.com/2007/10/wimax_marcos.pdf)
- WiMAX. (2005). Recuperado 2008.
(http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/WiMAX%20FINAL%20Spanish.pdf)

CAPÍTULO 5

- Glosario de Terminos. (s.f.). Recuperado 2008.
(<http://www.adslayuda.com/Generico-terminologia.html>)

Glosario Seguridad Informática y Redes Wireless. (s.f.). Recuperado 2008.
(<http://www.virusprot.com/Glosario.html>)

CAPÍTULO 6

Dimensionamiento y requisitos generales. (s.f.). Recuperado 2008.
(http://torio.unileon.es/~mediawiki/index.php/Dimensionamiento_y_requisitos_generales)

Dispositivos WiMAX de Motorola. (2008). Recuperado 2008.
(http://www.esemanal.com.mx/articulos.php?id_sec=2&id_art=6116)

wi4WiMAX. (s.f.). Recuperado 2008.
(<http://www.motorola.com/business/v/index.jsp?vgnextoid=f005fcddf8a17110VgnVCM1000008406b00aRCRD&vgnnextchannel=724be73820935110VgnVCM1000008406b00aRCRD>)

Tiempo de negocios. (2008). Recuperado 2008.
(<http://www.exonline.com.mx/diario/columna/108607>)

José Fabián Romo Zamudio (Abril del 2005). WiMAX. Lo inalámbrico a larga distancia. Entérate [en línea], *Año 4. Número 38*, Disponible en:
<http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2005/abril/wimax.htm> [2077]

Gestión dispositivos equipados con WiMAX. (2008). Recuperado 2008.
(<http://www.ebizlatam.com/news/118/ARTICLE/6115/2008-02-14.html>)

Vulnerabilidad de WiMAX. (2007). Recuperado 2008.
(<http://www.seguridad.unam.mx/noticias/?noti=2427>)

Seguridad en entornos inalámbricos. (2005). Recuperado 2008.
(http://www.borrmart.es/articulo_redseguridad.php?id=1087&numero=23)

Seguridad Redes Inalámbricas. (2006). Recuperado 2008.
(<http://www.hispasec.com/unaaldia/1486>)