



*Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo*

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

***Sistema de Distribución Local Multipunto
LMDS***

MONOGRAFÍA

Que para obtener el título de:

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presenta:

JUAN CARLOS VERA GARCÍA.

Asesora:

M. EN C. EVA JEANINE LEZAMA ESTRADA.

Pachuca de Soto, Hidalgo, Noviembre de 2005.

Agradecimientos

◇ El primero y el más amplio a Dios quien me dio la fortaleza y entendimiento para seguir adelante y poder llegar a cumplir una de mis meta.

◇ A mis padres: Quienes confiaron en mí, que con su cariño y sin escatimar esfuerzo alguno me han convertido en lo que soy. A quienes me han heredado el tesoro mas valioso que puede dársele a un hijo. Por las palabras de aliento escuchadas en momentos difíciles, por la vida misma... Gracias.

◇ A mis maestros: Por las enseñanzas recibidas a lo largo de mi carrera sin las cuales no seria lo que ahora soy y con lo cual he logrado uno de mis más grandes anhelos, con admiración y respeto para todos ellos... Gracias.

◇ A mi familia: Por su apoyo y consejo que he recibido durante este tiempo de estudiante y a lo largo de mi vida lo que me ha permitido poder llegar al término de un ciclo más de mi preparación.

◇ A mis amigos: Con quienes tuve la oportunidad de convivir, aprender y pasar momentos muy agradables, a todos ellos... Gracias.

Índice

Introducción

Justificación

Objetivo

Capítulo 1

Antecedentes históricos de la comunicación

1.1.- Sistema de Telecomunicaciones_____	1
1.2.- El emisor en el proceso de la comunicación_____	2
1.3.- Barreras de la comunicación_____	3
1.4.- Mensaje_____	3
1.5.- El receptor en el proceso de comunicación_____	4
1.6.- Canales de comunicación_____	5
1.7.- Principios de las comunicaciones eléctricas_____	6

Capítulo 2

Medios de transmisión

2.1.- Líneas de transmisión_____	11
2.2.- Cable coaxial_____	12
2.3.- Par trenzado_____	13
2.4.- Fibra óptica_____	15
2.5.- Guías de onda_____	21
2.6.- Microondas_____	24
2.7.- Láser_____	27
2.8.- Infrarrojo_____	30
2.9.- Comunicación satelital_____	33

Capítulo 3**Características de la transmisión en las telecomunicaciones**

3.1 Modos de transmisión	41
3.2 Métodos de acceso múltiple	43
3.3 Métodos de multiplexaje	48
3.4 Tipos de modulación	66
3.5 Tipos de transmisión	82

Capítulo 4**Digitalización y compresión en LMDS**

4.1 Digitalización	85
4.2 Compresión	88
4.3 Compresión de video en el estándar MPEG	91
4.4 Codificación MPEG de audio	98
4.5 Acceso de banda ancha	100

Capítulo 5**Tecnología de transmisión LMDS**

5.1 Antecedentes	110
5.2 Características	113
5.3 Ancho de banda y modulación	130
5.4 Arquitecturas o Topologías de LMDS	130

5.5 Diseño de celdas_____ 136

5.6 Servicios_____ 139

5.7 Calidad del servicio_____ 140

Conclusiones

Lista de tablas y figuras

Bibliografía

Introducción

En la actualidad el uso de las telecomunicaciones ha venido a facilitarnos la forma y medios por los que nos podemos comunicar ya que avanza muy rápidamente generándose nuevas y mejores tecnologías que cada vez más personas utilizan, e implementan en sus labores cotidianas ya sea en el trabajo, entretenimiento etc. Los cuales nos proporcionan un fácil acceso a la información (Internet), voz (telefonía), multimedia entre otros que dependiendo del medio de transmisión utilizado para transmitir serán la eficiencia y velocidad de respuesta obtenida.

Para establecer una buena comunicación se deberán considerar ciertos factores como son el emisor, el receptor y la retroalimentación. La comunicación por sistema de distribución local multipunto (LMDS) esta implementado como un sistema inalámbrico de banda ancha. Su importancia se debe principalmente a la facilidad de instalación y aplicaciones en comparación con otras tecnologías homologas inalámbricas, además que puede ser ampliada fácilmente y con un bajo nivel de riesgo debido a su arquitectura.

En el primer capítulo se da una reseña histórica de la evolución de las telecomunicaciones y los elementos que intervienen en una comunicación así como las funciones que desempeña cada uno de ellos.

En el capítulo 2 se define lo que es una línea de transmisión y los distintos medios de transmisión por los que se puede enviar la información como son el cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, guía ondas, microondas, láser, infrarrojo y por comunicación satelital.

El capítulo 3 trata lo referente a las características de transmisión, iniciando por el modo de transmisión ya sea en un solo sentido (simplex) o en ambos sentidos (full duplex).

Los métodos de acceso múltiple ya sea por división de tiempo (TDMA), frecuencia (FDMA) o código (CDMA); los modos de multiplexaje, tipos de modulación (en amplitud, frecuencia o fase), y las transmisiones sincrónica y asíncrona.

El capítulo 4 se refiere a la digitalización y compresión en MPEG, tanto para audio como video que es utilizada por LMDS; y a las técnicas de acceso a la red ya sea por medios físicos o inalámbricos.

Y el capítulo 5 (Tecnología de transmisión por LMDS) da una reseña histórica de este sistema y como ha evolucionado, la forma en la que se realiza la comunicación, su funcionamiento, sus principales elementos, la arquitectura o topología utilizada, equipamiento del usuario, los servicios y calidad del servicio.

Justificación

La idea de realizar esta monografía referente al sistema de distribución local multipunto (LMDS), es que sirva como un instrumento de consulta en el cual puedan conocer lo que es un sistema de comunicación y quienes intervienen, los medios por medio de los cuales se puede enviar información tanto de forma cableada como inalámbrica. Mostrar los modos de transmisión, de multiplexaje y métodos de acceso múltiple. Las formas en que se puede modular la información y las técnicas de digitalización y compresión en MPEG para audio y video que utiliza LMDS.

La elección del tema se dio debido a conocimientos teóricos adquiridos en las materias de Líneas de Transmisión, Antenas, Sistemas de Telecomunicaciones, Telefonía, Protocolos de comunicaciones, Redes de computadoras entre otras, y siendo LMDS un sistema inalámbrico de banda ancha e innovador que ofrece servicios tanto de datos (Internet), voz (telefonía), multimedia y entretenimiento a grandes velocidades tanto para transmisión como para recepción, el cual al implementarlo en el hogar o en las empresas agilizará los tiempos de respuesta para la obtención y envío de información.

Objetivo

Este trabajo pretende difundir lo que es un sistema de comunicación y sus elementos. Explicar cada uno de los diferentes medios de transmisión tanto cableados como inalámbricos: cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, guía ondas, microondas, láser, infrarrojo, satélite. Mostrar los distintos modos de transmisión, multiplexaje y tipos de modulación. Como funciona la digitalización y la compresión tanto de audio como video en el formato MPEG el cual es utilizado por LMDS. Comparar y ver como es que LMDS a evolucionado, conocer su funcionamiento, sus elementos, arquitecturas, equipamiento, servicios y sobre todo las ventajas que ofrece LMDS en relación con tecnologías homologas.

Para que la persona que consulte este trabajo al término de la revisión tenga una idea clara y precisa de lo que es un medio de transmisión, como es que se hace la digitalización o compresión en MPEG, y como es que funciona LMDS como una tecnología inalámbrica de punta e innovador respecto a otras tecnologías.

Capítulo 1

Antecedentes históricos de la comunicación

- 1.1.- Sistema de Telecomunicaciones.
- 1.2.- El emisor en el proceso de la comunicación
- 1.3.- Barreras de la comunicación.
- 1.4.- Mensaje.
- 1.5.- El receptor en el proceso de comunicación.
- 1.6.- Canales de comunicación.
- 1.7.- Principios de las comunicaciones eléctricas.

En este capítulo se analizará lo que es un sistema de comunicaciones, los elementos que intervienen y sus funciones así como la evolución y avances que originaron el desarrollo de lo que hoy conocemos como medios de comunicación.

1.1 Sistema de telecomunicaciones.

Se denomina telecomunicación a la técnica de transmitir un mensaje desde un punto a otro, normalmente con el atributo típico adicional de ser bidireccional. Proviene del griego tele, que significa distancia. Por tanto, el término telecomunicación cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de ordenadores.

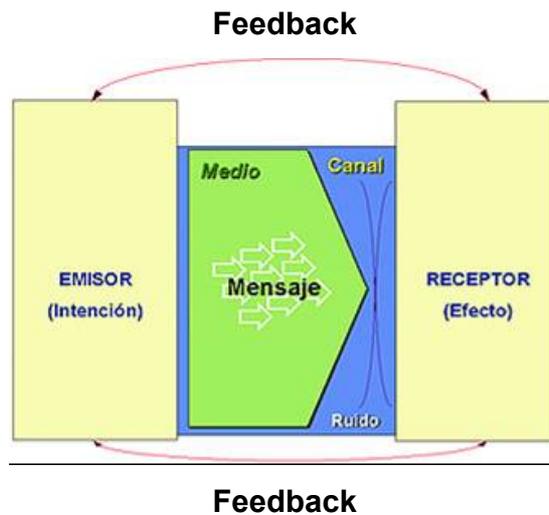
La telecomunicación puede ser punto a punto, punto a multipunto o teledifusión, que es una forma particular de punto a multipunto que funciona solamente desde el transmisor a los receptores, siendo su versión más popular la radiodifusión.

En la actualidad existen medios básicos de transmisión como son: par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, microondas, láser, infrarrojo etc. (Temas que se definirán en el capítulo 2.)

Las telecomunicaciones son realizadas gracias a diversos elementos que la componen, estos elementos forman en conjunto lo que llamamos sistema de comunicaciones (ver figura 1.1). En el proceso de comunicación hay dos partes que están involucradas, un emisor y un receptor. Se requieren ocho pasos para una buena comunicación, tres de esos pasos corresponden al emisor y los restantes al receptor.

Un emisor o fuente de información inicia el proceso de comunicación construyendo un mensaje y enviándolo a un receptor, éste a su vez analiza la información y reconstruye el mensaje a la luz de sus propios antecedentes y experiencias, los cuales le servirán para sintetizar la información recibida.

El receptor analiza y reconstruye los significados del mensaje, sintetiza y construye significados y se convierte en un emisor al responder al mensaje que le fue enviado.



(3)

Fig.1.1 Sistema de Comunicaciones.

Los sistemas de comunicaciones han ido desarrollándose con el transcurso del tiempo, con la implementación de nuevas tecnologías. (1).

1.2 El emisor en el proceso de la comunicación.

El emisor es quien abre el proceso de la comunicación, da a conocer el mensaje y lo emite. Esto se hace mediante la elección, la codificación y el envío del mensaje.

Paso 1. Desarrollo de una idea.

Es la idea que el emisor desea transmitir.

Paso 2. Codificación. Consiste en traducir la idea en palabras, gráficas u otros símbolos adecuados para dar a conocer el mensaje.

(3) <http://www.ucab.edu.ve/humanidades/comunicacion/informatica/nunez/clases/esquema.htm>

(1) http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_transmisi%C3%B3n

Consiste en traducir la idea en palabras, gráficas u otros símbolos adecuados para dar a conocer el mensaje. El emisor escoge el código a fin de organizar las palabras y los símbolos en una forma que facilite el tipo de transmisión. Existen algunos principios para precisar la codificación del mensaje.

Pertinencia: El mensaje debe tener contenido y significado, por lo tanto se seleccionan cuidadosamente las palabras, gráficas o símbolos que lo conforman.

Sencillez: Formular el mensaje de la manera más sencilla posible.

Organización: El mensaje debe disponerse en una serie de puntos que faciliten su comprensión.

Enfoque: El mensaje debe ser claro; se debe prescindir de los detalles innecesarios.

Paso 3. Transmisión. Una vez desarrollado y codificado el mensaje, se transmite por el método y medio escogido.

1.3 Barreras de la comunicación.

En el proceso de comunicación también pueden existir problemas que traen como consecuencia los tan frecuentes "malentendidos" o "fallas de comunicación".

Las barreras son obstáculos en el proceso, que pueden anular la comunicación, filtrar o excluir una parte de ella o darle un significado incorrecto, lo cual afecta la nitidez del mensaje.

1.4 Mensaje.

El mensaje representa la información que el emisor desea transmitir al receptor, y que contiene los símbolos verbales (orales o escritos) y claves no verbales que representan la información.

Los mensajes son la expresión de ideas (contenido), existen algunos aspectos que deben tomarse en cuenta cuando se elabora un mensaje:

- Tener en mente al receptor.
- Pensar el contenido con anticipación.
- Ser breve, pero sin perder la idea original del mensaje.
- Organizar el mensaje cuidadosamente: lo más importante debe ir al principio.

1.5 El receptor en el proceso de comunicación.

El receptor es quien recibe el mensaje, y a su vez cierra el proceso de la comunicación mediante la recepción, decodificación y aceptación del mensaje y retroalimenta al emisor. En una conversación, el receptor es quien responde al mensaje recibido.

Paso 4. Recepción

La transmisión permite a otra persona recibir el mensaje. La iniciativa pasa a los receptores, que se preparan para recibir el mensaje.

Paso 5. Decodificación.

La decodificación es la traducción de mensajes a una versión comprensible para el receptor. El emisor quiere que el receptor comprenda el mensaje en la forma en que fue transmitido, por lo que utiliza códigos comprensibles para ambos. Un aspecto importante para la decodificación del mensaje es la atención que se le preste, ya sea al escucharlo, leerlo, verlo, etc.

Paso 6. Aceptación.

Una vez que los receptores han recibido y decodificado el mensaje, tienen la oportunidad de aceptarlo o rechazarlo. La aceptación depende de una decisión personal y admite grados, de manera que el receptor tiene mucho control sobre la aceptación de todo el mensaje o sólo de algunas partes de él.

Paso 7. Uso.

El receptor hace uso de la información, puede desecharla o efectuar la tarea siguiendo las instrucciones, guardarla para el futuro u optar por otra alternativa.

Paso 8. Retroalimentación (*feedback*) como proceso de intercambio.

Cuando el receptor reconoce el mensaje y responde al emisor, la retroalimentación ha tenido lugar. La retroalimentación que ocurre simultáneamente es sincrónica o síncrona. La que establece un intervalo mediato entre la recepción del mensaje y la respuesta es asincrónica o asíncrona.

Características de la retroalimentación:

- ▲ Útil: para enriquecer la información del emisor.
- ▲ Descriptiva: para que sea eficaz.
- ▲ Específica: de manera que indique la comprensión del mensaje.
- ▲ Oportuna: en el lugar y contexto adecuados.

Algunos problemas de comunicación se pueden derivar de la percepción. La percepción selectiva es el proceso de eliminación de información que una persona no desea o debe evitar. Es decir, sólo ver o escuchar lo que queremos y negar lo demás.

1.6 Canales de comunicación.

El canal es el medio por el cual se trasmite el mensaje. Éste puede ser una conversación, un medio escrito, electrónico, etc. No todos los canales poseen la misma capacidad para transmitir información. (2)

(2) http://www.cca.org.mx/dds/cursos/redaccion/comunicacion/cont_amblab.htm

Posibles imperfecciones en un canal de comunicación son: ruido impulsivo, ruido térmico, tiempo de propagación, función de transferencia de canal no lineal, caídas súbitas de la señal (microcortes), limitaciones en el ancho de banda y reflexiones de señal (eco).

Muchos de los modernos sistemas de telecomunicación obtienen ventaja de algunas de estas imperfecciones para, finalmente, mejorar la calidad de transmisión del canal. (1)

1.7 Principios de las comunicaciones eléctricas.

Año	Descubrimiento
1729	Stephan Gray descubre que la electricidad puede ser transmitida.
1801	Alejandro Volta presenta su invento llamado "pila de Volta"
1837	Presentación del telégrafo de Samuel Morse conformado fundamentalmente de una batería y un magneto
1848	El Facsímil fue introducido por Bain en 1842 y en 1848, Bakewell patentó un facsímil o "telégrafo de copia" que estableció el fundamento para el diseño de los actuales Fax.
1853	Se inventa el Telégrafo por cable para transmisión simultánea en ambas direcciones (modo dúplex).
1874	Se inventa el Código Baudot utilizado en las primeras transmisiones telegráficas y radioeléctricas
1876	Graham Bell patenta y comercializa el teléfono, sistema compuesto de micrófono y un parlante.
1880	Tomas Alva Edison descubre, en una lámpara de incandescencia, el fenómeno de emisión en un filamento caliente.
1887	El alemán Heinrich Hertz crea el primer detector radioeléctrico.
1890	El francés E. Branly, inventa el primer detector de ondas radioeléctricas (cohesor), logro fundamental para las radiocomunicaciones.

1894	El italiano Marconi efectúa una transmisión de señales inalámbricas a través de una distancia de 2 millas.
1896	Marconi patenta un dispositivo de perfeccionamiento en las transmisiones de impulsos y señales eléctricas. Con lo que se evoluciona a la radiotelegrafía.
1906	Se construye en América el primer sistema para transmisión de voz a través de ondas electromagnéticas.
1910	Se inventa el tubo de Vacuum, dispositivo que permite transmitir voz a través de largas distancias y más de una conversación sobre el mismo cable.
1917	Nace la transmisión AM, usando una frecuencia portadora modulada por una señal de voz.
1926	Se descubre la Modulación en frecuencia (FM) con lo que se logra alta calidad del sonido para la radiodifusión.
1935	Se construyen los primeros cables coaxiales y multipar para propósitos de comunicación. Edwin H. Armstrong desarrolla la modulación de frecuencia.
1937	Es desarrollado el tubo Klyston Reflex para generación de señales de microondas.
1969	Nacimiento de Internet, gracias al desarrollo de la red de computadores ARPANET por VP Algore.
1970	Se uso oficialmente el método de Multiplexación por división de tiempo (TDM) para intercambio telefónico.
1978	Primera fibra óptica puesta en operación en Berlín.
1989	Se establece el primer sistema de comunicaciones RDSI en el área de Róterdam.
1990	La comisión europea Rocket Ariane localiza uno de los más grandes satélites de comunicación Eutelsat IIF1 que pueden soportar 17000 llamadas telefónicas o 16 canales de TV a color en el tráfico de datos.
1992	Nace Internet comercialmente
1996	Terry Wynne da la idea del más grande proyecto en cuanto a redes a

	nivel mundial el WWW; Se desarrolla el software para transmitir voz telefónica y música de alta calidad a través de Internet.
1998	Sistemas de redes Ópticas pueden transmitir 3.2 Terabits por Segundo (equivale a 90.000 volúmenes de una enciclopedia). Crean el Chip DSL (Suscriptor de Línea Digital) que puede bajar datos a 1.5 megabits por segundo, 30 veces más rápido que los módems análogos. (3)
2001	Adopción en comunicaciones móviles del protocolo WAP
2002	Adopción en Comunicaciones Móviles del GPRS (Servicio General de Paquetes por Radio).
2005	Los Weblogs se consolidan como medio de comunicación. Weblog es un término procedente de web (Internet) y log (diario) que designa aquellas páginas de la Red en las que su autor expone sus ideas, inventa historias y situaciones o cuenta noticias de actualidad. (4)

(3) <http://www.angelfire.com/electronic/pfiero/Tech1.htm>

(4) <http://www.telefonica.es/index/viajamuseotelecomunicacionesvirtual.html>

Capítulo 2

Medios de transmisión

2.1.- Cable coaxial

2.2.- Par trenzado

2.3.- Fibra óptica

2.4.- Guías de onda

2.5.- Microondas

2.6.- Láser

2.7.- Infrarrojo

2.8.- Comunicación satelital

En este capítulo se analizan las líneas de transmisión; que son los medios por los cuales podemos estar comunicados, así como las características de cada una de ellas.

2.1.- Líneas de transmisión

Las líneas de transmisión son las interconexiones que transmiten la energía electromagnética de un punto a otro, esta energía puede ser usada en forma de luz, calor, trabajo mecánico, o para transmitir información oral, musical, fotográfica o estadística. (K)

Las líneas de transmisión se usan con mucha frecuencia para transferir energía a varias frecuencias con pérdidas mínimas de un transmisor a una antena o de algún tipo de transductor a un punto remoto en donde se procesaran las ondas para sus usos prácticos. (1)

En la figura 2.1 se muestra el circuito de una línea de transmisión que puede ser: coaxial, par trenzado, fibra óptica, etc. Las características de los conductores que forman la línea son:

1. R = resistencia por unidad de longitud.
2. L = inductancia por unidad de longitud.
3. C = capacitancia por unidad de longitud.
4. G = conductancia por unidad de longitud.

A partir de estos elementos como coeficientes primarios en una línea de transmisión se generan coeficientes secundarios como son la impedancia Z_0 y el factor de propagación, que no esta en función de la longitud de la línea de transmisión.

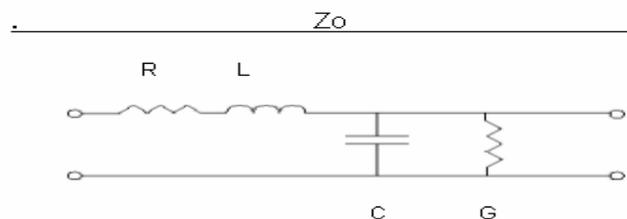


Fig.2.1 Línea de transmisión como una red de 4 terminales. (K)

(K) Electromagnetismo con aplicaciones (Kraus- Fleichs). Pág.- 127-129

(1) Manual para ingenieros y técnicos en electrónica (Kaufman- Seidman). Pág.- 345

2.2.- Cable coaxial

Un cable coaxial consta de un núcleo de hilo de cobre rodeado por un aislante, un apantallamiento de metal trenzado y una cubierta externa.

El apantallamiento protege los datos transmitidos absorbiendo las señales electrónicas espúreas, llamadas ruido, de forma que no pasan por el cable y no distorsionan los datos. El núcleo de un cable coaxial transporta las señales electrónicas que forman los datos, este núcleo puede ser sólido o de hilos. Si el núcleo es sólido, normalmente es de cobre.

Rodeando al núcleo hay una capa aislante dieléctrica que la separa de la malla de hilo. La malla de hilo trenzada actúa como masa, y protege al núcleo del ruido eléctrico y de la intermodulación (la intermodulación es la señal que sale de un hilo adyacente), figura 2.2.

Se suele utilizar para televisión, telefonía, redes de área local, etc. Se utiliza para transmitir señales analógicas o digitales y las dimensiones físicas del cable se muestran en la figura 2.3.



Fig.2.2 Componentes de un cable coaxial.



Fig. 2.3 Dimensiones físicas del cable coaxial. (b)

La impedancia de una línea coaxial se puede determinar utilizando:

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{d}$$

Donde:

ϵ_r = dieléctrico

d = diámetro exterior del conductor interno (núcleo).

D = diámetro interno del conductor externo. (δ)

2.3.- Par trenzado

Consiste en dos alambres de cobre o a veces de aluminio, aislados con un grosor de 1 mm aproximado, puede ser UTP O STP. Los alambres se trenzan con el propósito de reducir la interferencia eléctrica de pares similares cercanos. Los pares trenzados se agrupan bajo una cubierta común de PVC (Policloruro de Vinilo) en cables multipares de pares trenzados (de 2, 4, 8, hasta 300 pares), figura 2.4.

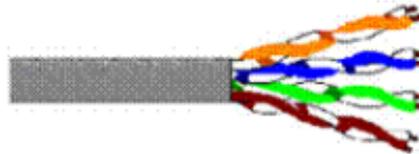


Figura 2.4 Cable multipar de pares trenzados

◇ **(STP)**.- Se define con un blindaje individual por cada par, más un blindaje que envuelve a todos los pares. Es utilizado preferentemente en las instalaciones de procesos de datos por su capacidad y sus buenas características contra las radiaciones electromagnéticas. Aunque con el inconveniente de que es un cable robusto, caro y difícil de instalar.

(δ) Sistemas de comunicaciones electrónicas (Wayne Tomasi). Pág.- 324, 330

◇ **(UTP).**- Es el soporte físico más utilizado en las redes LAN, pues es barato y su instalación es sencilla. Por él se pueden efectuar transmisiones digitales (datos) o analógicas (voz).

Consiste en un mazo de conductores de cobre (protegido cada conductor por un dieléctrico), que están trenzados de dos en dos para evitar al máximo la Diafonía. Un cable de par trenzado puede tener pocos o muchos pares; en aplicaciones de datos lo normal es que tengan 4 pares. Uno de sus inconvenientes es la alta sensibilidad que presenta ante interferencias electromagnéticas.

2.3.1 Categorías del cable UTP.-

Una categoría de cableado es un conjunto de parámetros de transmisión que garantizan un ancho de banda determinado en un canal de comunicaciones de cable de par trenzado. Dentro del cableado estructurado las categorías más comunes son:

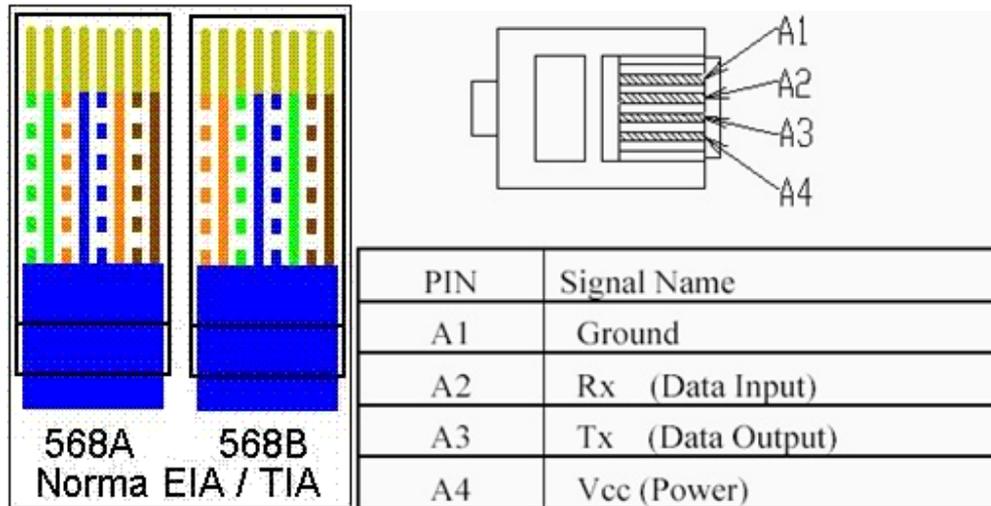
- **Categoría 1:** Especialmente diseñado para redes telefónicas.
- **Categoría 2:** Empleado para transmisión de voz y datos hasta 4Mbps.
- **Categoría 3:** Define los parámetros de transmisión hasta 16 MHz, entre las principales aplicaciones: voz, Ethernet 10Base-T y Token Ring.
- **Categoría 4:** Tiene la capacidad de soportar comunicaciones a velocidades de 20Mbps.
- **Categoría 5.** Con capacidad de sostener comunicaciones a 100Mbps.
- **Categoría 6:** No esta estandarizada aunque ya esta utilizándose. Se definirán sus características para un ancho de banda de 250 Mhz. (3)

2.3.2.- Elementos de conexión

El cable de par trenzado utiliza conectores telefónicos RJ-45 para conectar a un equipo. Éstos son similares a los conectores telefónicos RJ11. Aunque los conectores RJ-11 y RJ-45 parezcan iguales a primera vista, hay diferencias importantes entre ellos.

(3) <http://www.arqhys.com/arquitectura/cables-tipos.html>

El conector RJ-45 contiene ocho conexiones de cable, mientras que el RJ-11 sólo contiene cuatro, figura 2.5.



Conector RJ45.

Conector RJ11.

Fig. 2.5 Conectores RJ45 Y RJ11. (4)

2.4.- Fibra óptica

La fibra es un medio de transmisión de información analógica o digital. Las ondas electromagnéticas viajan en el espacio a la velocidad de la luz. Es un medio fino (entre 2 y 125µm), transporta rayos de luz, el material con el que esta construido puede ser de plástico, vidrio o silicio. Existen tres tipos básicos:

- Multimodal con índice escalonado
- Multimodales con índice graduado
- Monomodales

(4) <http://es.wikipedia.org/wiki/RJ45>

Básicamente, la fibra óptica está compuesta por una región cilíndrica, por la cual se efectúa la propagación, denominada núcleo y de una zona externa al núcleo y coaxial con él, totalmente necesaria para que se produzca el mecanismo de propagación, y que se denomina envoltura o revestimiento.

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

- Del diseño geométrico de la fibra.
- De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración.
- De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra. En la figura 2.6 se muestra un enlace de comunicaciones de fibra óptica.

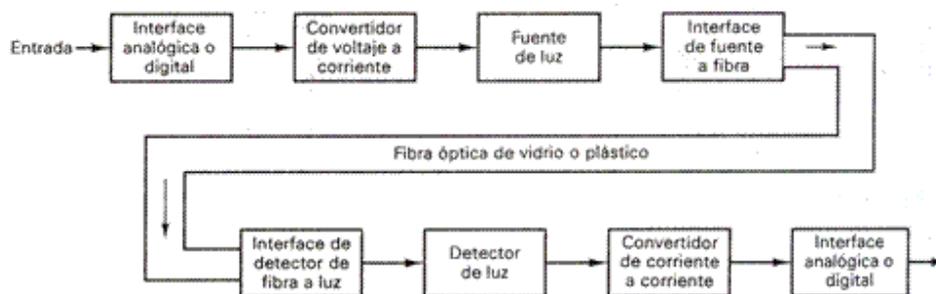
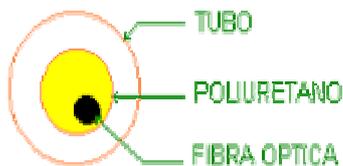


Fig. 2.6 Enlace de comunicaciones de fibra óptica. (δ)

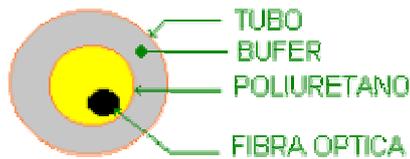
Las principales variantes son:

- 1. Tubo suelto.** Cada fibra está envuelta en un tubo protector.



(δ) Ob. Cit. Pág.- 778

2. Fibra óptica restringida. Rodeando al cable hay un búfer primario y uno secundario que proporcionan a la fibra protección de las influencias mecánicas externas que ocasionarían rompimiento o atenuación excesiva.



3. Hilos múltiples: Para aumentar la tensión, hay un miembro central de acero y una envoltura con cinta de Mylar.



4. Listón: Empleada en los sistemas telefónicos tiene varios miembros de fuerza que le dan resistencia mecánica y dos capas de recubrimiento protector térmico.



Es un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro.

2.4.1.- Tipos básicos de fibras ópticas:

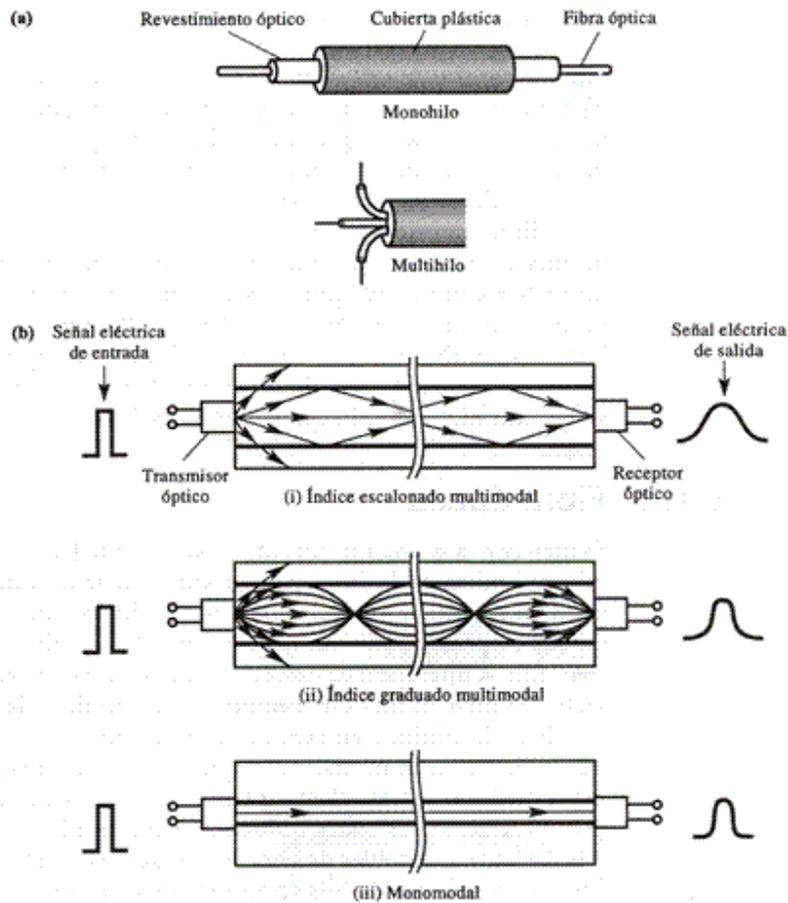


Fig. 2.7 Tipos de fibras ópticas. (c)

- Fibra multimodal con índice escalonado:

En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos como se muestra en la figura 2.8.

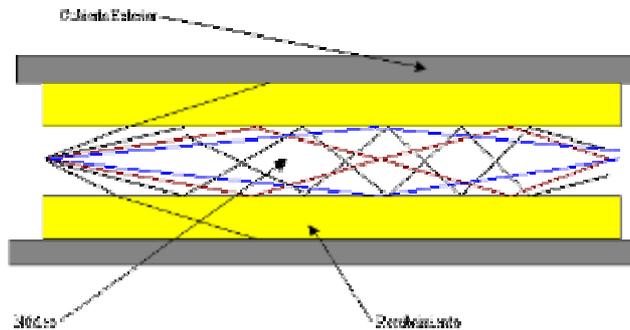


Fig. 2.8 Fibra multimodal

Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar dentro de la fibra. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir esta limitada.

- Fibra multimodal con índice graduado:

En este tipo de fibra óptica el núcleo está hecho de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. La propagación de los rayos en este caso sigue un patrón similar mostrado en la figura 2.9.

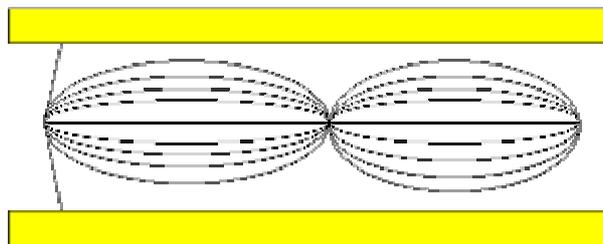


Fig. 2.9 Fibra multimodal con índice graduado

En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por lo tanto, sufren menos el severo problema de las multimodales.

- Fibra monomodal:

Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central. No sufre del efecto de las otras dos pero es más difícil de construir y manipular. Es también más costosa pero permite distancias de transmisión mayores. La transmisión de fibra óptica es unidireccional.

2.4.2- Ventajas de la fibra óptica

- 1.- Capacidad de transmisión
- 2.- Mayor capacidad debido al ancho de banda mayor disponible en frecuencias ópticas.
- 3.- Inmunidad a transmisiones cruzadas entre cables, causadas por inducción magnética.
- 4.- Inmunidad a interferencia estática debida a las fuentes de ruido.
- 5.- Resistencia a extremos ambientales. Son menos afectadas por líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura.
- 6.- La seguridad en cuanto a instalación y mantenimiento. Las fibras de vidrio y los plásticos no son conductores de electricidad, se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles.

◇ También la fibra óptica es una plataforma para la prestación de otros servicios, como:

1. Transmisión de datos de Alta Velocidad
2. Enlaces E1 (2Mb/s) para conexión de PABX
3. La posibilidad en el futuro de conexión de nuevos servicios como multimedia o sistemas de televisión por cable. (5)

(5) <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/fibraoptica/index.php>

2.5.- Guías de onda.

Son estructuras que consisten de un solo conductor. Hay cuatro tipos usados comúnmente: de sección rectangular, cuadrada, de sección circular y elíptica como se muestra en la figura 2.10. También las hay flexibles.

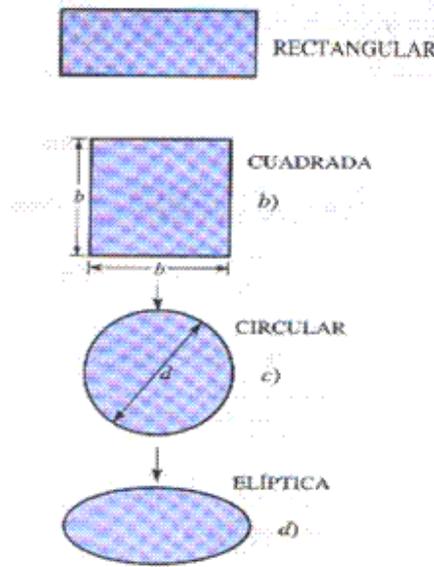


Figura 2.10 Tipos de guía de onda (Í)

La guía de onda es esencialmente una tubería metálica, a través de la cual se propaga el campo electromagnético sin prácticamente atenuación, dependiendo esta del material de que la misma esté fabricada; así, a una frecuencia determinada, y para una geometría concreta, la atenuación será tanto menor cuanto mejor conductor sea el material.

A diferencia de lo que ocurre en el medio libre, en una guía el campo está confinado en su interior, evitándose la radiación hacia el exterior, y sus campos sean del tipo TE (campo eléctrico transversal a la dirección de propagación), o bien TM (campo magnético transversal) o bien híbridos, es decir, mezcla de TE y TM.

La figura 2.11 muestra la propagación de la onda electromagnética en un guía de onda rectangular.

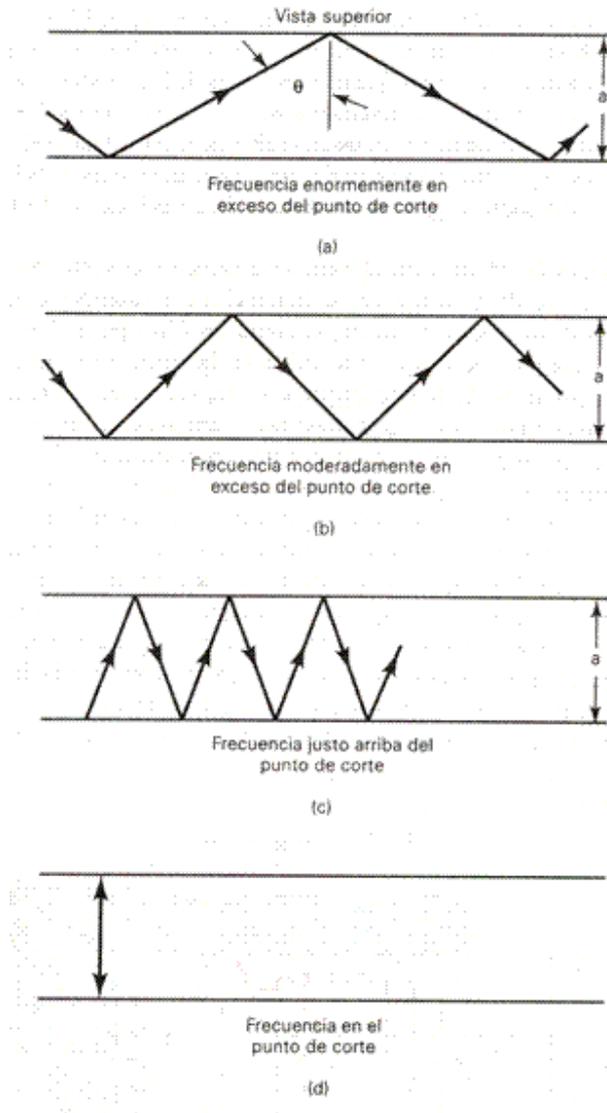


Fig. 2.11 Propagación de la onda electromagnética en un guía de onda rectangular. (8)

(8)

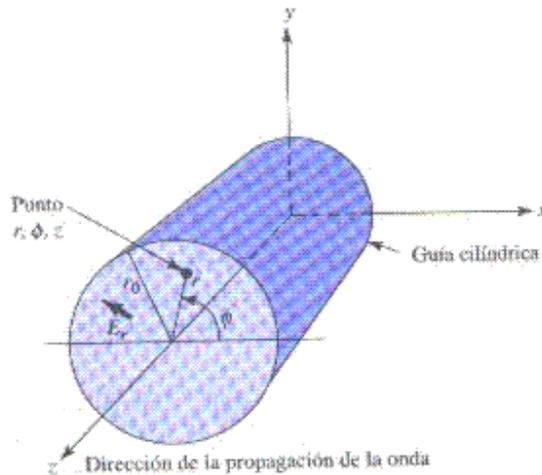


Figura 2.12 Coordenadas para una guía de ondas cilíndrica hueca. (K)

La configuración de la geometría, tipo de excitación de la guía y frecuencia, además de ciertas configuraciones de campo, denominadas modos, solo son posibles a frecuencias superiores a una determinada, frecuencia de corte, por debajo de esta frecuencia la guía no propaga la energía electromagnética.

La impedancia característica de una guía onda se puede obtener utilizando la siguiente formula:

$$Z_0 = \frac{377}{\sqrt{1 - (f_c / f)^2}}$$

Donde:

Z_0 = Impedancia característica

f_c = Frecuencia de corte

f = Frecuencia de operación.

◇ Ventajas:

- Blindaje total, eliminando pérdidas por radiación.
- No hay pérdidas en el dieléctrico, pues no hay aisladores dentro.
- Las pérdidas por conductor son menores, pues solo se emplea un conductor.
- Mayor capacidad en el manejo de potencia.
- Construcción más simple que un coaxial

◇ Desventajas:

- La instalación y la operación de un sistema de GO son más complejas.
Por ejemplo:
 - Considerando la dilatación y contracción con la temperatura, se debe sujetar mediante soportes especiales.
 - Se debe mantener sujeta a presurización para mantener las condiciones de uniformidad del medio interior.

2.5.1.- Modos de Operación

Una GO puede propagar, en teoría, un número infinito de tipos distintos de onda electromagnética. Cada uno de estos tipos o modos presenta una configuración distinta de campos eléctrico y magnético, y la denominación de cada modo obedece a esa configuración. Cada modo tiene una frecuencia crítica, debajo de la cual no se propagará. (6)

2.6.- Microondas

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: Transmisor, receptor y el canal aéreo. El transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, el canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, y como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

(6) http://members.fortunecity.es/unitec/guia_onda.htm

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, el camino entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

2.6.1.- Estructura general de un radioenlace por microondas

Un radioenlace esta constituido por equipos terminales y repetidores intermedios. La función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico, fig. 2.13. Los repetidores pueden ser:

- Activos o Pasivos

En los repetidores pasivos o reflectores.

- No hay ganancia
- Se limitan a cambiar la dirección del haz radieléctrico.

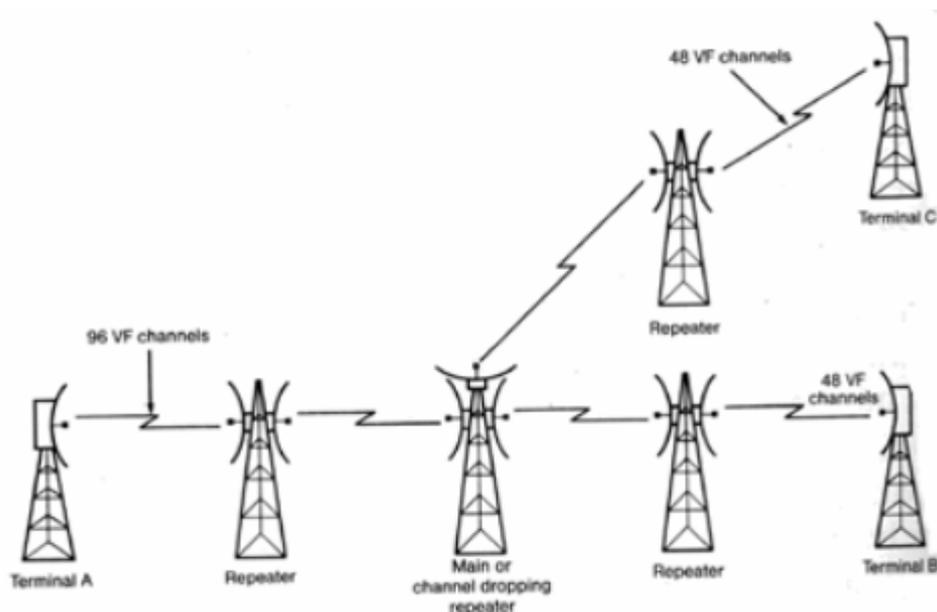


Figura 2.13 Estructura general de un radio enlace por microondas

2.6.2.- Ancho de banda en un radioenlace por microondas

En una estación terminal se requieran dos frecuencias por radiocanal.

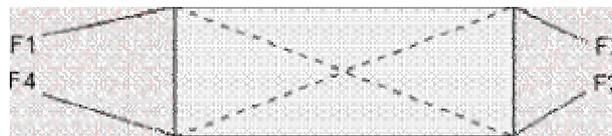
- Frecuencia de emisión
- Frecuencia de recepción

Es una estación repetidora que tiene como mínimo una antena por cada dirección, es absolutamente necesario que las frecuencias de emisión y recepción estén suficientemente separadas, debido a:

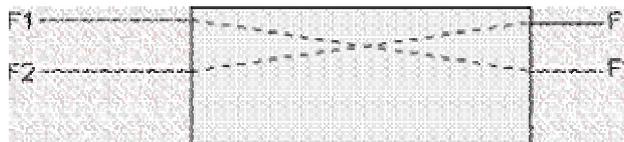
1. La gran diferencia entre los niveles de las señales emitida y recibida, que puede ser de 60 a 90 dB.
2. La necesidad de evitar los acoples entre ambos sentidos de transmisión.
3. La directividad insuficiente de las antenas sobre todas las ondas métricas.

Por consiguiente en ondas métricas (30-300 Mhz) y decimétricas (300 Mhz - 3 Ghz), conviene utilizar cuatro frecuencias (plan de 4 frecuencias).

En ondas centimétricas, la directividad es mayor y puede emplearse un plan de 2 frecuencias.



Plan de 4 Frecuencias



Plan de 2 Frecuencias

2.6.3.- Propagación de microondas

Las microondas ocupan una porción del espectro de frecuencias entre 1 y 300 Ghz que corresponde en la práctica a ondas del orden de 1 Ghz a 12 Ghz. Las microondas atraviesan fácilmente la ionosfera y son usadas también en comunicaciones por satélites.

La longitud de onda muy pequeña permite antenas de alta ganancias.

Como el radio de fresnel es relativamente pequeño, la propagación se efectúa como en el espacio libre. Si hay obstáculos que obstruyan el radio de fresnel, la atenuación es proporcional al obstáculo.

De la ecuación se obtiene la atenuación Pr/Pt en enlaces espaciales

$$Pr/Pt \text{ (dB)} = Gt \text{ (dB)} + Gr \text{ (dB)} + 20 \log h \text{ (m)} - 22 - 20 \log r \text{ (Km)}$$

donde r es la distancia del enlace, h es la longitud de onda Gt Y Gr son las ganancias del transmisor y del receptor respectivamente.

A la atenuación en espacio libre se le agregan algunos valores de atenuación debido a obstáculos:

- 6 dB: Incidencia restante.
- 40 dB: Bloqueo total del haz.

En condiciones desfavorables las pérdidas por reflexión pueden ser de hasta 50 db (propagación sobre mar). Si la superficie es rugosa se consideran despreciables las pérdidas por reflexión.

Las normas de seguridad de funcionamiento de los sistemas de microondas han alcanzado gran rigidez. Por ejemplo, se utiliza un 99.98% de confiabilidad general en un sistema patrón de 6000 Km. de longitud, lo que equivale a permitir solo un máximo de 25 segundos de interrupción del año por cada enlace. (7)

2.7.- Láser

(**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation).

La tecnología del láser trata con la concentración de luz en rayos muy pequeños y poderosos. La palabra láser es un acrónimo que se seleccionó cuando hubo un cambio de microondas a ondas de luz. El primer láser fue desarrollado por Theodore H. Maiman, quien dirigió un rayo de luz a cristales de rubí con una lámpara de flash xenón y midió la radiación emitida del rubí.

(7) <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/microondas/index.php>

Descubrió que cuando la radiación emitida incremento mas allá del umbral causo que la radiación emitida se convirtiera, extremadamente intensa y altamente direccional. Los lasers de uranio fueron desarrollados en 1960 junto con otros materiales terrestres raros. Además, en 1960, A. Javin de los laboratorios Bell desarrollo un láser de helio. Los lasers semiconductores (diodos de láser de inyección) fueron fabricados, en 1962, por General Electric, IBM y los laboratorios Lincoln.

2.7.1.- Características del láser

Todos los tipos de lasers tienen varias características en común: (1) todos usan un material activo para convertir la energía en luz de láser, (2) una fuente de bombeo para proporcionar potencia o energía, (3) ópticas para dirigir el rayo por el material activo que se debe amplificar,(4) ópticas para dirigir el rayo en un cono de divergencia poderoso y angosto, (5) un mecanismo de alimentación para proporcionar un funcionamiento continuo, y (6) una conexión de salida para transmitir la potencia fuera del láser. La radiación de un láser es extremadamente intensa y direccional.

2.7.2.- Construcción láser

La figura 2.14 muestra la construcción de láser básico. Una fuente de poder se conecta a un tubo de flash que es enrollado, alrededor de un tubo de vidrio que sostiene al medio activo. Una punta del tubo de vidrio es una cara de espejo pulida para una reflexión 100% interna. El tubo de flash se energiza por un pulso de estímulo y produce una ráfaga de luz de alto nivel. El flash causa que los átomos de cromo, dentro de la estructura cristalina activa se estimulen. El proceso de bombeo eleva el nivel de los átomos de cromo, desde un estado de tierra, a un estado de energía excitado. Los iones entonces decaen, cayendo en estado de nivel de energía intermedio. Cuando la población de iones del nivel intermedio es mayor que el estado de tierra, ocurre una inversión de la población. La inversión de la población causa que la acción del láser (lasing) ocurra. Después de un periodo de tiempo, los átomos de cromo excitados caerán al nivel de energía de tierra.

En este momento, los fotones son emitidos, un foton es un paquete de energía radiante. Los fotones emitidos le pegan a átomos y se emiten otros dos fotones (de ahí el termino “emisión estimulada”). La frecuencia de la energía determina la intensidad de los fotones; las frecuencias más altas causan fotones con más intensidad.

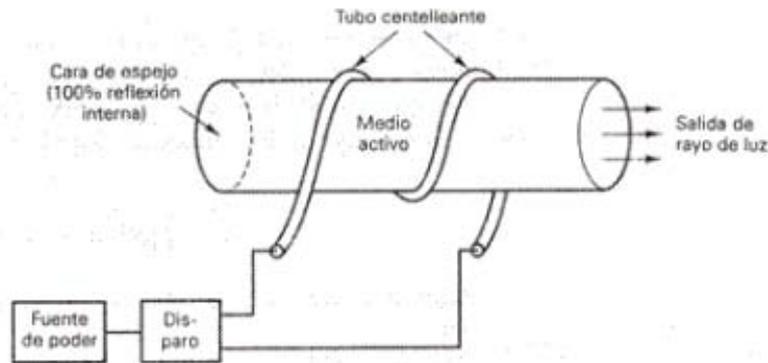


Fig. 2.14 Construcción del láser

2.7.3.- Tipos de láseres

Básicamente, hay cuatro tipos de láser: gas, líquido, sólido y semiconductor.

1.- Láseres gaseosos. Utilizan una mezcla de helio y neon, encerrados en un tubo de vidrio. Un flujo de ondas de luz coherentes (una frecuencia) se emite por una conexión de salida, cuando una corriente eléctrica descarga el gas. La salida de onda de luz continua es monocromática. (un color).

2.- Láseres líquidos. Utilizan pinturas orgánicas contenidas, en un tubo de vidrio para un medio activo. La pintura es circulada en un tubo con una bomba. Una pulsación de luz poderosa estimula a la pintura orgánica.

3.- Láseres sólidos. Los láseres sólidos utilizan un cristal sólido, cilíndrico, tal como un rubí, para el medio activo. Cada punta del rubí es pulida y paralela. El rubí se excita por una lámpara de tungsteno, amarrada a una fuente de poder de corriente alterna, el resultado del láser es una onda continua.

4.- Láseres semiconductores. Están hechos de uniones p-n, semiconductoras, y comúnmente se llaman diodos de inyección láser (ILD).

El mecanismo de excitación es una fuente de poder de corriente directa que controla la cantidad de corriente al medio activo. La luz de salida de un ILD fácilmente se modula, haciéndola muy útil en muchas aplicaciones de comunicaciones electrónicas.

El láser se usa en las comunicaciones electrónicas, holografía, medicina, etc. En las comunicaciones electrónicas, los lasers son usados en audio, radio y transmisión de televisión. En principio, el láser es un dispositivo que transforma otras formas de energía en radiación electromagnética . (δ)

2.8.- Infrarrojo.

Los emisores y detectores de luz infrarroja se han utilizado desde hace muchos años en diversas aplicaciones, entre ellas los sistemas de transmisión por fibra óptica y diversas aplicaciones de control remoto como las que comprenden los reproductores de CD y las videograbadoras. Las emisiones infrarrojas tienen frecuencias mucho mas altas que las ondas de radio mayores que 10^{14} Hz y por lo regular los dispositivos se clasifican según la longitud de onda de la señal infrarroja transmitida y detectada mas que por su frecuencia. La longitud de onda se mide en manómetros (nm) $1\text{nm}=10^{-9}$ m y es la distancia que recorre la luz durante un solo ciclo de la señal. Es decir:

$$\text{Longitud de onda, } \lambda = c/f$$

Donde c es la velocidad de la luz (3×10^8 m/s) y f es la frecuencia de la señal en Hz. Una ventaja del infrarrojo respecto al radio es la ausencia de disposiciones que regulan su uso. Además, el infrarrojo tiene una longitud de onda similar a la de la luz visible y, por tanto, presenta un comportamiento similar; por ejemplo, se refleja en las superficies brillantes y pasa a través del vidrio, pero no de las paredes ni otros objetos opacos. Por esta razón, las emisiones del infrarrojo están limitadas a un solo recinto, lo que reduce el nivel de interferencia del canal adyacente en las aplicaciones de LAN inalámbricas.

(δ) Ob. Cit. Pág.- 807-809

Otra cuestión que debe considerarse al utilizar infrarrojo como medio físico es la interferencia causada por la luz de fondo (ambiente).

La luz del sol y la producida por fuentes de luz de filamento y fluorescentes contienen niveles significativos del infrarrojo, y el receptor recibe estas radiaciones junto con el infrarrojo producido por el emisor. Esto significa que la potencia del ruido debe ser alta, y que se necesita una potencia de señal elevada para lograr una relación señal a ruido aceptable. Los emisores de infrarrojo tienen una eficiencia de conversión de energía eléctrica a óptica relativamente baja.

Hay dos tipos de emisores de infrarrojo: diodos de láser y diodos emisores de luz. Los diodos de láser se usan mucho en los sistemas de transmisión por fibra óptica; producen una fuente de luz coherente que tiene una banda muy angosta de frecuencias (por lo regular entre 1 y 5 nm) y que, al estar confinada en un área muy pequeña, tiene una densidad de potencia elevada. En las aplicaciones de LAN inalámbricas, como la luz no necesita propagarse dentro de los confines de una fibra óptica, es preciso hacerla más difusa para que no cause daños en los ojos de las personas. En contraste los diodos emisores de luz producen una luz que comprende una banda de frecuencias por lo regular de entre 25 y 100 nm que, con los bajos niveles de potencia de salida empleados, es totalmente segura. El ancho de banda disponible para la modulación con los LED es de unos 20 MHz, lo que limita a menos de 10 Mbps la tasa de bits máxima que es posible usar. En virtud de su bajo costo, lo normal es utilizar LED en los casos que se requiera tasa de bits de estos niveles o menores.

Si queremos tasa de bits mayores que 10 Mbps es necesario usar diodos de láser. El ancho de banda de modulación disponible con estos dispositivos es de varios cientos de MHz. La amplia gama de frecuencias (anchura espectral) asociada a los LED obliga a usar en el receptor un filtro óptico con una pasabandas ancha que permita detectar toda la señal transmitida. No obstante, esto incrementa la señal de ruido del receptor cuando la tasa de bits es alta.

2.8.1.- Topologías

Los enlaces de infrarrojo pueden utilizarse en uno o dos modos: punto a punto y difuso. En el modo punto a punto, el emisor apunta directamente hacia el detector (fotodiodo), y esto permite usar emisores de más baja potencia y detectores menos sensibles. Este modo de funcionamiento es más apropiado para establecer un enlace inalámbrico entre dos equipos, por ejemplo cuando se quiere transferir archivos de un computador portátil a otro computador. En las aplicaciones LAN inalámbricas se requiere un modo de operación de uno o muchos (difusión). Para lograr esto, la salida de la fuente infrarroja se difunde óptimamente de modo que la luz se distribuya por un área rectangular amplia. Este es el modo difuso, y tiene tres modos de operación alternativos que se ilustran en la figura 2.15. En el modo básico (a) cada computador tiene asociado un emisor óptico de ángulo grande y un detector. La señal de infrarrojo producida por cualquier emisor se recibe en todos los detectores después de múltiples reflexiones dentro del recinto. El efecto de este modo operativo es que varias copias de la misma señal fuente llegan a cada detector con distintos retardos de propagación, determinados por el camino físico que haya seguido cada señal.

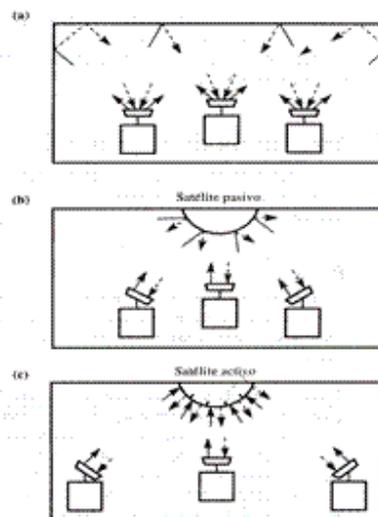


Fig. 2.15 Modos de operación con infrarrojo a) punto a punto

b) satélite pasivo c) satélite activo.

Con infrarrojo (y radio), además de la ecualización podemos reducir los efectos de dispersión del retardo empleando múltiples emisores y detectores direccionales (antenas) en el caso del radio como se ilustra en la figura 2.15(b). Cuando se sigue esta estrategia todos los emisores y detectores se orientan de modo que apunten en la dirección general de una cúpula reflectora fija en el techo, denominada satélite. A fin de maximizar la potencia de la señal recibida y minimizar las reflexiones, la señal origen se enfoca ópticamente para formar un haz relativamente angosto. La forma de la cúpula reflectora se escoge de modo que solo reciban la señal directa del satélite.

El satélite del esquema que acabamos de describir actúa solo como reflector de la luz. Por tanto, si queremos obtener una potencia de señal aceptable en el detector, la potencia de la señal emitida tendrá que ser relativamente alta. En el caso de dispositivos portátiles que obtienen su potencia de baterías, esta es una desventaja que hace necesario refinar el esquema básico para utilizar un satélite activo como se muestra en la fig. 2.15(c). En este esquema se distribuye una serie de detectores-fotodiodos-alrededor de la cúpula, junto con un conjunto de emisores de infrarrojo. Todas las señales recibidas por uno o más conjuntos de detectores serán repetidas después por los emisores. Esto significa que la potencia de la señal emitida por cada dispositivo portátil puede ser mucho mas baja, ya que solo necesita ser lo suficientemente alta como para formar un camino directo hacia el satélite. (3)

2.9.- Comunicación satelital

Básicamente, los enlaces satelitales son iguales a los de microondas excepto que uno de los extremos de la conexión se encuentra en el espacio, entonces, colocando sea el receptor o el transmisor en el espacio se cubre un área más grande de superficie.

En la figura 2.16 se muestra un diagrama sencillo de un enlace vía satélite, nótese que los términos UPLINK y DOWNLINK aparecen en la figura, el primero se refiere al enlace de la tierra al satélite y la segunda del satélite a la tierra.

(3) Ob. Cit. Pág.- 337-340

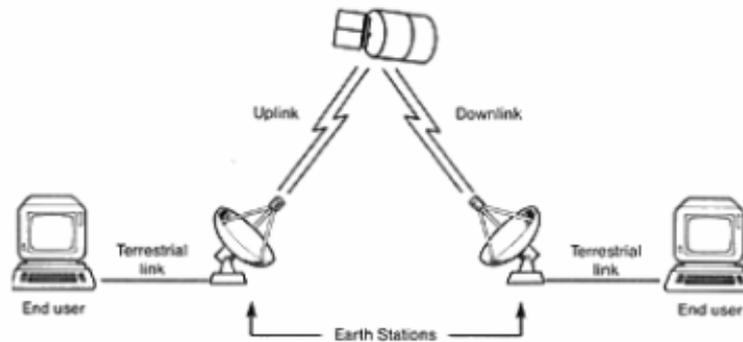


Fig. 2.16 Enlace satelital

Las comunicaciones vía satélite poseen numerosas ventajas sobre las comunicaciones terrestres, la siguiente es una lista de algunas de estas ventajas:

- El costo de un satélite es independiente a la distancia que valla a cubrir.
- La comunicación entre dos estaciones terrestres no necesita de un gran número de repetidoras puesto que solo se utiliza un satélite.
- Las poblaciones pueden ser cubiertas con una sola señal de satélite, sin tener que preocuparse en gran medida del problema de los obstáculos.
- Grandes cantidades de ancho de bandas están disponibles en los circuitos satelitales generando mayores velocidades en la transmisión de voz, data y vídeo sin hacer uso de un costoso enlace telefónico.

Estas ventajas poseen sus contrapartes, alguna de ellas son:

- El retardo entre el UPLINK y el DOWNLINK esta alrededor de un cuarto de segundo, o de medio segundo para una señal de eco.
- La absorción por la lluvia es proporcional a la frecuencia de la onda.
- Conexiones satelitales multiplexadas imponen un retardo que afectan las comunicaciones de voz, por lo cual son generalmente evitadas.

Los satélites de comunicación están frecuentemente ubicados en lo que llamamos Orbitas Geosincronizadas a una altura aproximada de 36,000 Km sobre el Ecuador, lo que significa que el satélite circulará la tierra a la misma velocidad en que esta rota lo que lo hace parecer inmóvil desde la tierra.

Una ventaja de esto es que el satélite siempre está a la disposición para su uso, con lo que es posible cubrir a toda la tierra utilizando solo tres satélites.

Un satélite no puede retransmitir una señal a la misma frecuencia a la que es recibida, si esto ocurriese el satélite interferiría con la señal de la estación terrestre, por esto el satélite tiene que convertir la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla, para hacer esto lo hacemos con algo llamado "Transponders".

El satélite está conformado por las siguientes partes principales como se muestra en la Figura 2.17.

- Arreglo de paneles solares
- Reflectores orientados al Este y al Oeste
- Amplificador de antena
- Sensores
- Antena dipolo para **banda L**
- Varios subsistemas para el control del satélite

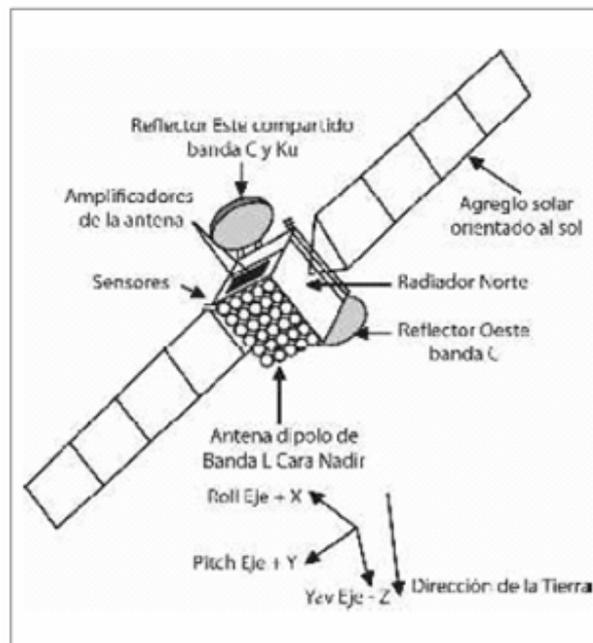


Figura 2.17 Partes principales de un satélite

2.9.1.- Tipos de satélites artificiales

● **Satélite artificial**

Es un elemento físico capaz de recibir y transmitir señales en forma analógica o digital de alta calidad, está colocado en órbita por las necesidades que tiene el hombre para recibir y transmitir información a cualquier punto de la Tierra. Un satélite es capaz de recibir y transmitir datos, audio y video en forma analógica o digital de alta calidad y en forma inmediata. Está formado por transpondedores. El satélite toma su energía de la radiación solar, cada satélite tiene un tiempo de vida determinado que varía según la cantidad de combustible que posee. Dicho combustible sirve para mover al satélite cada vez que éste se sale de su órbita.

Los satélites según su aplicación se clasifican en:

◇ **Satélites de comunicaciones**

Se ubican en la intersección de la tecnología del espacio y la de las comunicaciones. Constituyen la aplicación espacial más rentable y, a la vez, más difundida en la actualidad. Las transmisiones en directo vía satélite ya son parte de nuestra cotidianeidad, por lo que no tienen ningún carácter especial. Para la difusión directa de servicios de televisión y radio, telefonía y comunicaciones móviles sólo son necesarios sencillos receptores y antenas parabólicas cada día más pequeñas.

◇ **Satélites de meteorología**

Estos satélites se dedican exclusivamente a la observación de la atmósfera en su conjunto. La comprensión de la física dinámica atmosférica, el comportamiento de las masas nubosas o el movimiento del aire frío o caliente resultan indispensables para realizar predicciones del clima, pues sus efectos impactan de manera irremediable las actividades de los seres humanos aquí en la Tierra. A estos artefactos se debe el descubrimiento del agujero en la capa de ozono.

Otros satélites meteorológicos de órbita geoestacionaria como el SMS, GOES y Meteosat pueden cubrir todo un hemisferio y permiten seguir el comportamiento de fenómenos como la temporada de huracanes, el avance de las grandes borrascas, los frentes fríos, el conocimiento de la temperatura de la atmósfera en cada nivel altimétrico, la presión, la distribución del vapor de agua y, con ello, el porqué de las sequías o los efectos de la contaminación, entre muchos otros fenómenos más.

◇ **Satélites de navegación**

Desarrollados originalmente con fines militares al marcar el rumbo de misiles, submarinos, bombarderos y tropas, ahora se usan como sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) figura 2.18, los cuales sirven para identificar locaciones terrestres mediante la triangulación de tres satélites y una unidad receptora manual que puede señalar el lugar donde ésta se encuentra y obtener así con exactitud las coordenadas de su localización geográfica.

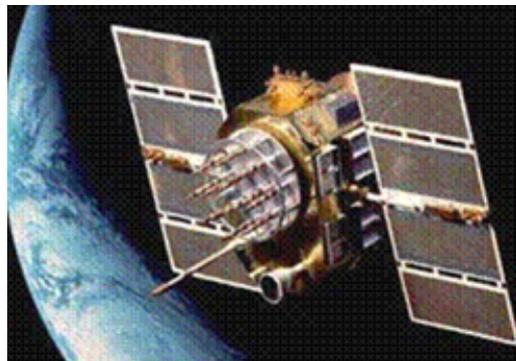


Fig. 2.18 Satélite de navegación.

Una de las aplicaciones de estos satélites la realiza con éxito la navegación aérea, que está empezando a aprovecharla en los aterrizajes de las aeronaves, ello le supone una guía económica y muy segura para esas actividades.

En los sistemas GPS, tanto el satélite como el equipo receptor en Tierra emiten una señal con una determinada frecuencia, ambas sincronizadas gracias a los relojes atómicos que dichas unidades poseen, el receptor recibe la señal del satélite que se halla a gran altitud, la distancia entre ambos equipos hace que la

señal proveniente del satélite llegue con una diferencia de fase con respecto a la señal emitida por el receptor. La medición de esta diferencia en las fases permite calcular la distancia que separa al equipo en Tierra del satélite. Utilizando tres satélites a la vez, podemos obtener las coordenadas de latitud, longitud y altitud del equipo receptor en Tierra. Usando un cuarto satélite es, incluso, posible conseguir datos sobre la velocidad con la que nos desplazamos y el nivel de precisión aumenta mucho.

◇ **Satélites de teledetección**

Éstos observan el planeta mediante sensores multiespectrales, esto es que pueden sensar diferentes frecuencias o "colores", lo que les permite localizar recursos naturales, vigilar las condiciones de salud de los cultivos, el grado de deforestación, el avance de la contaminación en los mares y un sinfín de características más.

El aumento de la resolución (que permite ver con mayor claridad detalles más pequeños de la superficie) está llegando a extremos insospechados, a tal punto que las fotografías que obtienen pueden tener una clara aplicación militar. Para un mejor aprovechamiento de sus capacidades, los satélites de teledetección se suelen colocar en órbitas bajas y polares, a menudo sincronizadas con el Sol. Desde ellas, enfocan sus sensores, que son capaces de tomar imágenes en varias longitudes de onda o bandas espectrales.

◇ **Satélites militares**

Son aquellos que apoyan las operaciones militares de ciertos países, bajo la premisa de su seguridad nacional, figura 2.19. Algunos satélites especiales -cuya identidad es protegida con mayor recelo- pueden realizar escuchas electrónicas (elint o inteligencia electrónica) que permiten captar conversaciones telefónicas o radiofónicas desde enormes distancias.

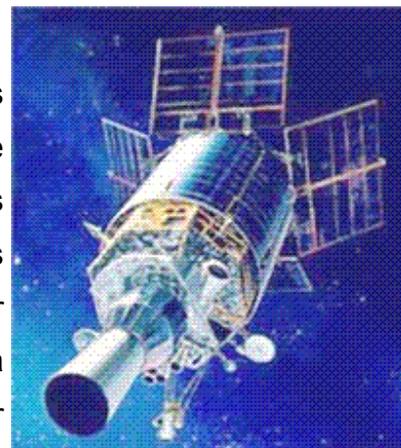


Fig. 2.19 Satélite militar

A continuación se muestra en el **cuadro 1** los diferentes tipos de satélites, su función y sus características.

Cuadro 1:

Tipos de órbita	Altura sobre el nivel del mar	Velocidad del satélite	Función del satélite	Ventajas
<i>Órbita baja</i>	250-1 500 km	25 000-28 000 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> Comunicaciones y observación de la Tierra. 	Poco retraso en las comunicaciones. Se requiere menor potencia.
<i>Órbita polar</i>	500-800 km sobre el eje polar	26 600-27 300 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> Clima Navegación. 	Están perpendiculares sobre la línea del Ecuador, por lo que pueden observar distintas regiones de la Tierra.
<i>Órbita geo-estacionaria</i>	35 786 km sobre el Ecuador	11 000 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> Comunicaciones Clima. Navegación GPS. 	Al dar la vuelta a la Tierra a su misma velocidad, siempre observa el mismo territorio
<i>Órbita elíptica</i>	Perigeo (cuando está más cerca de la Tierra) 200-1 000 km Apogeo (cuando está más lejos) ~ 39 000 km	~34 200 km/hr. ~5 400 km/hr.	<ul style="list-style-type: none"> Comunicaciones 	Servicios a grandes latitudes.

(8)

2.9.2.- Transponder

Es un dispositivo que forma parte del satélite, el cual cuenta con varias antenas que reciben y envían señales desde y hacia la tierra. Los satélites tienen transpondedores verticales y horizontales.

(8) <http://www.ciberhabitat.gob.mx/medios/satelites/artificiales/aplicaciones.htm>

El transponder tiene como función principal amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla con una cobertura amplia a una o varias estaciones terrenas. Recoge la señal entrante de la antena receptora, ésta es amplificada por un LNA (amplificador de bajo ruido), que incrementa la señal sin admitir ruido. De la salida del LNA la señal es introducida a un filtro Pasa Banda (BPF) para eliminar lo que no pertenece a la señal original y luego esta señal se pasa a un convertidor de frecuencia (OSC) que reduce la señal a su frecuencia descendente, ésta pasa para su amplificación final a un HPA (amplificador de alta potencia, usualmente de 5 a 15 watts), que tiene un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA) como amplificador de salida. Una vez concluido el proceso, la señal pasa a la antena descendente y se realiza el enlace con la estación receptora, como se muestra en al figura 2.18.

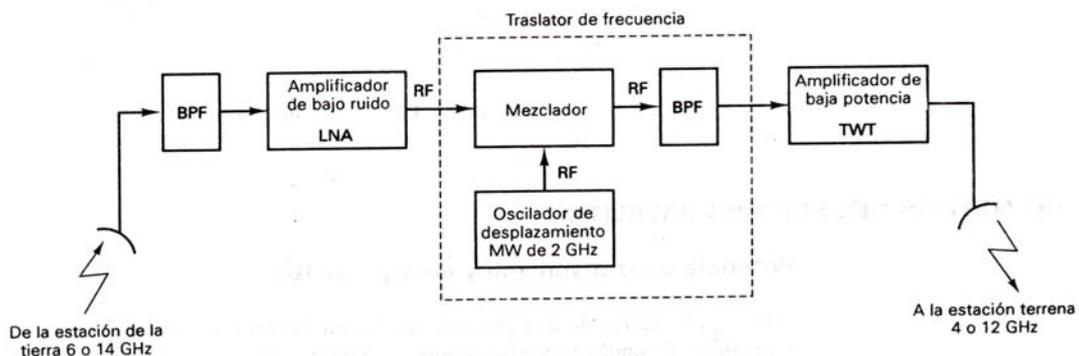


Fig.2.20 Transponder del satélite. (δ)

Capítulo 3

Características de la transmisión en las telecomunicaciones

3.1 Modos de transmisión

3.2 Métodos de acceso múltiple

3.3 Métodos de multiplexaje

3.4 Tipos de modulación

3.5 Tipos de transmisión

En este capítulo se analizarán las características para realizar una buena transmisión de información como son los métodos de acceso múltiple ya sea por división de tiempo, de frecuencia o de código. Los tipos de multiplexaje TDM, FDM y el OFDM, y los tipos de modulación ya sean en amplitud, frecuencia o fase.

3.1 Modos de transmisión

Un método de caracterizar líneas, dispositivos terminales, computadoras y módems es por su modo de transmisión o de comunicación. Las tres clases de modos de transmisión son simplex, half-duplex y full-duplex.

3.1.1 Transmisión simplex

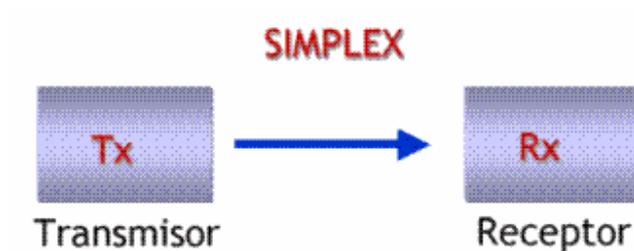


Fig. 3.1 Transmisión simplex

La transmisión simplex (sx) o unidireccional es aquella que ocurre en una dirección solamente, deshabilitando al receptor de responder al transmisor figura 3.1 normalmente la transmisión simplex no se utiliza donde se requiere interacción humano-máquina. Ejemplos de transmisión simplex son: La radiodifusión (broadcast) de TV y radio, el paging unidireccional, etc.

3.1.2 Transmisión half-duplex

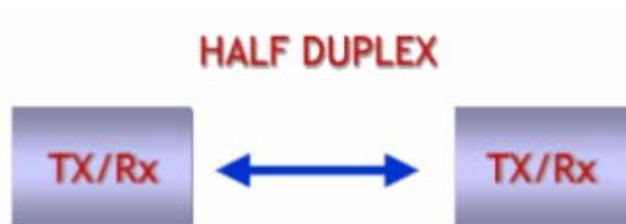


Fig. 3.2 Transmisión half-duplex

La transmisión half-duplex (hdx) permite transmitir en ambas direcciones; sin embargo, la transmisión puede ocurrir solamente en una dirección a la vez figura 3.2 tanto transmisor y receptor comparten una sola frecuencia.

Un ejemplo típico de half-duplex es el radio de banda civil (CB) donde el operador puede transmitir o recibir, no pero puede realizar ambas funciones simultáneamente por el mismo canal. Cuando el operador ha completado la transmisión, la otra parte debe ser avisada que puede empezar a transmitir.

3.1.3 Transmisión full-duplex

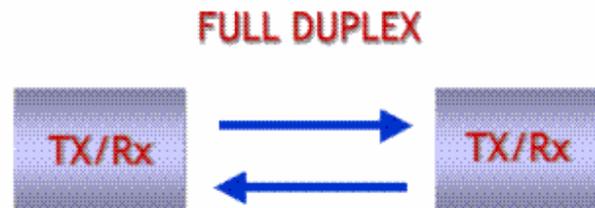


Fig. 3.3 Transmisión full-duplex

La transmisión full-duplex (fdx) permite transmitir en ambas dirección, pero simultáneamente por el mismo canal figura 3.3. Existen dos frecuencias una para transmitir y otra para recibir.

Ejemplos de este tipo abundan en el terreno de las telecomunicaciones, el caso más típico es la telefonía, donde el transmisor y el receptor se comunican simultáneamente utilizando el mismo canal, pero usando dos frecuencias. (1)

(1) <http://www.eveliux.com/fundatel/linconex.html#Lineas%20arrendadas>

3.2 Métodos de acceso múltiple

Múltiple acceso esta definido como una técnica donde más de un par de estaciones terrenas pueden simultáneamente usar un transponder del satélite.

La mayoría de las aplicaciones de comunicaciones por satélite involucran un número grande de estaciones terrenas comunicándose una con la otra a través de un canal satelital (de voz, datos o vídeo). El concepto de múltiple acceso involucra sistemas que hacen posible que múltiples estaciones terrenas interconecten sus enlaces de comunicaciones a través de un simple transponder. Esas portadoras pueden ser moduladas por canales simples o múltiples que incluyen señales de voz, datos o vídeo. Existen muchas implementaciones específicas de sistemas de múltiple acceso, pero existen solo tres tipos de sistemas fundamentales.

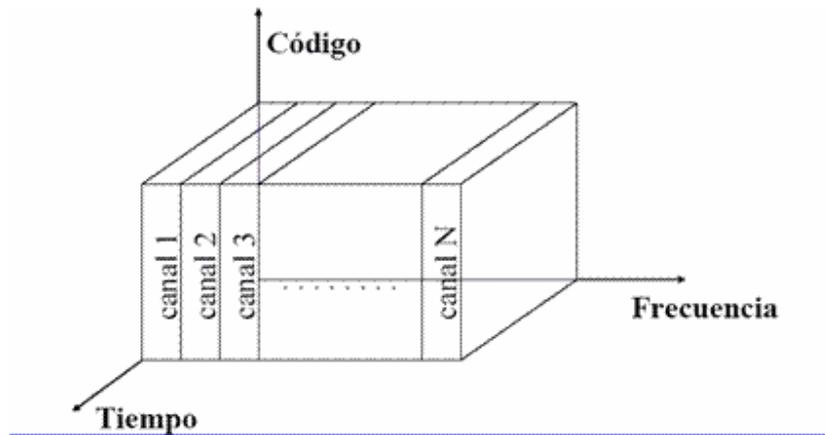
3.2.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Acceso múltiple por división de frecuencias. Este tipo de sistemas canalizan el transponder usando múltiples portadoras, donde a cada portadora le asigna un par de frecuencias. El ancho de banda total utilizado dependerá del número total de portadoras, FDMA es derrochador de anchura de banda: el canal se asigna a una sola conversación si o no alguien está hablando. (2)

Por otra parte, no puede manejar formas alternas de datos figura 3.4, solamente transmisiones de voz.

(2) http://es.wikipedia.org/wiki/Internet_v%C3%ADa_sat%C3%A9lite#Frecuencia-divisi%C3%B3n_m%C3%BAltiples_acceso_FDMA.29

Fig.3.4 División de frecuencia en FDMA



◇ Características de FDMA

- Los canales sin uso no pueden ser utilizados por otros para aumentar su ancho de banda.
- Transmisión en forma continua y simultanea.
- El ancho de banda es de 30 KHz.
- Utiliza un filtro de RF para minimizar la interferencia con canales adyacentes.

(3)

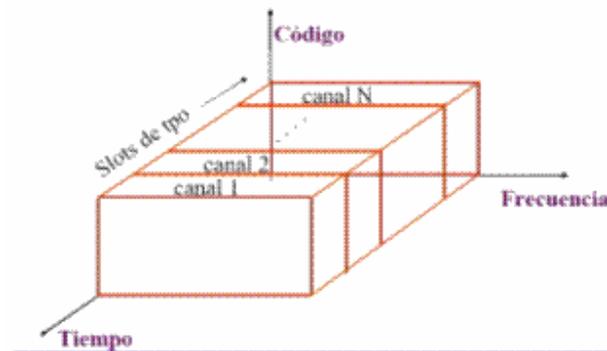
3.2.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TEMA)

El Acceso múltiple por división de tiempo esta caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora, Fig.3.5. Una de las ventajas del TDMA con respecto a los otros es que optimiza del ancho de banda. (2)

(2) Idem

(3) Métodos de acceso múltiple (presentación PDF)

Fig. 3.5 Funcionamiento de TDMA



◇ Características de TDMA

- El número de slots de tiempo depende principalmente de la técnica de modulación y de la disponibilidad de ancho de banda.
- La transmisión es discontinua.
- Utiliza diferentes slots para transmisión y recepción.
- Utiliza ecualización adaptativa. (3)

3.2.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)

El Acceso múltiple por división de código mejor conocido como Spread Spectrum (**Espectro disperso**) es una técnica de modulación que convierten la señal en banda base en una señal modulada con un espectro de ancho de banda que cubre o se esparce sobre una banda de magnitud mas grande que la que normalmente se necesita para transmitir la señal en banda base por si misma. (2)

(2) Idem

(3) Idem

Fig. 3.6 División de código en CDMA

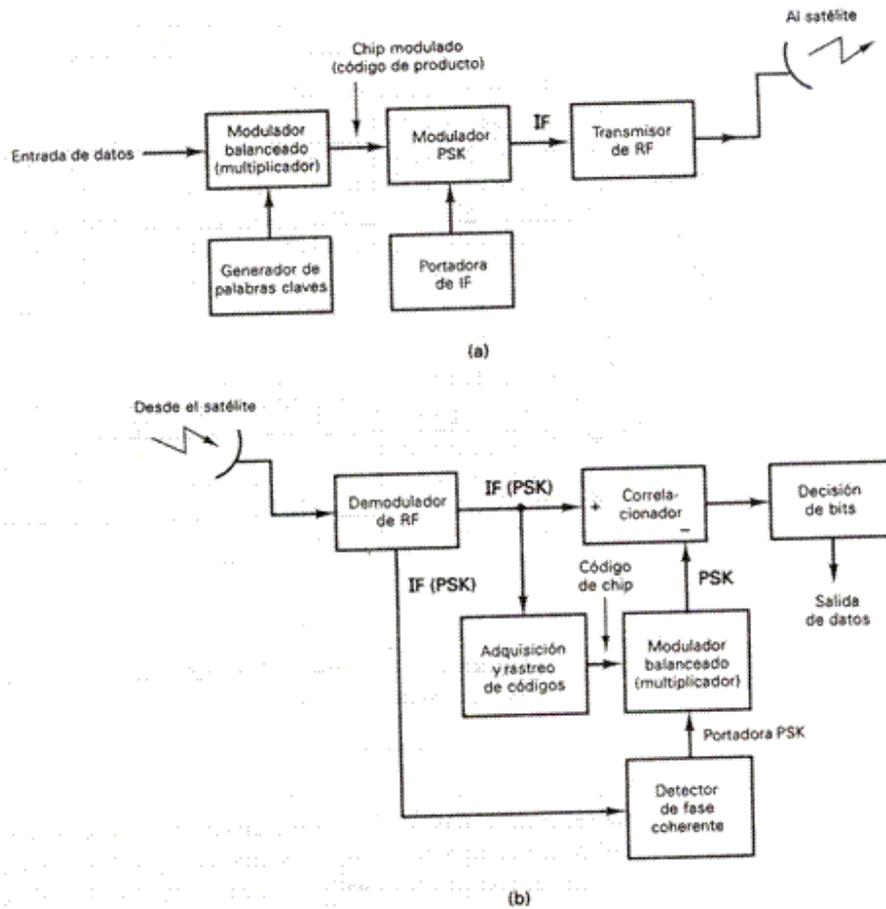
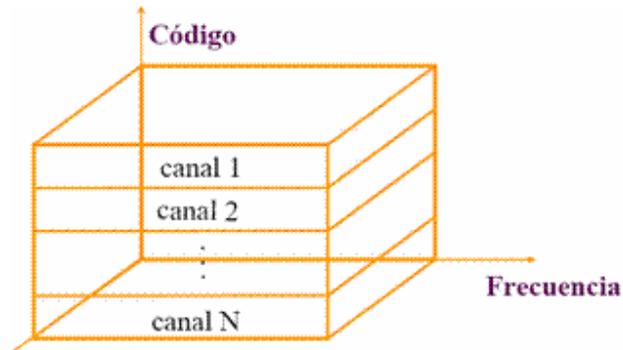


Fig. 3.7 CDMA para transmisión satelital: a) codificador b) decodificador. (6)

◇ Características de CDMA

- Se utiliza la misma frecuencia.
- No existe limitación en el número de usuarios.
- Al aumentar el número de usuarios aumenta la probabilidad de error. (3)

Tabla 1: Comparación de los métodos de Acceso Múltiple

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
FDMA	<p>Asignación de Frecuencias, acceso continuo y controlado del canal. Se recomienda cuando existen pocos nodos con mucho tráfico, con poco ancho de banda a velocidades bajas (menores que 128 Kbps).</p> <p>SCPC/FDMA tiene una capacidad del 100% (cero retardos)</p>	<p>-Disponibilidad fija del canal</p> <p>-No se requiere control centralizado</p> <p>-Terminales de bajo costo.</p> <p>-Usuarios con diferentes capacidades pueden ser acomodados.</p>	<p>-Requiere backoff de intermodulación (bandas de guarda), esto reduce el caudal eficaz del transponder.</p> <p>-Sistema muy rígido, cambios en la red hace difícil el reasignamiento.</p> <p>-El ancho de banda se incrementa conforme el número de nodos aumenta.</p>
TDMA	<p>Asignación de ranuras de tiempo. Cada portadora ocupa diferente ranura. Se recomienda para muchos nodos con tráfico moderado. DAMA se recomienda para muchos nodos con poco tráfico. TDMA tiene una capacidad del 60% al 80%.</p>	<p>-Optimización del ancho de banda</p> <p>-La potencia y ancho de banda del transponder es totalmente utilizado.</p>	<p>-Tiempos de guarda y encabezados reducen el caudal eficaz.</p> <p>-Requiere de sincronización centralizada.</p> <p>-Terminales de alto costo</p>

CDMA	Asignación de códigos a cada usuario. CDMA Capacidad del canal del 10%.	-Se transmite a baja potencia -Control no centralizado, canales fijos. -Inmune a la interferencia.	- Requiere de gran ancho de banda. - Existe un número limitado de códigos ortogonales. - Trabajan solo eficientemente con velocidades preseleccionadas.
------	--	--	---

(4)

3.3 Métodos de multiplexaje

Multiplexaje es la combinación de múltiples canales de información en un medio común de transmisión de alta velocidad. Multiplexar la información es la mejor manera de aprovechar la utilización de enlaces de alta velocidad. Todas las terminales están conectadas a un multiplexor, el cual está conectado a otro multiplexor por medio de un solo enlace. El enlace que existe entre los dos multiplexores tiene la capacidad de transportar múltiples canales de información por separado.

◇ Multiplexores

Su misión consiste en permitir que varios equipos terminales de datos (ETD) o puertos compartan una misma línea de comunicación, por lo general un canal telefónico. Ello es posible siempre que en el canal tenga capacidad suficiente para permitir su uso compartido. Son dispositivos que logran transmitir varios canales en un solo medio de transmisión reuniendo varias señales a baja velocidad y transmitiéndolas posteriormente a todas a través de un canal de alta velocidad. Pudiendo ser estos analógicos (FDM) o digitales (TDM).

(3) Idem

(4) <http://www.eveliux.com/fundatel/viasat02.html>

◇ Tipos de multiplexaje

- Multiplexaje por distribución de frecuencia.
- Multiplexaje por distribución de tiempo.
- Multiplexaje por división de frecuencia ortogonal. (5)

3.3.1 Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM)

En FDM el ancho de banda disponible se divide en un número determinado de slots o segmentos independientes. Cada segmento lleva una señal de información, como por ejemplo un canal de voz. Esta técnica es muy popular en la transmisión analógica como la radiodifusión, TV... Suponiendo que los mensajes a transmitir son de ancho de banda limitado, lo que se hace es modular cada uno de ellos a una frecuencia portadora distinta con lo que se consigue trasladar el mensaje a otra banda del espectro de frecuencias que se encuentre libre. La función del multiplexor es desplazar la señal en frecuencia como se muestra en la figura 3.8.

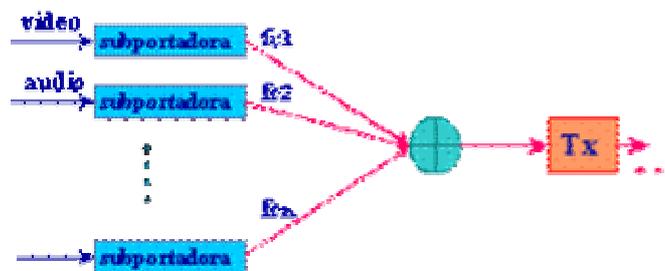


Fig.3.8 Función de un multiplexor

(5) <http://manitos.tripod.com/multiplexaje.htm>

El demultiplexor filtra y traslada de nuevo la señal a su frecuencia original, como se muestra en la figura 3.9.

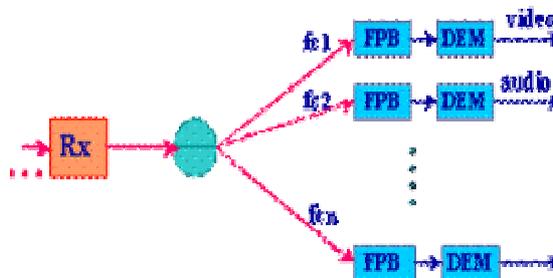


Fig. 3.9 Demultiplexor

FDM es posible sólo cuando el ancho de banda disponible del medio de transmisión es superior que el ancho requerido por las señales a transmitir. Para prevenir problemas de interferencias los canales están separados por bandas de guardia, que son porciones de espectro que no se usan.

Por tanto en un sistema FDM a cada canal de información se le asigna un slot (segmento, o canal) distinto dentro de una banda de frecuencias.

Los dos principales problemas a los que FDM tiene que hacer frente son:
1-. **Crosstalk**: ocurre cuando los espectros de dos señales adyacentes se solapan significativamente. Por ejemplo en caso de señales de voz, cuyo ancho de banda significativo está en torno a los 3100Hz, un ancho de canal de 4KHz es suficiente.

2-. **Ruido de intermodulación**: en un enlace largo, los efectos no lineales de los amplificadores sobre la señal pueden producir componentes frecuenciales en otros canales. (6)

(6) <http://www.it.uc3m.es/~jmoreno/telematica/servidor/apuntes/tema8/tema08.htm>

3.3.2. Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)

Aquí cada canal tiene asignado un periodo o ranura de tiempo en el canal principal y las distintas ranuras de tiempo están repartidas por igual en todos los canales. Tiene la desventaja de que en caso de que un canal no sea usado, esa ranura de tiempo no se aprovecha por los otros canales. Los multiplexores que utilizan la tecnología TDM son dispositivos digitales que combinan varias señales digitales de dispositivos en un solo medio de transmisión.

TDM trabaja acomodando los time slots de cada dispositivo conectado a un puerto. Típicamente, el total de rango de bits para todos los dispositivos no pueden exceder el rango de bits por segundo de la línea de salida. Esto se logra utilizando por medio de técnicas de compresión. Un algoritmo binario en el multiplexor es utilizado para reducir el total de número de bits. (5)

3.3.3 Multiplexaje por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM)

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (**OFDM**), también a veces llamada la modulación discreta del multitone (**DMT**), es una técnica de la transmisión basada sobre la idea de la multiplexación por división de frecuencia (FDM).

En FDM, las señales múltiples se envían en el mismo tiempo, pero en diversas frecuencias.

(5) Idem

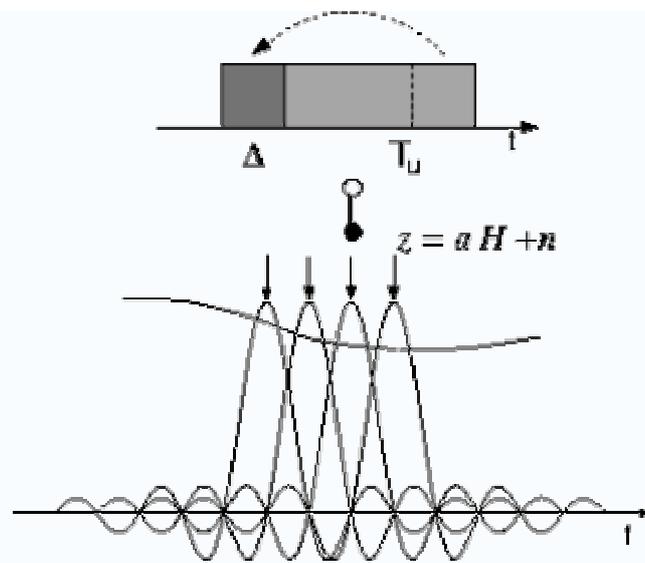


Fig. 3.10 OFDM y el principio del ortogonalidad. (7)

En OFDM, figura 3.10 un solo transmisor transmite en muchas diversas frecuencias (independientes). Es una tecnología compleja a poner en ejecución, pero ahora se utiliza extensamente en sistemas digitales de las telecomunicaciones para hacerla más fácil de codificar y descifrar tales señales.

◇ Características

Una señal de la banda base de OFDM es la suma de un número de sub-carriers orthogonal, con datos sobre cada sub-carrier que es modulado independientemente comúnmente usando un cierto tipo de la modulación de la amplitud de la cuadratura (QAM) o (PSK), temas que se definen mas adelante. Esta señal compuesta de la banda base se utiliza típicamente de modular un portador principal del RF.

(7) http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.ert.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/OFDM/www_ofdm.html&prev=/search%3Fq%3Dofdm%26hl%3Des%26lr%3D

Las ventajas de usar OFDM son muchas, incluyendo alta eficacia del espectro, resistencia contra interferencia multidireccional (particularmente en comunicaciones sin hilos), y facilidad de la filtración fuera de ruido (si una gama particular de frecuencias sufre de interferencia, los portadores dentro de esa gama pueden ser lisiados o hechos para funcionar más lento. (8)

◇ **Sistemas que utilizan OFDM**

Entre los sistemas que usan OFDM destacan:

- La televisión digital terrestre DVB-T
- La radio digital DAB
- La radio digital de baja frecuencia DRM
- El protocolo de enlace ADSL
- El protocolo de red de área local IEEE 802.11a/g, también conocido como Wireless LAN
- El sistema de transmisión inalámbrica de datos WiMax. (9)

◇ **DVB-T (Televisión digital terrena)**

Las especificaciones del sistema de televisión digital terrena se aprobaron por la ETSI en febrero de 1997. Y dentro de sus características principales se tienen las siguientes:

(8) http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing

(9) <http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n>

Las características principales de este sistema son:

- MPEG-2: tanto para el vídeo como para el sonido.
- COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing): Se utilizan 6817 portadoras (o 1705) para posibilitar redes de frecuencia única y protección frente a multitrayecto.
- Intervalo entre símbolos: se reduce la tasa binaria dejando un tiempo entre símbolos en el que pueda producirse interferencia debido a que el multitrayecto produce un retardo entre señales. Así se elimina la interferencia entre símbolos para una distancia a la fuente dada. Cuanto más radio de cobertura, mayor intervalo entre símbolos se necesita.
- Codificación convolucional: se aplica a la señal antes de modular para reducir la relación portadora-ruido necesaria en la detección.
- Modulación QPSK, 16-QAM y 64-QAM: para poder variar el régimen binario frente a la robustez.
- Codificación del canal jerárquico: para poder enviar información de mayor y menor peso que permitan dos calidades de recepción.

Una señal de TV pasada a formato digital necesita una tasa binaria de 166Mb/s para transmitirse. Comprimida con MPEG-2 necesita tan sólo unos 5Mb/s ya que se elimina gran parte de la redundancia de la señal.

Combinando los diferentes esquemas de codificación con los diferentes intervalos entre símbolos y las diferentes modulaciones, en un canal de 8MHz se puede transmitir tasas útiles de entre 5 y 32Mb/s, y por tanto se puede transmitir entre 1 y 5 canales de televisión con calidad digital por donde antes sólo iba un canal analógico. Reduciendo la fidelidad se puede disminuir la tasa binaria de cada canal y emitir todavía más canales de TV. (10)

(10) <http://www.com.uvigo.es/asignaturas/rcom/TEMA7.htm>

◇ Sistema DAB

El sistema DAB (Digital Audio Broadcasting) nació en 1987 como un proyecto europeo denominado Eureka 147. El DAB es un sistema muy robusto diseñado para receptores tanto domésticos como portátiles y, especialmente, para la recepción en móviles; para la difusión por satélite y para la difusión terrenal y que, además del audio, nos permite introducir datos. Esta tecnología no tiene los problemas de la FM cuando se reciben muchas señales de diferentes puntos: del propio transmisor y otras reflexiones, dispersiones y difracciones que varían con el tiempo. Lo que se consigue con el sistema DAB es que la mayor parte de las señales que entran en el receptor se sumen, es decir, que contribuyan positivamente a la recepción.

La técnica DAB permite introducir muchos canales en el espectro, y con ello muchos programas, es decir, prácticamente se multiplica la capacidad de programas utilizando el mismo espectro. Además, el sistema permite emitir un gran número de programas por múltiplex, dependiendo de la calidad que se requiera. La calidad de los programas en DAB es similar a la del disco compacto pero no exactamente la misma, aunque al oído le suene prácticamente igual. Este sistema se basa fundamentalmente en dos principios:

- 1.- La codificación en la fuente MP2
- 2.- La del canal COFDM.

La codificación en la fuente, que originalmente se denominó Musicam y que después se normalizó denominándose MPEG2 ó MP2, es un sistema muy parecido al MP3 pero necesita menor capacidad de procesamiento que éste. Se basa fundamentalmente en poder reducir información que el oído no distingue. Lo que hacemos con este sistema es eliminar todo aquello que el oído no va a percibir. De esta forma se consigue disminuir el ancho de banda que se necesita para transmitir.

- Difusión Digital

El sistema DAB utiliza para la codificación del canal de transmisión el sistema de modulación COFDM. Es un múltiplex por división de frecuencias ortogonales en el cual realizamos una codificación. Por un lado, la codificación introduce redundancia para poder detectar los errores de transmisión y corregirlos y, además, el sistema utiliza diversidad en el tiempo, diversidad en el espacio y diversidad en frecuencia. La diversidad en el tiempo se consigue mediante un entrelazado en el tiempo de toda la información, de forma que si hay alguna perturbación, al tener la información distribuida es posible recuperarla mejor. Con la diversidad en frecuencia conseguimos que la información se distribuya de manera discontinua en todo el espectro del canal y se vea menos afectada por las perturbaciones; y con la diversidad en el espacio, que se pueda enviar desde diferentes centros emisores y que todos ellos contribuyan positivamente creando una red de frecuencia única y, asimismo, que las reflexiones de la señal contribuyan positivamente en el receptor.

◆ **Características del sistema DAB.**

El Sistema DAB proporciona radiodifusión digital multiservicio de alta calidad, destinada a receptores móviles, portátiles y fijos, tanto para la radiodifusión terrenal como para radiodifusión por satélite. Es un sistema flexible que permite una amplia gama de opciones de codificación de los programas, de los datos asociados a los programas radiofónicos y de los servicios de datos adicionales.

Sus principales características son las siguientes:

- **Eficiencia en la utilización del espectro y la potencia.** Se utiliza un único bloque para una Red nacional, territorial o local terrenal, con transmisores de baja potencia.
- **Mejoras en la recepción.** Mediante el sistema DAB se superan los

efectos que la propagación multitrayecto, debida a las reflexiones en edificios, montañas, etc., produce en los receptores estacionarios, portátiles y móviles y se protege la información frente a interferencias y perturbaciones. Estas mejoras se logran mediante la transmisión COFDM que utiliza un sistema de codificación para distribuir la información entre un elevado número de frecuencias.

- **Rango de frecuencias de transmisión:** El sistema DAB está diseñado para poder funcionar en el rango de frecuencias de 30 MHz. a 3.000 MHz.
- **Distribución:** Se puede realizar por satélite y/o transmisiones terrenales o de cable utilizando diferentes modos que el receptor detectará automáticamente.
- **Calidad de sonido:** Es equivalente a la del Disco Compacto (CD). En el sistema DAB se aprovecha el efecto de enmascaramiento que se produce debido a las características psicoacústicas del oído humano, ya que no es capaz de percibir todos los sonidos presentes en un momento dado, y por tanto no es necesario transmitir los sonidos que no son audibles. El sistema DAB utiliza un sistema de compresión de sonido llamado MUSICAM para eliminar la información no audible, consiguiendo así reducir la cantidad de información a transmitir.
- **Multiplexado:** De manera análoga a como se entra en un multicine donde se exhiben varias películas y seleccionamos una de ellas, es posible “entrar” en un múltiplex DAB y seleccionar entre varios programas de audio o servicios de datos. El sistema DAB permite multiplexar varios programas y servicios de datos para formar un bloque y ser emitidos juntos, obteniéndose la misma área de servicio para todos ellos.
- **Capacidad:** Cada bloque (múltiplex) tiene una capacidad útil de

aproximadamente 1,5 Mbit/s, lo que por ejemplo permite transportar 6 programas estéreo de 192 kbit/s cada uno, con su correspondiente protección, y varios servicios adicionales.

- **Flexibilidad:** Los servicios puede estructurarse y configurarse dinámicamente. El sistema puede acomodar velocidades de transmisión entre 8 y 380 kbit/s incluyendo la protección adecuada.
 - **Servicios de Datos:** Además de la señal de audio digitalizada, en el múltiplex se transmiten otras informaciones:
 - **El canal de información:** Transporta la configuración del múltiplex, información de los servicios, fecha y hora, servicios de datos generales como: radiobúsqueda, sistema de aviso de emergencia, información de tráfico, sistema de posicionamiento global, etc.
 - **Los datos asociados al programa:** Se dedican a la información directamente relacionada con los programas de audio: títulos musicales, autor, texto de las canciones en varios idiomas, etc.
 - **Servicios adicionales:** Son servicios que van dirigidos a un grupo reducido de usuarios, como por ejemplo: cancelación de tarjetas de crédito robadas, envío de imágenes y textos a tableros de anuncios electrónicos, etc.
 - **Coberturas:** La cobertura puede ser local, regional nacional y supranacional. El sistema es capaz de añadir constructivamente las señales procedentes de diferentes transmisores en el mismo canal, lo que permite establecer redes de frecuencia única para cubrir un área geográfica determinada en la que es posible utilizar pequeños transmisores para cubrir las zonas de sombra dejadas por aquellos.
- (11)

(11) <http://www.rtve.es/dab/queesdab.html>

◇ DRM (Radio Digital Mundial)

DRM son las siglas de la Radio Digital Mundial (Digital Radio Mondiale), que consiste en un sistema de transmisión digital por radio por debajo de 30 MHz. Comprende las bandas de onda media (MF), onda corta (LF) y onda larga (HF). La norma que regula la señal DRM prevé cuatro canales de propagación diferentes y adapta la señal a cada uno de los canales modificando el intervalo de guarda y la duración del símbolo en la modulación OFDM. Existen varios tipos de canalizaciones, y así en MF, con canales de 9 KHz, se puede utilizar medio canal (modo 0), un canal (modo 2) o dos canales (modo 4).

Además de los efectos de propagación, la señal DRM se ve afectada por el ruido, por lo que hay que decidir el tipo de modulación y la protección frente a errores. El índice de codificación medio R (cociente entre tasa efectiva y tasa total) está comprendido entre 0,5 y 0,78. Las modulaciones utilizadas pueden ser la 16-QAM y la 64-QAM.

Existen tres codificaciones para el audio que permiten emitir una señal de calidad con un régimen binario bajo. En la tabla 2 se pueden apreciar estas codificaciones y sus principales características.

	AAC	CELP	HVXC
Codificador	MPEG-4 Advanced Audio Coding	MPEG-4 Code Excited Linear Prediction	MPEG-4 Harmonic Vector excitation Coding
Muestreo	12 o 24 KHz	8 o 16 KHz	8 KHz
Régimen binario	Variable	Entre 4 y 20 Kb/s	2 o 4 Kb/s

Tabla 2. Características de los codificadores de audio de DRM.

Si se utiliza AAC con SBR, además se puede enviar la información de dos canales mediante el codificador PS (Parametric Stereo).

En este caso, la frecuencia de muestreo tiene que ser 24 KHz y la tasa resultante estaría entre 18 y 26 Kb/s. (10)

◇ ADSL

El ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) es una tecnología de banda ancha que permite que la PC reciba datos a una velocidad elevada comparada con el módem, a través de la línea de teléfono convencional y mediante la modulación de la señal de datos utilizada por la computadora.

El término asimétrico (asymmetric) indica que la velocidad del servicio puede medirse en dos direcciones: hacia el usuario y desde el usuario. A su vez, la velocidad tiene dos rangos, el primero, conocido como de ascenso (upstream), con el que el usuario puede enviar datos desde su computadora; y el segundo, descenso (downstream), donde se define la velocidad con la que el usuario puede descargar contenidos en su computadora.

Todas las variantes de ADSL ofrecen una velocidad de ascenso (upstream) de 128 kbps/seg, mientras que la correspondiente a descenso (downstream) la elige el usuario al contratar la tecnología y se ubica entre los rangos de 256 kbps/seg y 512 kbps/seg.

Por lo general, el descenso es mayor debido a que regularmente se recibe más información (música, páginas web, videos o imágenes) que la que se envía (correos y peticiones de páginas).

(10) Idem

• Descripción de la modulación

La técnica de modulación ADSL permite la transmisión de datos a gran velocidad sobre el par de cobre. La primera diferencia entre esta técnica y las usadas por los módems en banda vocal (V.32 a V.90) es que las últimas únicamente transmiten en la banda de frecuencias empleada en telefonía (300 Hz a 3,400 Hz), mientras que los módems ADSL operan en un intervalo de frecuencias mucho más amplio que va desde los 24 KHz hasta los 1,104 KHz, aproximadamente.

Otra diferencia entre el ADSL y diversos módems es que el primero puede coexistir en un mismo bucle de abonado con el servicio telefónico (véase en el párrafo anterior el intervalo de frecuencias en el que trabaja el ADSL), lo cual no es posible con un módem convencional pues opera en banda vocal, igual a la utilizada en telefonía.

Al tratarse de una modulación en la que se transmiten diferentes frecuencias en los sentidos usuario → red y red → usuario, el módem ADSL situado en el extremo del usuario es distinto del ubicado al otro lado del bucle, en la central local. En la figura 3.11, se muestra un enlace ADSL entre un usuario y la central local de la que depende, también se observa que además de los módems situados en casa del usuario (ATU-R o ADSL Terminal Unit-Remote) y en la central (ATU-C o ADSL Terminal Unit-Central), delante de cada uno de ellos se coloca un dispositivo denominado derivador (splitter, figura 3.12), que no es más que un conjunto de dos filtros: uno paso alto y otro paso bajo, cuyo objetivo es el de separar las señales transmitidas por el bucle, es decir, las señales de baja frecuencia (telefonía) de las de alta frecuencia (ADSL).

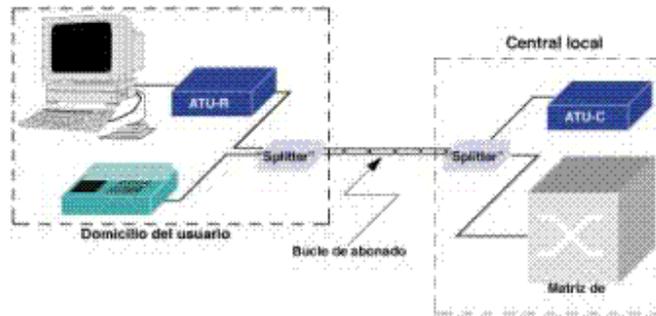


Figura 3.11 Enlace ADSL.

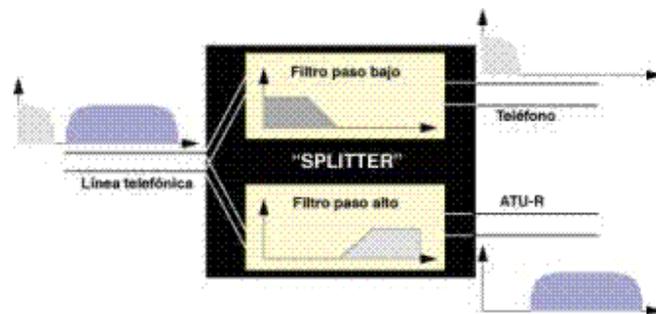


Figura 3.12 Funcionamiento del derivador (splitter).

La técnica de modulación usada para el ADSL se denomina DMT (Discrete MultiTone) y, básicamente, consiste en el empleo de múltiples portadoras y no sólo una, lo cual se hace en los módems de banda vocal. Cada una de estas portadoras (subportadoras) es modulada en cuadratura (modulación QAM), por una parte del flujo total de datos que se van a transmitir. Estas subportadoras se encuentran separadas entre sí 4,3125 KHz, y el ancho de banda ocupado por cada subportadora modulada es de 4 KHz.

• Ventajas de una conexión ADSL

- Gran velocidad de conexión a Internet (256 kbps de bajada y 128 kbps de envío en el servicio básico o superior).
- Conexión permanente, además de que se pueden utilizar teléfono/fax e Internet al mismo tiempo.
- La capacidad no se comparte con otros usuarios como sucede con el cable.

• Desventajas

- No todas las líneas pueden ofrecer este servicio (por ejemplo, las que se encuentran en muy mal estado o a gran distancia de la central).
- La (mala) calidad del cableado en el domicilio del usuario puede afectar de forma negativa el funcionamiento del sistema.
- Hoy en día, en México, se ofrecen servicios de 256, 512, 1000 y 2000 kbps en velocidad de bajada y 128, 256 y 512 kbps en velocidad de subida. (12)

◇ IEEE 802.11

El protocolo **IEEE 802.11** o **WI-FI** es un estándar de protocolo de comunicaciones de la IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local.

- **802.11a.-** La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 Ghz y utiliza 52 subportadoras orthogonal frequency-división multiplexing (OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s.

(12) <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2005/junio/adsl.htm>

Lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. 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.

- **802.11b.-** La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbit/s y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbit/s sobre TCP y 7.1 Mbit/s sobre UDP.

- **802.11g.-** En Junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación: 802.11g. Éste utiliza la banda de 2.4 Ghz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, o cerca de 24.7 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias.

Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares.

Sin embargo, en redes bajo el estándar b la presencia de nodos bajo el estándar g 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 b. (13)

◇ **Wimax**

Wimax (del inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, intercomunicación Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (**802.16d**) diseñado para ser utilizado en el área metropolitana o MAN proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología portátil LMDS.

Integra la familia de estándares IEEE 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI. El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66 GHz y requería torres LOS. La nueva versión 802.16a, ratificada en marzo de 2003, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación. Además, como ventaja añadida, no requiere de torres LOS sino únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos.

Su instalación es muy sencilla y rápida y su precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como Wi-Fi.

(13) http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias.

Está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 48 kilómetros permitiendo la conexión sin línea vista, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con un índice de modulación de 5.0 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz. Este estándar soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).

Wimax se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana. (14)

3.4 Tipos de modulación

En telecomunicación el término **modulación** engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda senoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que permitirá transmitir más información simultánea y/o proteger la información de posibles interferencias y ruidos.

Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.

(14) <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

Dependiendo del parámetro sobre el que se actúe, tenemos los distintos tipos de modulación:

- Modulación de amplitud (**AM**)
- Modulación de fase (**PM**)
- Modulación de frecuencia (**FM**)
- Modulación de amplitud en cuadratura (**QAM**)

También se emplean técnicas de modulación por impulsos, entre ellas:

- Modulación por impulsos codificados (**PCM**)

Para la modulación por desplazamiento pueden ser:

- Modulación por desplazamiento de amplitud (**ASK**)
- Modulación por desplazamiento de frecuencia (**FSK**)
- Modulación por desplazamiento de fase (**PSK**)
- Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (**QPSK**)

3.4.1 Modulación de amplitud (AM)

Es un tipo de modulación lineal consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir. La modulación de amplitud es equivalente a la modulación en doble banda lateral con reinserción de portadora.

La ecuación de una señal modulada en AM es la siguiente:

$$y(t) = A_p \cdot [1 + m \cdot x_n(t)] \cdot \cos(w_p \cdot t)$$

Siendo:

$y(t)$ = Señal modulada

$x_n(t)$ = Señal moduladora normalizada con respecto a su amplitud

A_p = Amplitud de la portadora

m = Índice de modulación ($0 < m < 1$)

ω_p = Fase de la onda portadora. (9)

Una portadora puede modularse de diferentes modos dependiendo del parámetro de la misma sobre el que se actúe.

Se modula en amplitud una portadora, cuando sea la distancia existente entre el punto de la misma en el que la portadora vale cero y los puntos en que toma el valor máximo ó mínimo, la que se altere, esto es, su amplitud. Fig. 3.13

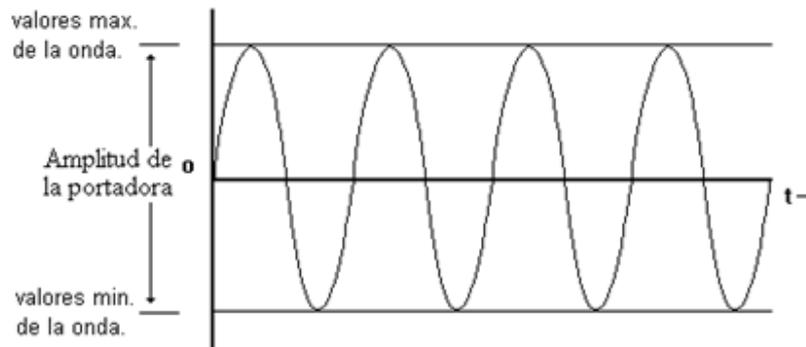


Fig. 3.13 Representación de la onda portadora.

Es la amplitud (intensidad) de la información a transmitirla que varía la amplitud de la onda portadora. Y resulta que, al añadir esta información se obtiene tres frecuencias:

- a) La frecuencia de la portadora f
- b) La frecuencia suma de la portadora y la información.
- c) La frecuencia diferencia de la portadora y la información.

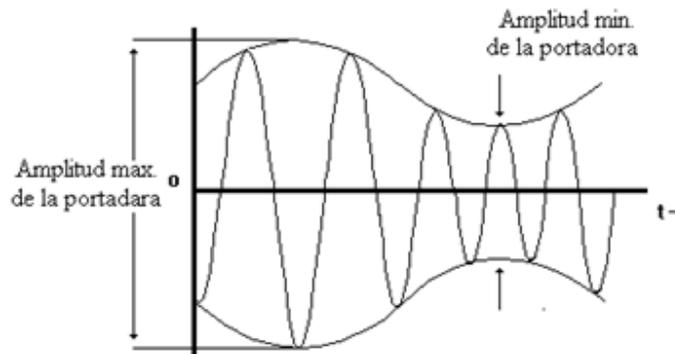


Fig. 3.14 Onda modulada en amplitud. (15)

3.4.2 Modulación de fase (PM)

Si la fase de la onda portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante, resulta una señal de modulación en fase, fig.3.15. En una onda senoidal pueden variar tres propiedades: la amplitud, la frecuencia y la fase. Por lo tanto si variamos la fase de una portadora con amplitud constante directamente proporcional, a la amplitud de la señal modulante, con una velocidad igual a la frecuencia de la señal modulante, obtenemos la PM (Phase Modulation). (9)

(15) <http://olmo.cnice.mecd.es/~jmarti50/radio2/radio2.html>

(9) Idem

- Se modula la fase instantánea de la portadora con la señal moduladora.
- La frecuencia instantánea de la señal transmitida. La frecuencia instantánea de la señal transmitida.
- A mayor frecuencia de señal moduladora, mayor pendiente y mayor ancho de banda.

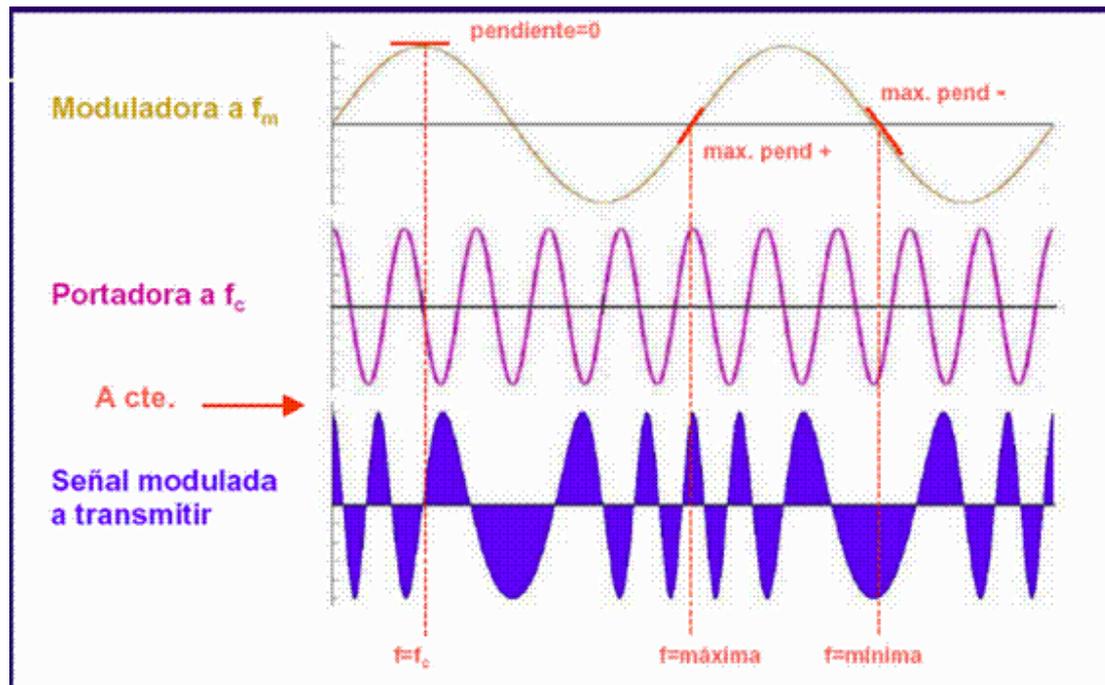


Fig. 3.15 Modulación de fase (PM). (16)

3.4.3 Modulación de frecuencia (FM)

Es el proceso de codificar información, la cual puede estar tanto en forma digital como analógica, en una onda portadora mediante la variación de su frecuencia instantánea de acuerdo con la señal de entrada, Fig. 3.16.

La modulación de frecuencia requiere un ancho de banda mayor que la modulación de amplitud para una señal modulante equivalente, sin embargo este hecho hace a la señal modulada en frecuencia más resistente a las interferencias. La modulación de frecuencia también es más robusta ante fenómenos de desvanecimiento de amplitud de la señal recibida. Es por ello que la FM fue elegida como la norma de modulación para las transmisiones radiofónicas de alta fidelidad. (9)

- Se modula la frecuencia instantánea de la portadora con la señal moduladora.
- A mayor tensión de señal moduladora, mayor ancho de banda

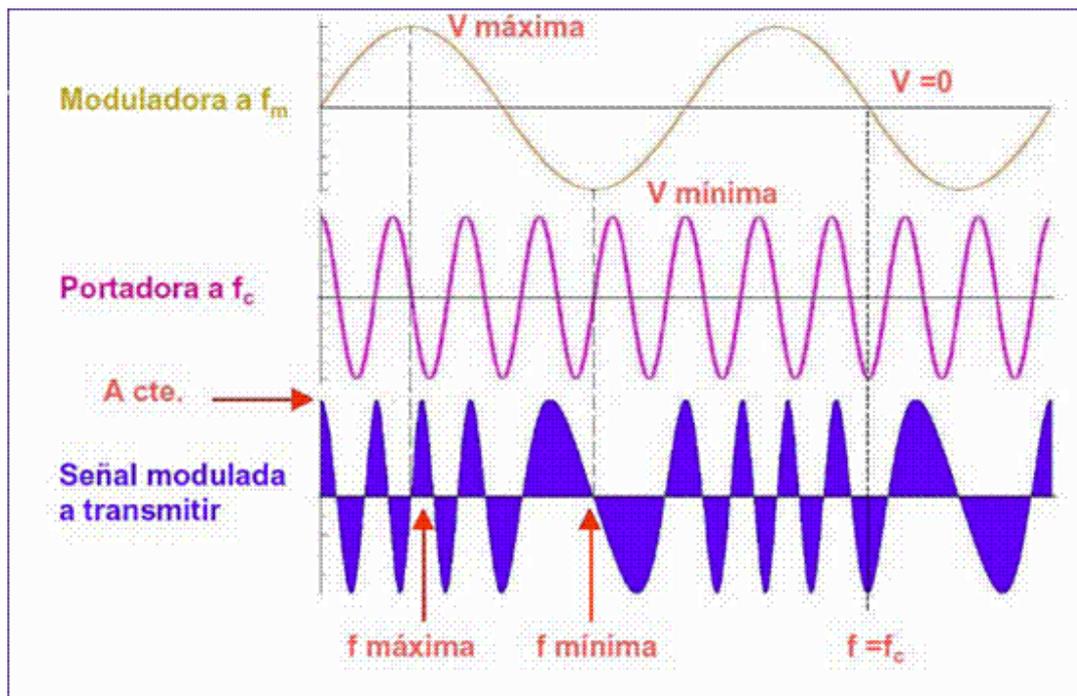


Fig. 3.16 Modulación de frecuencia (FM). (16)

(9) Idem

(16) Idem

3.4.4 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura, en inglés (*QAM*), es una modulación lineal que consiste en modular en doble banda lateral dos portadoras de la misma frecuencia desfasadas 90° . Cada portadora es modulada por una de las dos señales a transmitir. Finalmente las dos modulaciones se suman y la señal resultante es transmitida. Este tipo de modulación tiene la ventaja de que ofrece la posibilidad de transmitir dos señales en la misma frecuencia, de forma que favorece el aprovechamiento del ancho de banda disponible. Tiene como inconveniente que es necesario realizar la demodulación con demoduladores síncronos. (9)

◆ Transmisor QAM básico.

Se muestra a continuación, Fig. 3.17. Los datos d_i serie de entrada, generados a velocidad R_b bps se agrupan mediante un conversor serie/paralelo, formando palabras de J bits que pasarán al módulo de mapeo de estas palabras. Este módulo se encarga de seleccionar un símbolo de entre los $M=2^J$ posibles símbolos, ubicados sobre un espacio bidimensional. A la salida, los símbolos se producen por tanto a una velocidad de $f_s = (R_b / J)$.

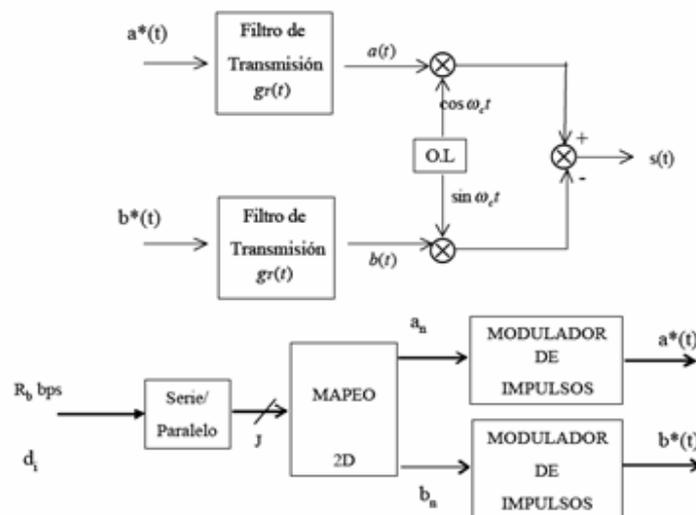


Fig. 3.17 Transmisor QAM

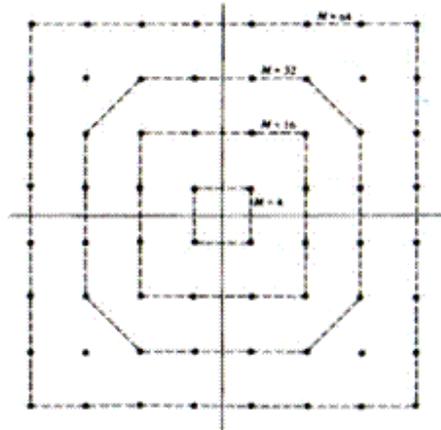


Fig. 3.18 Constelaciones QAM. (17)
(M= 4, 16, 32, 64)

3.4.5 Modulación por impulsos codificados (PCM)

La Modulación por Impulsos Codificados (MIC) o (PCM), es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits. En la figura 3.19 se muestra la disposición de los elementos que componen un sistema que utiliza la modulación por impulsos codificados.

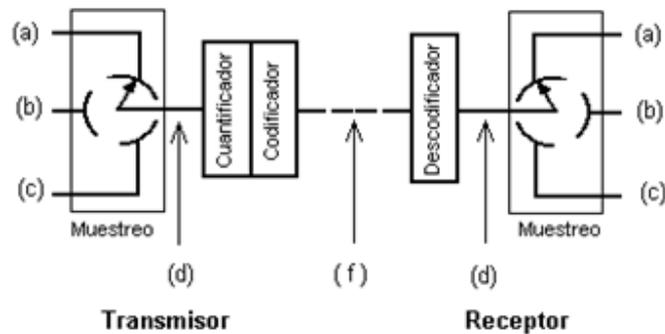


Figura 3.19 Disposición de elementos en un sistema MIC.

En la Figura 3.20 tenemos las formas de onda en distintos puntos del sistema anteriormente representado

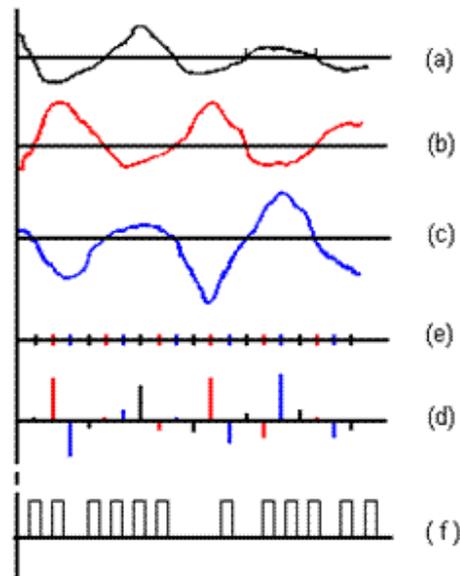


Fig. 3.20 Formas de onda en diversos puntos de un sistema MIC.

Las funciones de las distintas etapas de las que consta el sistema se detallan a continuación.

- **Muestreo.**- Consiste en tomar muestras (medidas) del valor de la señal n veces por segundo con lo que tendrán n niveles de tensión en un segundo.

Así, cuando en el sistema de la Figura 3.19, aplicamos en las entradas de canal las señales (a), (b) y (c) (Figura 3.20), después del muestreo obtenemos la forma de onda (d).

Para un canal telefónico de voz es suficiente tomar 8000 muestras por segundo o lo que es lo mismo una muestra cada 125 μ seg. Esto es así porque, de acuerdo con el teorema de muestreo, si se toman muestras de una señal eléctrica continua a intervalos regulares y con una frecuencia doble a la frecuencia más elevada de la señal, dichas muestras contendrán toda la información necesaria para reconstruir la señal original.

● **Cuantificación.-** En la cuantificación se asigna un determinado valor cuántico a cada uno de los niveles de tensión obtenidos en el muestreo. Como las muestras pueden tener un infinito número de valores en la gama de intensidad de la voz, gama que en un canal telefónico es de aproximadamente 60 dB, o lo que es lo mismo una relación de tensión de 1000:1, con el fin de simplificar el proceso, lo que se hace es aproximar al valor más cercano de una serie de valores predeterminados.

● **Codificación.-** En la codificación, a cada nivel de cuantificación se le asigna un código binario distinto, con lo cual ya tenemos la señal codificada y lista para ser transmitida. La forma de onda sería la indicada como (f) en la Figura 3.20

● **Recuperación de la señal analógica.-** En la recepción se realiza un proceso inverso con lo que la señal que se recompone se parecerá mucho a las originales (a), (b) y (c), si bien durante el proceso de cuantificación, debido al redondeo de las muestras a los valores cuánticos, se produce una distorsión conocida como *ruido de cuantificación*. En los sistemas normalizados, los intervalos de cuantificación han sido elegidos de tal forma que se minimiza al máximo esta distorsión, con lo que las señales recuperadas son una imagen casi exacta de las originales. (9)

3.4.6 Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

La modulación por desplazamiento de amplitud (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora. (9)

(9) Idem

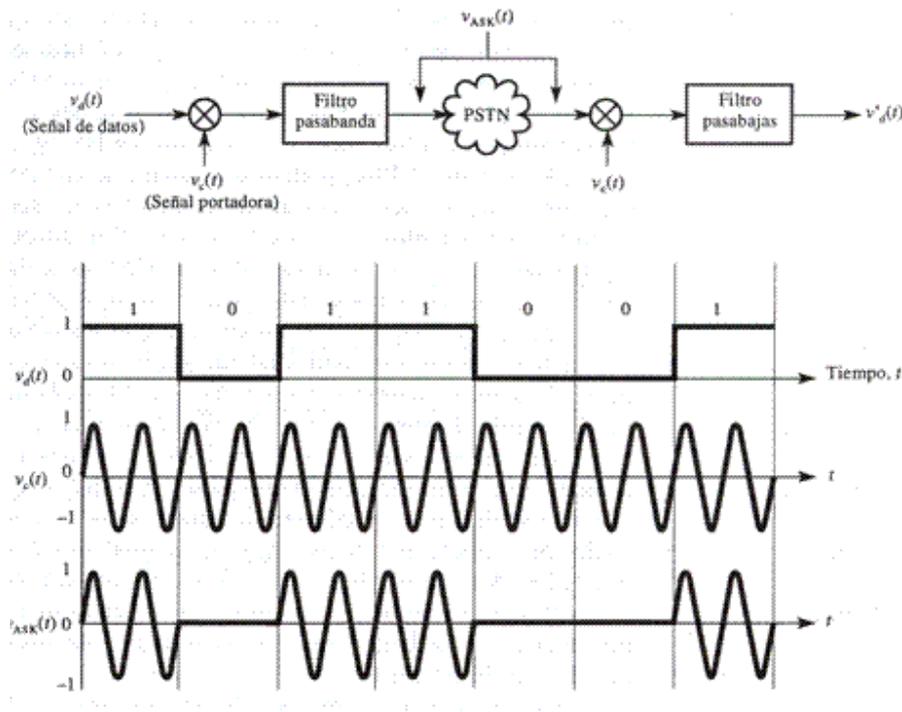


Fig. 3.21 Modulación de cambio de amplitud ASK. (5)

El principio de funcionamiento de ASK se muestra en la figura 3.21 en la cual se presenta un conjunto de formas de onda. La portadora se escoge de modo que este dentro de la banda de frecuencias-el ancho de banda- disponible en la PSTN. El ancho de banda requerido para transmitir la señal de datos binarios esta determinado por la tasa de bits de la señal: cuanto mayor sea la tasa de bits, más grande será el ancho de banda requerido.

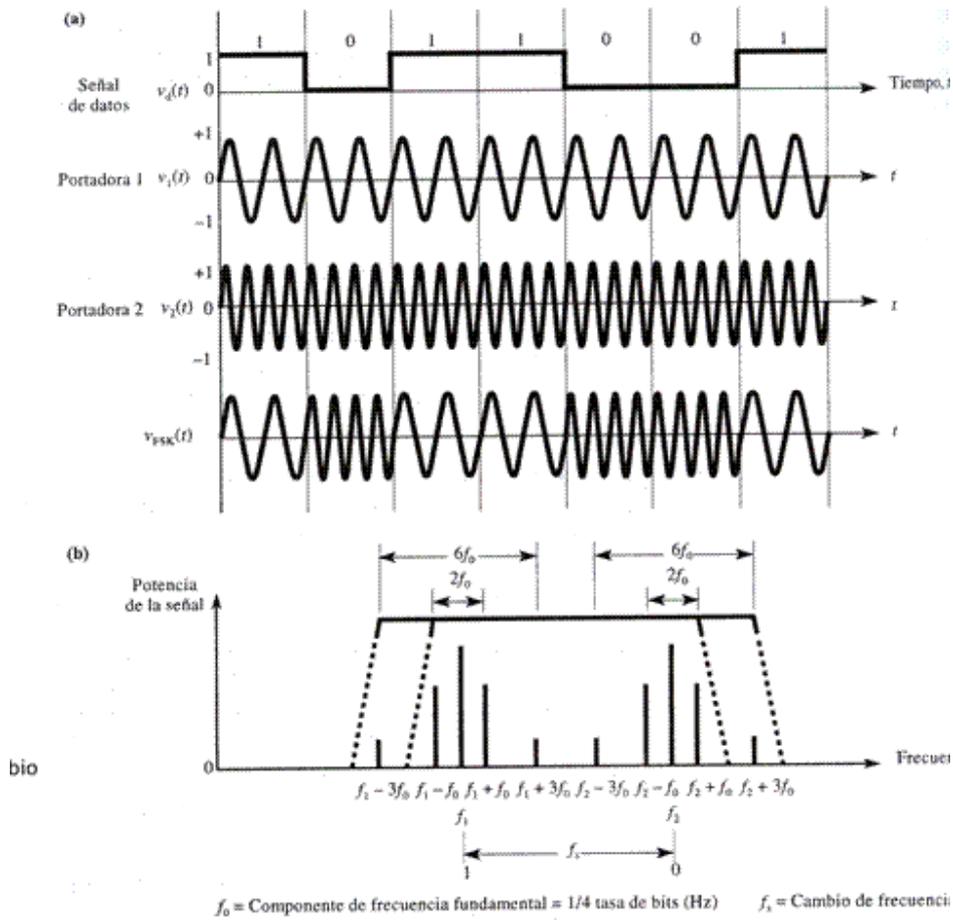
En términos matemáticos, la operación de modulación ASK equivale a multiplicar la señal portadora por la señal de datos binarios. Puesto que la portadora es un tono de audio monofrecuencia, suponiendo una señal de amplitud unidad, podremos representarla mediante la siguiente expresión:

$$V_c(t) = \cos \omega_c t$$

Donde ω_c es la frecuencia portadora en radianes por segundo.

Por tanto podemos deducir que una señal ASK equivale a la señal de datos original trasladada a una frecuencia superior por la señal portadora, w_c , pero con dos componentes de frecuencia para la fundamental ($w_c - w_o$) y ($w_c + w_o$), y dos para las armónicas ($w_c - 3w_o$) y ($w_c + 3w_o$). Todas ellas están a distancias iguales a ambos lados de la portadora, y se les llama bandas laterales. Así, la señal modulada ASK es como lo muestra la última imagen de la figura 3.21. (3)

3.4.7 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)



3.22 Modulación de cambio de frecuencia FSK.

La FSK es el método de modulación usado en todos los módems con baja tasa de bits, en la figura 3.22 se ilustra el principio de funcionamiento, para no depender de las variaciones en la amplitud, la FSK utiliza dos señales portadoras de amplitud fija, una para el 0 binario y la otra para el 1 binario. A la diferencia entre las dos portadoras se le llama cambio de frecuencia y , como se aprecia en la figura, la operación de modulación equivale a sumar las salidas de dos moduladores ASK independientes: uno que opera sobre la primera portadora con la señal de datos original y otro que opera sobre la segunda portadora con el complemento de la señal de datos.

Podemos deducir que el ancho de banda que requiere la FSK es tan solo la suma de dos portadoras independientes moduladas por ASK con frecuencia w_1 y w_2 . Por tanto, los requerimientos de ancho de banda de una señal FSK son como se muestran en la figura 3.22(b). (3)

◇ Características FSK:

- Mínima separación entre frecuencias = $1/(2T)$.
- Las frecuencias utilizadas, f_1 y f_2 , corresponden a desplazamientos de igual magnitud, pero en sentidos opuestos de la portadora.
- Menos sensible a errores que ASK.
- Hasta 1200 bps en líneas telefónicas.
- Transmisión de radio entre 3 y 30 MHz.
- Frecuencias incluso superiores en LAN con cable coaxial. (17)

(3) Ob. Cit. Pág.- 64

(16) Idem

3.4.8 Modulación PSK

En la PSK la frecuencia y la amplitud de la señal portadora se mantienen constantes mientras la portadora cambia de fase conforme se transmite cada bit del flujo de datos. El principio de funcionamiento se ilustra en la figura 3.23 (a). Como puede verse, entran en juego dos tipos de PSK. En el primero dos señales portadoras fijas representan un 0 y un 1 binarios, con una diferencia de fase de 180° entre si. Puesto que cada señal no es más que la inversa de la otra, se llama PSK de fase coherente. Las desventajas de este esquema es que requiere una señal portadora de referencia en el receptor con la cual sea posible comparar la fase de la señal recibida. El ancho de banda de una señal PSK es como el de la figura 3.23 (b)

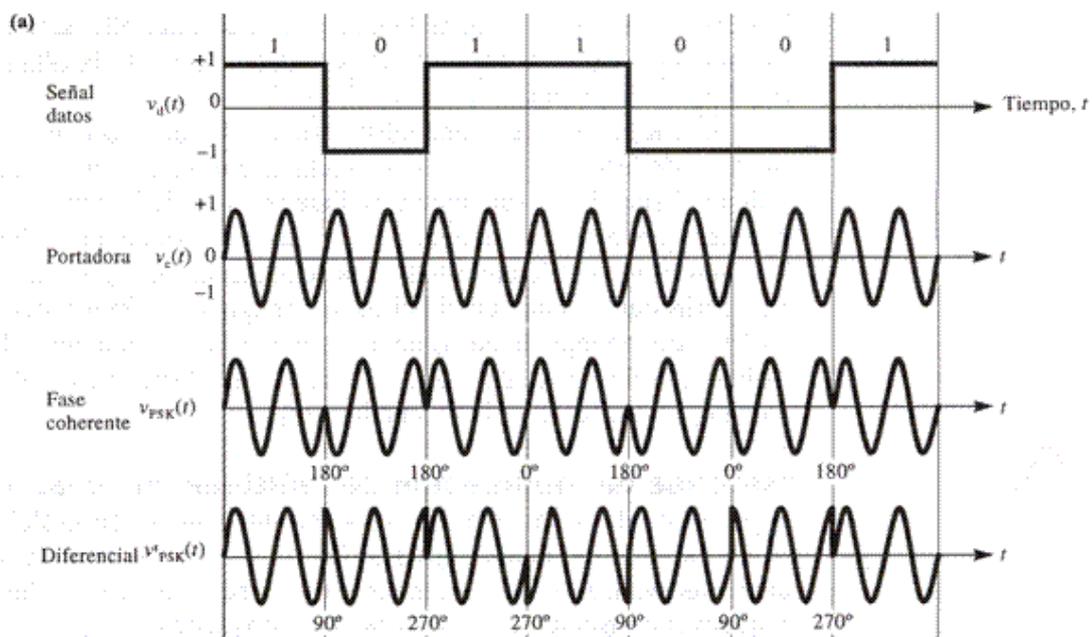


Fig. 3.23(a) Modulación PSK.

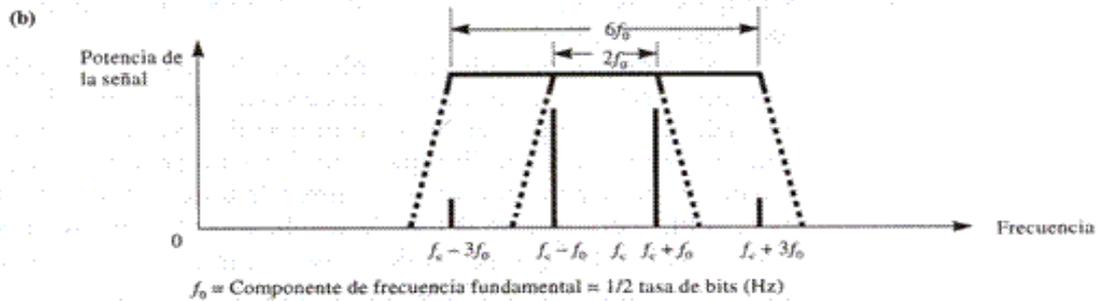


Fig. 3.23 (b) Ancho de banda PSK. (ζ)

3.4.9 Modulación QPSK

La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria o en cuadratura es una técnica de codificación M-ario, en donde $M=4$. Con QPSK son posibles 4 fases de salida, pero una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay 4 fases de salida diferente, tiene que haber 4 condiciones de entrada diferentes, ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria, para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada, con 2 bits hay 4 posibles condiciones: 00, 01, 10, 11. En consecuencia, con QPSK, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles. Por tanto para cada dibit introducido al modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que, la razón de cambio de salida es la mitad de en la razón de bit de entrada.

En la figura 3.24 se muestra un diagrama a bloques de un modulador de QPSK. Dos bits se introduce al derivador de bits. Después que ambos bits han sido introducidos, en forma serial, salen simultáneamente en forma paralela. Un bit se dirige al canal I y otro al canal Q.

(ζ) Ob. Cit. Pág.- 67

El bit I modula una portadora que esta en fase con el oscilador de referencia (de ahí el nombre de "I" para el canal "en fase"), y el bit Q modula una portadora que esta 90° fuera de fase o en cuadratura con la portadora de referencia. (de ahí el nombre de "Q" para el canal de "cuadratura").

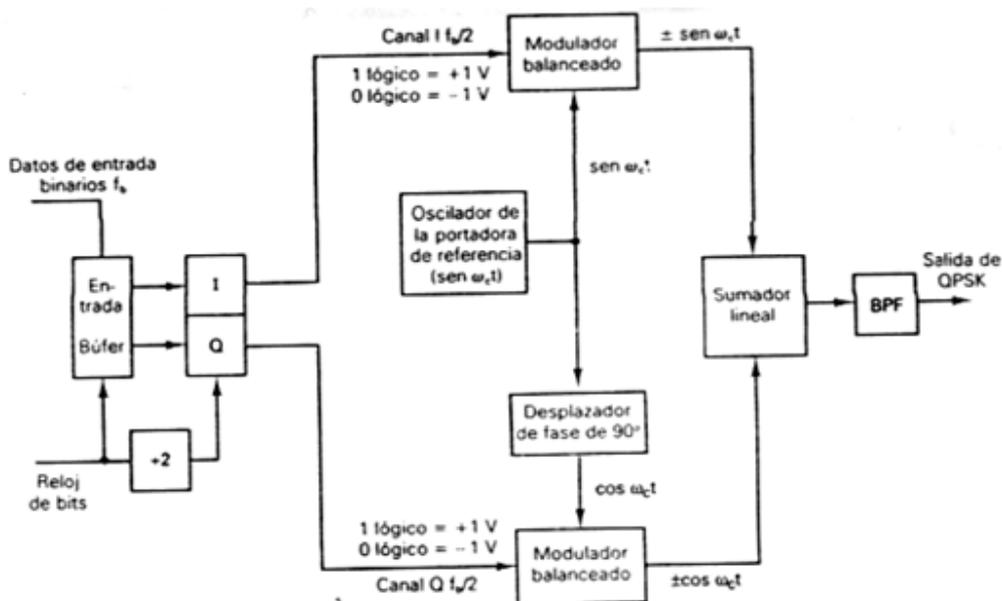


Fig. 3.24 Modulador de QPSK.

En la figura 3.25 podemos la tabla de verdad, el diagrama fasorial y el diagrama de constelación de un modulador de QPSK y en 3.25 (b) puede verse cada una de las cuatro posibles fases de salida tiene, exactamente, la misma amplitud. En consecuencia, la información binaria tiene que ser codificada por completo en la fase de la señal de salida, además de que la separación angular entre cualquiera de dos valores adyacentes, en QPSK es de 90° . Por tanto una señal de QPSK puede experimentar un cambio en fase, de $+45^\circ$ o de -45° , durante la transmisión y, todavía, retener la información correcta codificada al demodular en el receptor.

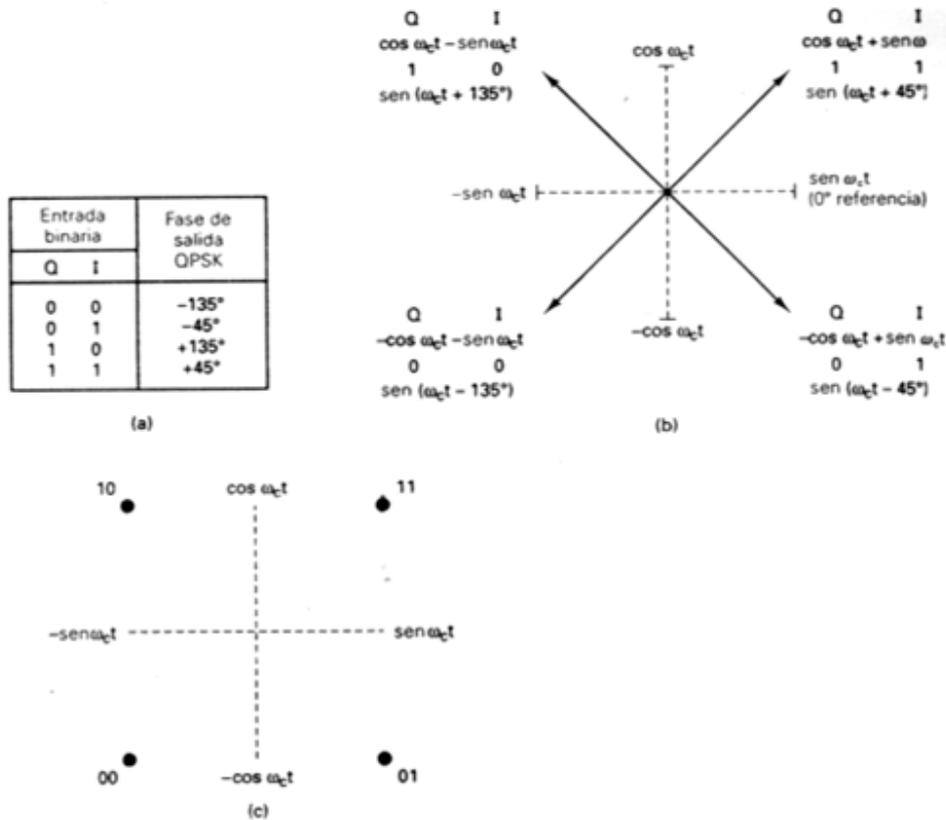


Fig. 3.25 Tabla de verdad (a), diagrama fasorial (b), y constelación de un modulador QPSK (c). (δ)

3.5 Tipos de transmisión

Los tipos de transmisión son los métodos por los cuales podemos enviar la información pudiendo ser de tipo sincrónico o asíncrono.

3.5.1 Transmisión asíncrona

Es también conocida como Start/stop. Requiere de una señal que identifique el inicio del carácter y a la misma se la denomina bit de arranque.

(δ) Ob. Cit. Pág.- 469

También se requiere de otra señal denominada señal de parada que indica la finalización del carácter o bloque Fig. 3.26.

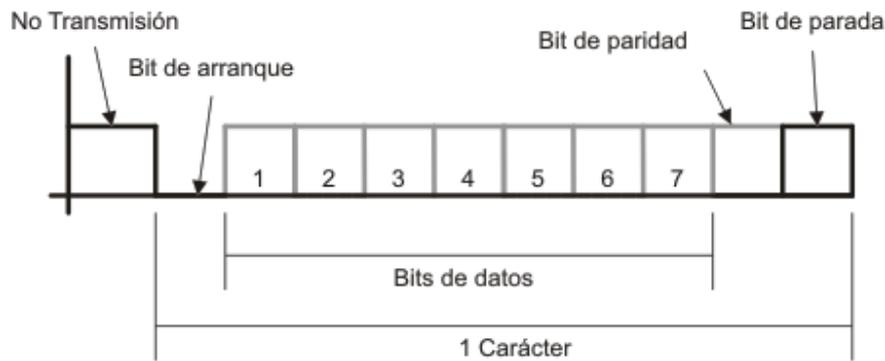


Fig. 3.26 Formato de un carácter en Tx. asíncrona

Generalmente cuando no hay transmisión, una línea se encuentra en un nivel alto. Tanto el transmisor como el receptor, saben cual es la cantidad de bits que componen el carácter (en el ejemplo son 7).

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.

A pesar de ser una forma comúnmente utilizada, la desventaja de la transmisión asíncrona es su bajo rendimiento, puesto que como en el caso del ejemplo, el carácter tiene 7 bits pero para efectuar la transmisión se requieren 10. O sea que del total de bits transmitidos solo el 70% pertenecen a datos.

3.5.2 Transmisión sincrónica

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.

Este método es más efectivo por que el flujo de información ocurre en forma uniforme, con lo cual es posible lograr velocidades de transmisión más altas.

Para lograr el sincronismo, 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.

(18)

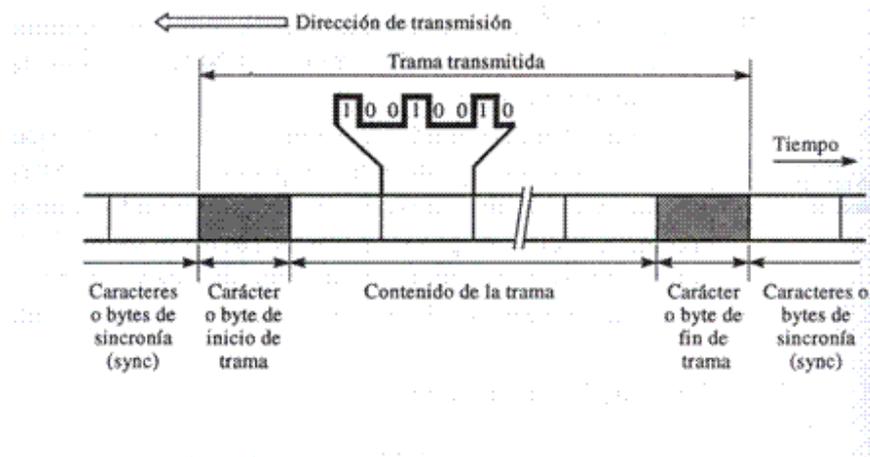


Fig. 3.27 Fundamentos de la transmisión sincrónica. (ζ)

(18) <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

(ζ) Idem

Capítulo 4

Digitalización y compresión en LMDS

4.1 Digitalización

4.2 Compresión

4.3 Compresión de video en el estándar MPEG

4.4 Codificación MPEG de audio

4.5 Acceso de banda ancha

En este capítulo se tratara todo lo referente a lo que son los tipos de digitalización y compresión (MPEG) utilizados por la tecnología de transmisión local multipunto LMDS.

4.1 Digitalización

La digitalización de las redes audiovisuales y de telecomunicaciones está proporcionando acceso a servicios más sofisticados, incluyendo mayor interactividad y multimedia. La infraestructura física de acceso en los domicilios o para usuarios colectivos no está totalmente adaptada a los servicios multimedia interactivos de banda ancha.

La infraestructura de transporte necesita extenderse mediante una red de banda ancha que permita una elevada velocidad de transmisión de datos para la transmisión de imágenes en tiempo real.

La digitalización ha permitido transmitir, a través del mismo medio, texto, imágenes fijas, audio y señales de vídeo. Esto implica grandes volúmenes de información y por tanto requiere una elevada velocidad de transmisión de datos si se quiere disponer de un acceso en tiempo real. La especificación técnica de la infraestructura de banda ancha está definida inicialmente por el "flujo", es decir, la velocidad de transmisión de datos.

Dos son los tipos de servicios posibles, dependiendo de la interactividad que se necesite:

- **Servicios simétricos:** La velocidad de transmisión de datos al abonado es similar a la de transmisión al proveedor del servicio, por ejemplo la video-telefonía.
- **Servicios asimétricos:** La velocidad de transmisión de datos al abonado es mucho mayor que la velocidad de retorno, por ejemplo, la navegación por el Web, donde la descarga de ficheros requiere el movimiento de cantidades de información mucho mayores en un sentido, hacia el usuario, que desde este.

En el caso de los servicios asimétricos, las velocidades de transmisión hacia el proveedor son menores de 1 Mbps.

	Servicios Asimétricos	Servicios simétricos
Entretenimiento	TV y vídeo interactivo (vídeo bajo demanda, vídeo casi bajo demanda, pago por visión)	juegos en red en vídeo
Servicios en línea	Internet todos los servicios en línea comercio electrónico teleservicios	
Comunicación	teletrabajo	videoconferencia profesional (calidad de radiodifusión) videoconferencia sobre PC videotelefonía sobre PC
Educación	tele-educación	

La infraestructura de acceso representa la última parte de la red de comunicación: distancias de entre 100 metros y unos pocos kilómetros entre el último nodo de conexión o de distribución y el abonado.

Tecnología	Descripción	
Red de televisión por cable	Los datos se transmiten a través de la red de cable de TV, y se reciben y descodifican mediante un módem en el lado del abonado	
Difusión directa por TV vía satélite	Los datos se descargan desde la red del satélite al PC mediante la antena tradicional de satélite y una tarjeta decodificadora. El canal de retorno es proporcionado por la línea telefónica	1997
Red híbrida: fibra óptica + ADSL/VDSL	Fibra desde el nodo de conexión hasta la acera o el edificio, y acceso final al hogar proporcionado por línea telefónica de cobre junto con módem ADSL o VDSL 2000- (Asymmetrical or Very high data rate Digital Subscriber Line: Línea de Abonado Digital Asimétrica o de muy alta velocidad).	
Red completa de fibra óptica	Fibra desde el nodo de conexión hasta el hogar	2006

Radio terrestre fija de banda ancha	MMDS (Multipoint Multichannel Distribution System: Sistema de Distribución Multipunto Multicanal): 2001 tecnología de difusión de TV terrestre con cobertura local también denominada "transmisión por radio", no interactiva (el canal de retorno se suministra a través de la línea telefónica) LMDS (Local Multipoint Distribution System: Sistema de Distribución Local Multipunto): tecnología terrestre interactiva de banda ancha, con cobertura local) 2003
-------------------------------------	---

Multimedia de banda ancha por satélite	Constelaciones de satélites LEO (Órbita terrestre baja) asociados o no con satélites geoestacionarios	2002
Radio móvil terrestre de banda ancha	Evolución hacia la banda ancha de los actuales sistemas de comunicación móvil (UMTS3 y futuros sistemas)	2001-2004

4.1.1 La era de la competencia tecnológica.

En el 2001, la demanda de servicios comienza una segunda fase, marcada por el creciente uso de la videoconferencia a través del PC y de servicios en línea más sofisticados, incluyendo mayor uso de imágenes, especialmente vídeo e imágenes en 3D. La velocidad de transmisión que se necesita para estos servicios de alrededor de 4 á 6 Mbps y es necesaria la simetría para la videoconferencia. Esto no va a impedir que se desarrollen los usos de 1-2 Mbps.

La red telefónica, incluso estimulada por la ADSL (capítulo 3) estará limitada para distancias de más de un kilómetro. Algunos operadores de telefonía empezarán entonces a instalar líneas de fibra óptica, al menos hasta las aceras o los edificios en zonas densamente pobladas, donde la demanda de servicios multimedia es elevada. Entonces, las líneas telefónicas existentes, asociadas con ADSL, proporcionarán las conexiones finales al hogar.

En esta configuración, la ADSL encuentra su mejor aplicación. Ya en 1997 se produjo un descubrimiento importante con una técnica denominada VDSL7, que ofrece unas elevadas prestaciones en distancias muy cortas (10-15 Mbps en 500 metros). Esta técnica se usa en esta configuración híbrida.

En este momento, las redes móviles se han desarrollado, que permiten acceso móvil a servicios interactivos, tales como servicios en línea o "tele-actividades".

MMDS, LMDS, y la tecnología de radio terrestre de banda ancha fija son sistemas que encontrarán un lugar entre la competencia de las telecomunicaciones, ya que únicamente requieren una mínima y gradual inversión y podrán por tanto ser accesibles para los operadores que todavía no están presentes en el mercado.

Los actuales proyectos de satélites de órbita terrestre baja y los geoestacionarios se materializarán, proporcionando servicios multimedia fijos o móviles. Gracias a estas "autopistas de la información en el cielo", el acceso a la banda ancha estará disponible desde prácticamente cualquier lugar en el planeta. (1)

4.2 Compresión

La compresión de video surge de la necesidad de transmitir imágenes a través de un canal que contenga un ancho de banda aceptable. Si en la compresión Audio/Vídeo el codificador es más complejo que el decodificador, el sistema se llama asimétrico.

4.2.1 Codificación del MPEG:

Las aplicaciones del MPEG son ilimitadas. En vídeo abarca desde una sola fotografía, imágenes de videoconferencia hasta a alta definición necesaria en el cine electrónico.

(1) <http://www.wapeton.com/netscape/db/articulos/edetalle.asp?subopid=8&tipo=6&artid=238>

En la codificación de audio, desde la palabra monoaural hasta el multicanal presente en los sistemas de sonido envolvente. Existen muchas técnicas de compresión. En la codificación con mínima pérdida (lossless) la información en el decodificador es idéntica bit a bit que la original. La codificación en lossless está generalmente restringida a un factor de compresión alrededor de 2:1.

En la compresión con pérdida (lossy) la información en el decodificador no es idéntica bit a bit con la original, existiendo alguna diferencia al ser comparadas. Estas codificaciones lossy no son convenientes para informática, pero se usa en MPEG ya que permiten un gran factor de compresión. Un codificador lossy ideal está basado en el conocimiento de la percepción psicoacústica y psicovisual, por esto también se conocen como codificadores perceptivos.

La gran mayoría de las técnicas de codificación de vídeo usan el subsampling y cuantificación antes de la codificación. La función básica es reducir el tamaño de la señal de entrada videográfica (horizontal y verticalmente) así como el número de píxeles. No es un procedimiento del todo negativo en aplicaciones de vídeo. En el receptor final las imágenes decodificadas son interpoladas en la pantalla, y gracias a los conocimientos sobre la visión humana, se perciben casi idénticas.

La vista humana, recordemos, es más sensible a los cambios de brillo que a los cromáticos, por eso el MPEG utiliza una división de las imágenes en las componentes YUV (una de luminancia y dos de crominancia). En un sistema PCM digital (capítulo 3), la cadena de bits es la resultante del muestreo de ciertos valores en un determinado tiempo a partir de una señal continua. No se almacena el total de la señal original, sino sólo una parte, dejando que la parte obviada sea interpretada por el receptor como continua, y en la mayoría de los casos, se recrea esa información de una manera única.

Si las características de un receptor perceptivo son conocidas, el transmisor puede omitir partes del mensaje con el conocimiento que el receptor tendrá la

habilidad de recrearlas a la perfección, figura 4.1. Por eso todos los codificadores tienen el modelo del decodificador.

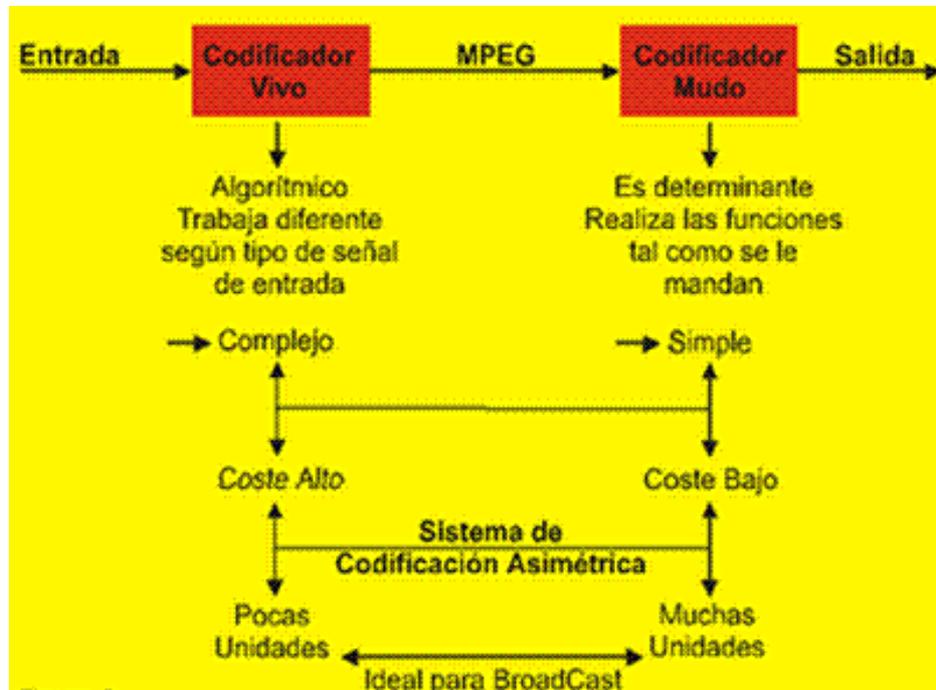


Fig. 4.1 Codificación MPEG

La diferencia entre el valor de la información y todo el conjunto entero de la información se conoce como redundancia. Los sistemas de compresión están diseñados para eliminar la mayor cantidad de redundancia posible. El contenido de información o entropía es una función resultante de la eliminación de todos esos valores no previsible.

4.2.2 Entropía y redundancia:

Todas las posibles señales reales se pueden dividir en señales previsible o señales no previsible o ruidos. En la figura 4.1 se muestra como la señal real ocupa una parte de esta área. La señal puede no contener todas las frecuencias o no trabajar con todo el ancho de banda posible en ciertas frecuencias.

La **Entropía** es la señal que contiene información, ya que la señal redundante no suma información alguna. Un codificador ideal tendría que ser capaz de delimitar estas áreas y poderlas emitir, así como un decodificador tendría que recrear una impresión original de la información obtenida. Cuando se usa el mismo tipo de información entrante, un estudio de la misma permite que los diferentes resultantes posibles tengan determinados sus valores resultantes. (2)

Los métodos recurren a los procedimientos generales de compresión de datos, aprovechando además la redundancia espacial de una imagen (áreas uniformes), la correlación entre puntos cercanos y la menor sensibilidad del ojo a los detalles finos de las imágenes fijas (JPEG) y, para imágenes animadas (MPEG).

4.3 Compresión de video en el estándar MPEG

En el año de 1990, la ISO, por la necesidad de almacenar y reproducir imágenes de video digitales y su sonido estereofónico correspondiente, creó MPEG (Moving Pictures Expert Group) procedentes de aquellas áreas implicadas en el problema (telecomunicaciones, informática, electrónica, radio difusión, etc.).

El primer trabajo de este grupo la norma ISO/IEC 11172 o (MPEG-1), 1992. La idea inicial era la de permitir el almacenamiento y reproducción en soporte CD-ROM con un flujo de transmisión de datos del orden de 1,5 Mbits/s, transportando tanto imagen como sonido.

(2) <http://www.dvdenlared.com/cineencasa/20040824094702.html>

El estándar MPEG además de aprovechar la redundancia espacial intrínseca de una imagen fija utilizada en la codificación JPEG, aprovecha la redundancia temporal que aparece en la codificación de imágenes animadas, permitiendo encontrar similitudes entre las imágenes sucesivas de video.

Debido a que la calidad en la compresión de video en el estándar MPEG-1 era de baja calidad se creó la norma ISO/IEC 13818 o (MPEG-2). Esta norma permite un flujo de transmisión hasta el orden de los 20 Mbits/s, transportando tanto imagen como sonido. Norma que se utilizaría en la televisión de alta definición.

En la actualidad, se está trabajando en una norma que será llamada MPEG-4 y está encaminada a la transmisión de datos del orden de los 8 a 32 Kbits/s, norma que será utilizada en las aplicaciones de video conferencia o video teléfono.

4.3.1 Tipos de imagen MPEG

MPEG define tipos de imágenes que se encadenan según el esquema de la Figura 4.2. Los cuales son el soporte de la codificación diferencial y bidireccional, minimizando la propagación de errores.

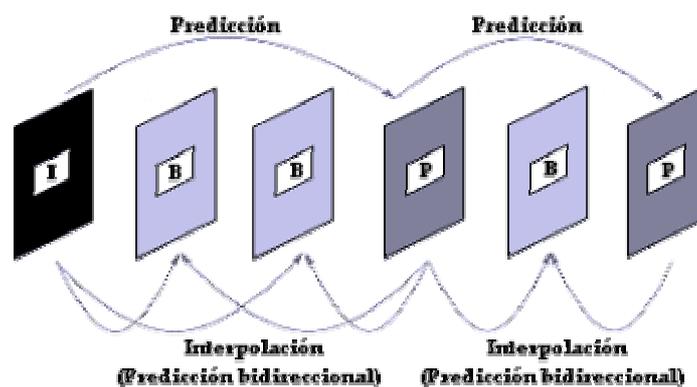


Fig. 4.2 Encadenamiento de los 3 tipos de imágenes MPEG

1. Las imágenes I (intra)

Son imágenes que no requieren información adicional para su decodificación. Son codificadas sin ninguna referencia a otras imágenes, como en JPEG, es decir, que contiene todos los elementos necesarios para su reconstrucción por el decodificador y son, por ello, el punto de entrada obligatorio para el acceso a una secuencia. La tasa de compresión de imágenes I es relativamente pequeña, comparable con la de JPEG con pérdidas. Ellas consisten ante todo de los coeficientes transformados y no contienen vectores de movimiento.

2. Las imágenes P (previstas)

Se codifican con respecto a las imágenes de tipo I o P anteriores, gracias a las técnicas de predicción con compensación de movimiento. Como la compensación de movimiento no es perfecta, no se podrá multiplicar indefinidamente el número de imágenes I, ya que, como se utilizan para decodificar otras imágenes P o B, se propagan amplificando cualquier error de codificación. Su tasa de compresión es claramente mayor que la de las imágenes I. Las imágenes P requieren aproximadamente la mitad de los datos de las imágenes I.

3. Las imágenes B (Bidireccionales)

Se codifican por interpolación entre dos imágenes de tipo I o P precedentes y siguiente que las enmarcan. Como no se utilizan para describir otras imágenes, las imágenes B no propagan los posibles errores de codificación.

Este tipo de imágenes es el que ofrece el factor de compresión más alto, que generalmente es de una cuarta parte de los datos de las imágenes I.

Dependiendo de la complejidad del codificador utilizado, se podrán codificar solo las imágenes I, las imágenes I y P o las imágenes I, P y B.

Sin duda, con resultados absolutamente diferentes a nivel del factor de compresión y en cuanto a las posibilidades de acceso aleatorio, así como del tiempo de codificación y de la calidad percibida. Los dos parámetros M y N definen la manera en que las imágenes I, P y B se encadenan:

- M es la distancia (en número de imágenes) entre dos imágenes P (previstas) sucesivas.
- N es la distancia entre dos imágenes I (intra) sucesivas.

Para alcanzar un flujo de video de 1.15 Mbits/s con una calidad satisfactoria, al tiempo que se mantiene una resolución de acceso aleatorio aceptable (< 0.5 segundos), los parámetros comúnmente utilizados son $M=3$ y $N=12$ como se muestra en la figura 4.3.

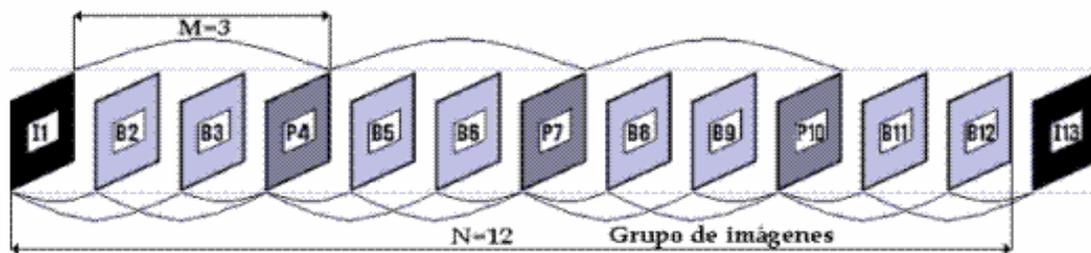


Fig. 4.3 Grupo de imágenes, para $M=3$, $N=12$

En este caso, una secuencia de video se compone de $1/12$ (8.33%) de imágenes I, $1/4$ (25%) de imágenes P y de $2/3$ (66.66%) de imágenes B. El factor de compresión global se ve favorecida por el hecho de que son las imágenes más frecuentes las que tienen un factor de compresión más alto.

En la visualización, tras la codificación y decodificación, es evidente que las imágenes de la secuencia de video deben ser reproducidas en el mismo orden en que se captaron.

4.3.2 Capas de una secuencia de video MPEG

Una secuencia de video MPEG es básicamente la salida del material en bruto de un codificador y contiene no más que lo necesario para que un decodificador restablezca la imagen original. La Figura 4.4 muestra la construcción de una secuencia de video MPEG constituida por capas bien definidas.

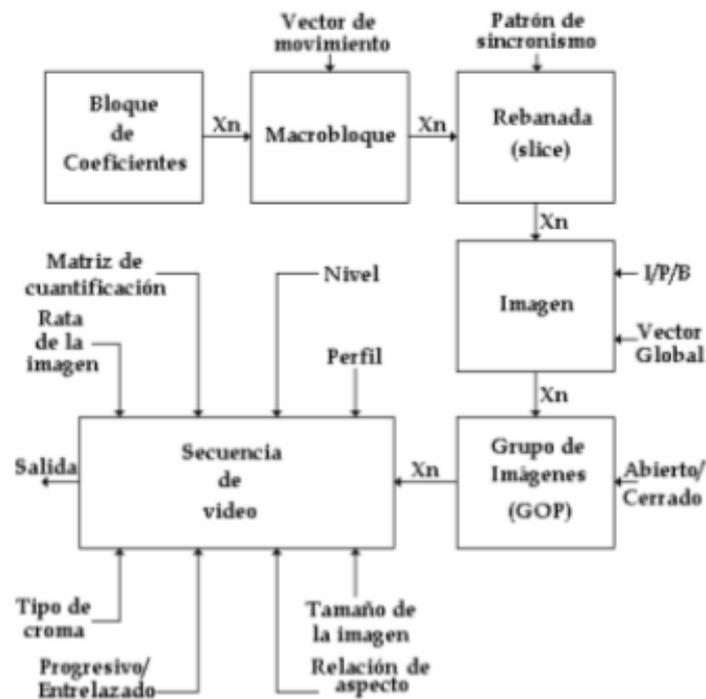


Fig. 4.4 Estructura de una secuencia de video MPEG

1. Bloque (Block)

Es la unidad fundamental de la información de la imagen y esta representada por un grupo de coeficientes DCT, que tienen un tamaño de 8x8 píxeles, los cuales representan datos Y, Cr o Cb.

2. Macrobloque (Macroblock)

Es la unidad fundamental de la imagen que además está compensada en movimiento. Cada macrobloque es un vector de desplazamiento en dos dimensiones situado en la parte superior de la secuencia. En una imagen B, el vector puede ser hacia adelante o hacia atrás.

En un formato de codificación 4:2:0, cada macrobloque tendrá 4 bloques Y, y dos bloques de color diferente. Para hacer posible la identificación de cada bloque y sus componentes, estos se envían en un orden específico. Cada macrobloque tiene un tamaño de 16 x16 píxeles.

3. Rebanada (Slice)

Los macrobloques son reunidos en rebanadas, y aquellas siempre deben representar una fila horizontal que está ordenada de izquierda a derecha.

En MPEG, las rebanadas pueden comenzar en cualquier sentido y ser de tamaño arbitrario, pero las ATSC (Advance Television Systems Committee) establecen que ellas deben comenzar en el borde izquierdo de la imagen. Las rebanadas son la unidad fundamental de sincronización para la codificación de la longitud variable y diferencial, los vectores iniciales en una rebanada son enviados completamente, mientras que los demás vectores son transmitidos diferencialmente.

4. Imagen (Picture) de tipo I, P o B

Cuando un número de slice se combina, construyen una imagen, la cual es la parte activa de un campo o un cuadro. La imagen de soporte inicial define qué imágenes I, P o B codifica e incluye una referencia temporal para que la imagen pueda ser representada en el momento adecuado.

En el caso de tomas panorámicas e inclinaciones, los vectores en cada macrobloque serán los mismos. Un vector global puede ser enviado para toda la imagen, y luego se pueden enviar vectores individuales que lleguen a crear la diferencia en el vector global.

5. Grupo de imágenes (Group Of Pictures o GOP)

Las imágenes pueden ser combinadas para producir un GOP (grupo de imágenes) que comienza con una imagen I. El GOP es la unidad fundamental de codificación temporal. En el estándar MPEG, el uso de GOP es opcional, pero esta en la práctica es necesaria. Un GOP puede ser abierto o cerrado. En un GOP cerrado, las últimas imágenes B requieren de una imagen I para el siguiente GOP por decodificar y la secuencia de bits puede ser cortada al final de la GOP.

6. Secuencia

Cuando algunas GOP son combinadas se produce una secuencia de video con un código de inicio, seguido por un encabezamiento, y luego termina con un código final. Códigos de soporte adicional pueden ser situados al inicio de la secuencia.

La secuencia de soporte especifica el tamaño horizontal y vertical de la imagen, norma de barrido, la rata de imágenes, si se usa un barrido progresivo o entrelazado, el perfil, nivel, velocidad de transferencia de bits, y cuales matrices de cuantificación se usan para codificar imágenes espaciales y temporales.

Sin la secuencia de soporte de datos, un decodificador no puede comprender el flujo de bits y por lo tanto no puede comenzar la operación de decodificación correcta. Esto ocurre generalmente cuando un televidente está cambiando canales de un lugar a otro en su televisor. (3)

4.4 Codificación MPEG de audio

Las normas MPEG de audio definen tres capas (layers) de codificación, que se distinguen por su tasa de compresión para una calidad de audio percibida dada.

La norma de televisión digital DVB (capítulo 3), prescribe para el sonido la utilización de las capas 1 y 2 de la especificación MPEG-1 de audio, que prevé cuatro modos principales de transmisión:

- Stereo: los canales izquierdo y derecho se codifican de manera completamente independiente
 - Joint stereo: aprovechamiento de la redundancia entre los canales izquierdo y derecho a fin de reducir el flujo (con dos codificaciones posibles; intensity_stereo o MS_stereo)
 - Dual channel: los dos canales son independientes (sonido bilingüe, por ejemplo)
 - Mono: un solo canal de sonido
-
- **Capa 1**. También llamada "pre-MUSICAM" utiliza el algoritmo PASC, utiliza una velocidad fija entre las 14 posibles (de 32 a 448 Kbits/s); la calidad Hi-Fi necesita 192 Kbits/s por canal de audio (384 Kbits/s en estéreo). Su principal ventaja es la relativa sencillez para implementar el codificador y el decodificador.

(3) http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/int_comp_video.htm

- **Capa 2.** Su algoritmo se conoce bajo el nombre de MUSICAM, es el estándar adoptado para la radio (DAB) y televisión (DVB). Permite obtener una calidad equivalente con un flujo menor (reducción del 30% al 50%) que el de la capa 1, a costa de un incremento moderado de la complejidad tanto del codificador como del decodificador. El flujo, constante, puede escogerse entre 32 y 192 Kbits/s por canal, la calidad subjetiva Hi-Fi se obtiene a partir de 128 Kbits/s por canal, es decir, 256 Kbits/s en estéreo.

- **Capa 3.** Es de desarrollo más reciente y utiliza un modelo psicoacústico diferente (llamado modelo 2), una codificación Huffman y un análisis de la señal basado en la DCT en vez de en la codificación en sub-bandas de las capas 2 y 3. Están permitidos los dos tipos de codificación joint_stereo.

Permite un flujo variable y una tasa de compresión aproximadamente dos veces más elevada que la capa 2, a costa de una complejidad claramente mayor del codificador y del decodificador, así como de un tiempo de codificación/decodificación más largo. La calidad Hi-Fi se obtiene a partir de los 64 Kbits/s por canal (128 Kbits/s en estéreo). Las capas MPEG de audio soportan compatibilidad ascendente entre ellas.

4.3.1 Formato de la trama MPEG de audio

La trama constituye la unidad de acceso elemental para una frecuencia de audio MPEG. Una trama (capa 1, 2 o 3), se descompone en 4 partes:

- Cabecera de 32 bits (header)
- Paridad sobre 16 bits (CRC)
- Datos de audio (AUDIO), longitud variable
- Datos auxiliares (AD, ancillary data)

● **Capa 1.** La trama MPEG de audio de la capa 1 se compone de 384 muestreos PCM de audio de entrada. Cuando el número de muestreos PCM es independiente de la frecuencia de muestreo, la duración de la trama es inversamente proporcional a la frecuencia de muestreo. Esta es de:

- 12 ms a 32 KHz
- 8.7 ms a 44.1 KHz
- 8 ms a 48 KHz

● **Capa 2.** La trama se compone en este caso de 96 muestreos de audio PCM, es decir:

- 36 ms a 32 KHz
- 26.1 ms a 44.1 KHz
- 24 ms a 48 KHz

(4)

4.5 Acceso de banda ancha

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

(4) http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/compresion_audio.htm

4.5.1 Tecnologías de acceso a la red.

La necesidad de ancho de banda ha hecho nacer varias tecnologías de acceso de banda ancha: DSL (Línea de Abonado Digital) en todas sus formas simétricas y asimétricas, utiliza la infraestructura de cobre para dar servicios a velocidades de hasta algunos megabits por segundo; LMDS, los servicios locales de distribución multipunto ofrecen velocidades de banda ancha a usuarios residenciales y a profesionales independientes; CMTS (Sistema de terminación de módem por cable) emplea el cable coaxial para entregar servicios digitales a muchos usuarios; UMTS, fue concebido para servicios de voz y de datos de tercera generación.



Fig. 4.5 Red de Acceso.

A pesar de las enormes diferencias entre estas tecnologías, todas ellas se caracterizan por el aumento de la velocidad de transferencia de datos al usuario final en un orden de magnitud muy superior en comparación con las soluciones de banda estrecha que les precedieron, figura 4.5. En consecuencia, todas abren la puerta a un conjunto amplio de nuevos servicios. Otra similitud está en que todas pueden compartir el mismo protocolo subyacente: ATM. Como consecuencia, aunque el servicio final esté generalmente relacionado con las aplicaciones IP, el tráfico se monta en ATM antes de entregarlo a la red de transmisión.

De forma general, se acostumbra a clasificar las redes de acceso en cuatro grupos principales según el medio de soporte: par trenzado, fibra/coaxial, inalámbrico, y todo fibra. La figura 4.6 muestra algunas de las tecnologías e implementaciones que caen en las categorías anteriores.

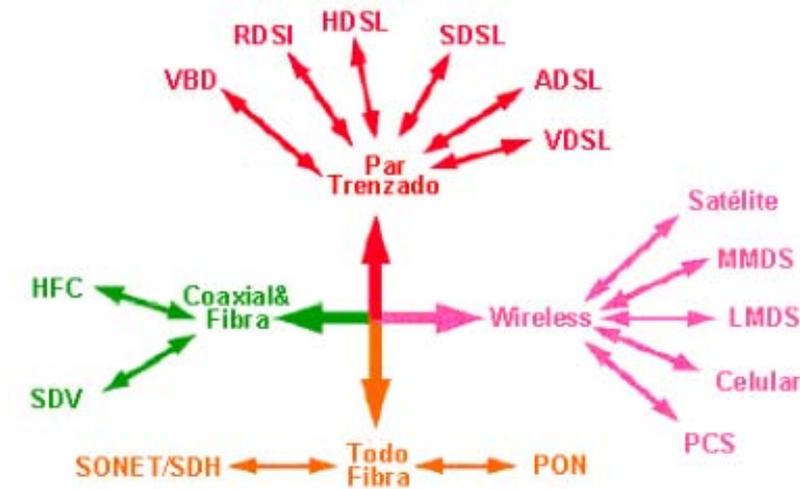


Fig. 4.6 Alternativas de Acceso de acuerdo al medio de transmisión.

◇ SONET

SONET es el estándar del American National Standards Institute para la transmisión de datos síncrona en medios ópticos. SONET se considera ser la fundación para la capa física del ISDN de banda ancha (BISDN). SONET define un índice bajo de 51,84 Mbps y un sistema de múltiplos de la tarifa baja conocida como " niveles del portador óptico (OCx)." (5)

Sonet se ideó para proporcionar una especificación que aproveche las ventajas que proporciona la transmisión digital de alta velocidad a través de fibra óptica.

(5) http://searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci214223,00.html

Características

- Es un sistema sincrónico con multiplexación por división en el tiempo (TDM)
- Se transmite una trama cada 125 ms, haya o no datos útiles que transmite (8000 tramas por segundo)
- Hay distintos tipos de canales estandarizados para distintas velocidades cada una con un tamaño de trama diferentes. (6)

◇ RDSI: Telefonía y Servicios Digitales

RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), es una red evolucionada de una red digital integrada telefónica, que proporciona, de un extremo a otro, conectividad digital, a la que los usuarios pueden tener acceso mediante dispositivos o interfaces multi-propósito.

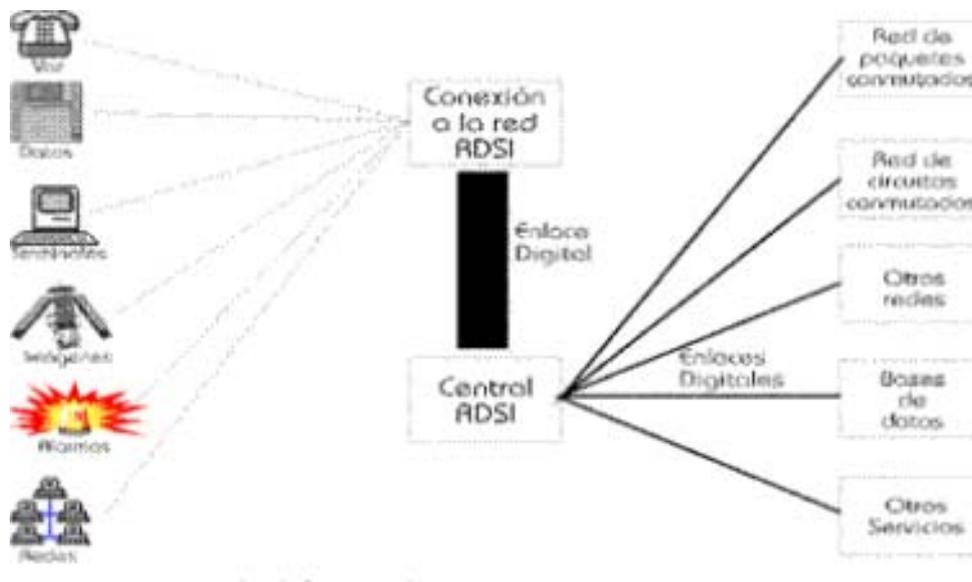


Fig. 4.7 Visión global de RDSI

(6) <http://www.monografias.com/trabajos10/sonet/sonet.shtml>

La RDSI está basada en una de las dos estructuras definidas por CCITT:

Acceso básico (BRI) y acceso primario (PRI):

Los canales tipos B y D se agrupan, a su vez, en diferentes tipos o grupos, según la siguiente tabla:

Tabla 1: Clasificación de canales RDSI.

Tipo	Función	Velocidad
B	Servicios básicos	64 Kbps.
D	Señalización	16 Kbps. (BRI) 64 Kbps. (PRI)
H ₀	6 canales B	384 Kbps. (PRI)
H ₁	todos los canales H ₀ H ₁₁ (24B) H ₁₂ (30B)	1.536 Kbps. (PRI) 1.920 Kbps. (PRI)
H ₂	RDSI de banda ancha H ₂₁ H ₂₂	(propuesta actual) 32.768 Kbps. 43-45 Mbps.
H ₄	RDSI de banda ancha	132-138,240 Mbps.

◇ Equipos, servicios y usos:

Podemos distinguir tres grandes grupos de servicios:

1.- Servicios básicos, facilitados por la portadora, que proporcionan los medios básicos para permitir el tráfico de la información, sin alterar su contenido, entre dos puntos de la red, y en tiempo real.

- Conmutación de circuitos:
 - Tráfico de datos a 64 Kbps.
 - Conversación telefónica.
 - Servicio de audio a 3,1 KHz.
 - Simultaneidad de datos y voz (2 o más canales B).
 - Tráfico de datos a 384 Kbps.
 - Backup digital de líneas punto a punto.
- Conmutación de paquetes:
 - Circuitos conmutados y circuitos virtuales permanentes.
 - Señalización de usuario.

2.- Teleservicios:

- Telefonía: Conversación a 3,1 KHz.
- Videoconferencia: a través de dos o más canales B.
- Teletexto: Según norma CCITT F.200.
- Telefax: Comunicaciones según norma CCITT Grupo 4.
- Modo mixto: Teletexto y fax grupo 4 combinados (F.200 anexo C).
- Videotexto: Mejora de los servicios existentes, con almacenamiento y recuperación de textos y gráficos de buzones.
- Telex: Intercambio de mensajes en modo carácter, de un modo muy similar a los mecanismos actuales, pero con mayúsculas y minúsculas.

- Aplicaciones médicas: transferencia de rayos X, telemedicina, ultrasonidos y scanners,...
- Transmisiones de radio de alta calidad de audio.
- Trabajo desde el hogar (home-working).
- Servicios de telefonía integrados con ordenador: venta de billetes con cargo automático a tarjetas de crédito, telemarketing, mensajería, estadísticas, análisis de audiencias,....

3.- Servicios suplementarios, para su uso en combinación con servicios básicos o teleservicios. (7)

◇ HDSL

Línea de abonado digital de alta velocidad binaria. Esta es una más de las tecnologías de la familia DSL, las cuales han permitido la utilización del clásico bucle de abonado telefónico, constituido por el par simétrico de cobre, para operar con tráfico de datos en forma digital. Los módems HDSL permiten el establecimiento por un par telefónico de un circuito digital unidireccional de 1,544 Mbps (T1) ó 2,048 Mbps (E1), por lo que para la comunicación bidireccional son necesarios dos pares, uno para cada sentido. La distancia máxima entre terminales en que se puede utilizar está entre 3 y 4 km, dependiendo del calibre y estado de los pares de cobre. (8)

(7) <http://www.consulintel.es/Html/Tutoriales/Articulos/rdsi.html>

(8) <http://es.wikipedia.org/wiki/HDSL>

◇ ADSL.

El ADSL es una técnica para la transmisión de datos a gran velocidad sobre el par de cobre. Los módems ADSL operan en un margen de frecuencias que va desde los 24 KHz hasta los 1104 KHz, aproximadamente. Esto hace que el ADSL pueda coexistir en un mismo lazo de abonado con el servicio telefónico, pues no se solapan sus intervalos de frecuencia. En la figura 4.8 se muestra un enlace ADSL entre un usuario y la central local de la que depende y se observa que además de los módems situados en el domicilio del usuario (ATU-R o ADSL Terminal Unit-Remote) y en la central (ATU-C o ADSL Terminal Unit-Central), delante de cada uno de ellos se ha de colocar un dispositivo denominado "splitter" (divisor). Este dispositivo no es más que un conjunto de dos filtros: uno paso alto y otro paso bajo. La finalidad de estos filtros es la de separar las señales transmitidas, o sea, las señales de baja frecuencia (telefonía) de las de alta frecuencia (ADSL).

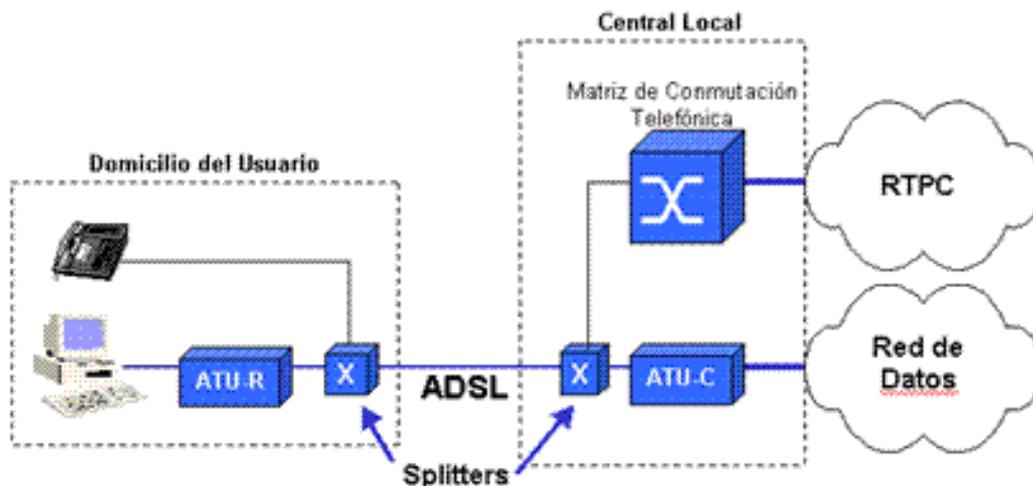


Fig. 4.8 Enlace ADSL.

Las principales ventajas del acceso a través de esta tecnología:

1. Gran ancho de banda en el acceso: permite el intercambio de información en formato digital a gran velocidad entre un usuario y la central local a la que se conecta mediante un par de cobre.
2. Este ancho de banda está disponible de forma permanente.
3. Se aprovecha una infraestructura ya desplegada, por lo que los tiempos de implantación de los servicios sobre la nueva modalidad de acceso se acortan.
4. El acceso es sobre un medio no compartido, y por tanto, intrínsecamente seguro. (9)

◇ VDSL

En términos simples, VDSL transmite a alta velocidad los datos de líneas telefónicas de cobre de conductor doble retorcido, con una gama de velocidades dependiendo de longitud de línea real. Los sistemas de VDSL necesitan utilizar la cancelación del eco para un mejor funcionamiento.

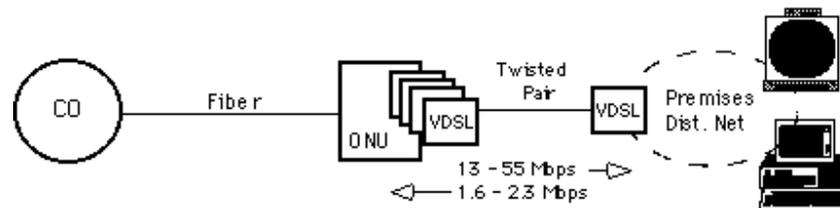


Fig. 4.9 Sistema VDSL

VDSL debe transmitir el vídeo comprimido e incorporar la corrección de error delantera (FEC) con la suficiente interpolación para corregir todos los errores creados por acontecimientos impulsivos del ruido de una cierta duración especificada. La tecnología de VDSL se asemejará al ADSL, aunque el ADSL debe hacer frente a gamas dinámicas mucho más grandes y es considerablemente más complejo, las unidades pueden requerir de un Media Access Control de la capa en ejecución física para multiplexar datos. (10)

◇MMDS

El MMDS se concibió originalmente para la distribución de vídeo en aquellas zonas en las que, sus características hacían desaconsejable la implantación del cable. En los EUA, se implantó el sistema MMDS operando en la banda 2150 a 2686 MHz, pero en otros países la misma tecnología opera entre los 2 a 3 GHz.

Básicamente, los datos se transmiten mediante microondas utilizando un esquema TDM de multiplexación por división de tiempo. Entonces cada suscriptor dispone de un módem inalámbrico mediante el cual se recibe la señal en espera de la información dirigida a un usuario en particular. Los datos de retorno, también llamados upstream, son enviados utilizando la línea telefónica. El canal de downstream está compartido, con lo que es necesario algún tipo de algoritmo para administrar el empleo del canal por parte de los suscriptores.

El MMDS se basa en la distribución desde un punto de las señales a transmitir a los usuarios directamente. Como este sistema usa microondas, se requiere que no exista ningún tipo de obstáculo físico entre la antena emisora y la receptora. De esta forma, y para obtener la máxima eficiencia posible de transmisión, el equipo transmisor se instala en el punto de cota de terreno más alto. **(11)**

(9) <http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm2.shtml>

(10) www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl_tutorial.html

(11) <http://www.domotica.net/Lmds.htm>

Capítulo 5

Tecnología de transmisión LMDS

5.1 Antecedentes

5.2 Características

5.3 Ancho de banda y modulación

5.4 Arquitecturas o Topologías de LMDS

5.5 Diseño de celdas

5.6 Servicios

5.7 Calidad del servicio

Este capítulo se explica todo lo relacionado con la tecnología LMDS, sus antecedentes, características, topologías, funcionamiento y servicios.

5.1 Antecedentes

La necesidad de ancho de banda ha hecho nacer varias tecnologías de acceso de banda ancha para dar servicios a velocidades de hasta algunos Mbps, LMDS y los servicios locales de distribución multipunto ofrecen velocidades de banda ancha a usuarios residenciales y a profesionales independientes vía tecnología inalámbrica. A pesar de las enormes diferencias entre tecnologías, todas ellas se caracterizan por el aumento de la velocidad de transferencia de datos al usuario final en un orden de magnitud muy superior en comparación con las soluciones de banda estrecha que les precedieron. (1)

LMDS aparece como una prometedora tecnología de gran valor estratégico en el marco de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha. Su importancia se debe fundamentalmente a tres razones. En primer lugar, los sistemas LMDS se pueden desplegar e instalar muy rápidamente en comparación con las tecnologías homólogas basadas en cable e incluso con relación a sus homólogas inalámbricas. Además, estos sistemas pueden ser ampliados muy fácilmente con un nivel de riesgo realmente bajo, gracias a la naturaleza intrínsecamente modular de su arquitectura. En segundo lugar, LMDS permite el acceso a Internet de alta velocidad, tanto para el sector residencial como para el empresarial, gracias a las técnicas digitales que se han incorporado recientemente. Finalmente, esta tecnología presenta un importante potencial como tecnología de acceso (especialmente compatible con las redes de fibra óptica) para nuevos operadores que no dispongan de grandes recursos financieros, así como para los CLEC (Competitive Local Exchange Carrier). (2)

(1) <http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm2.shtml>

(2) <http://www.monografias.com/trabajos13/guiadeim/guiadeim.shtml>

El origen de LMDS se sitúa en 1986 y se atribuye a Bernard Bosssard que concibió un proyecto de distribución de señales de vídeo analógico utilizando un esquema de emisión de radio en frecuencia modulada, con una estructura punto-multipunto, utilizando una zona del espectro nunca utilizada anteriormente: la banda de 28 GHz. El carácter innovador de la tecnología LMDS se basa en el hecho de que trabaja en el margen superior del espectro electromagnético, tradicionalmente reservado a sectores muy especializados como defensa o espacial debido a sus costes elevados. (2)

Del nombre de la tecnología se dice que es "Multipunto", que quiere decir que se hace una transmisión vía radio hacia múltiples instalaciones de abonado desde un sólo punto, la estación base, mientras que desde los abonados a la base se hace de manera punto a punto. Una base puede tener varios sectores, y cada sector, un área de cobertura del sistema multipunto. (3)

El LMDS es un sistema de comunicación de punto a multipunto que utiliza ondas radioeléctricas a altas frecuencias, en torno a 28 ó 40 GHz, en las que existen bandas de frecuencia de unos 2 GHz con atenuación mínima (conocidas como "ventanas espectrales") ante los agentes atmosféricos.

Dada la anchura de banda disponible, el LMDS puede ser el soporte de una gran variedad de servicios simultáneos: televisión multicanales (difusión, pagos por evento, video por demanda), telefonía, datos, servicios interactivos multimedia (teleeducación, telemedicina, acceso a Internet en banda ancha, etcétera).

(2) *Idem*

(3) <http://es.wikipedia.org/wiki/LMDS>

El territorio a cubrir se divide en células de varios kilómetros de radio (3-9 Km en la banda de 28 GHz, 1-3 Km en la banda de 40 GHz). El abonado al sistema recibe la señal mediante una de tres vías: desde el emisor principal de la célula, si existe visibilidad directa entre éste y el receptor; desde un repetidor, en zonas de sombra; mediante un rayo reflejado en alguna superficie plana (paredes de edificios, reflectores/repetidores pasivos, etcétera). (4)

Básicamente, LMDS es una tecnología de comunicaciones inalámbricas de banda ancha que se inscribe en el marco del multimedia y se basa en una concepción celular. De acuerdo con esta filosofía, estos sistemas utilizan estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir, de forma que en torno a cada una de ellas se agrupa un cierto número de usuarios, generando así de una manera natural una estructura basada en células, también llamadas áreas de servicio, donde cada célula tiene un radio de aproximadamente 4 kilómetros (como promedio), pudiendo variar dentro de un intervalo en torno a los 2-7 kilómetros. Y como indica la primera sigla de su nombre –L (local) –, la transmisión tiene lugar en términos de distancias cortas. El acrónimo LMDS es derivado de:

◆ **L (local)**— Denota que las características de propagación de las señales en este rango de frecuencias delimita el área potencial de cobertura de una sola celda; El rango de un transmisor LMDS es aproximadamente 5 millas, según pruebas realizadas en áreas metropolitanas.

◆ **M (multipunto)**— Indica que las señales son transmitidas según un método punto-multipunto; el enlace inalámbrico entre el suscriptor y la estación es una transmisión punto a punto.

(4) <http://www.red.com.mx/scripts/redArticulo.php?idNumero=42&articuloID=7142>

◇ **D (distribución)**— Se refiere a la distribución de las señales, las cuales pueden ser tráfico simultáneo de voz, datos, Internet y video.

◇ **S (servicio)**—Indica la naturaleza del suscriptor en la relación entre operador y consumidor; los servicios ofrecidos en una red LMDS dependen completamente del tipo de negocio del operador. (2)

5.2 Características

1 Sistemas punto a multipunto 5.2.

Las comunicaciones en los sistemas LMDS se realizan en forma de radiodifusión desde la estación base hacia los usuarios, en lo que se conoce como punto a multipunto. Al mismo tiempo, dado que la comunicación es bidireccional, los usuarios también pueden establecer enlaces punto a punto con dicha estación base. Para el enlace descendente (estación base -> usuario) suele emplearse TDMA como técnica de acceso. Por otra parte, para el enlace ascendente (usuario -> estación base) se utilizan combinaciones TDMA y FDMA.

Para la transmisión de los datos se suele emplear la modulación de fase QPSK, en contraposición de las modulaciones de amplitud QAM empleadas para el cable (capítulo 3), ya que es más resistente ante interferencias. El ancho de banda ocupado por una conexión a 2 Mbit/s empleando esta técnica de modulación es de tan sólo 1,4 MHz. (5)

La tecnología utiliza una arquitectura celular de red colocadas en la localización del cliente y en la estación baja de la compañía para entregar servicios, principalmente la telefonía, el vídeo y el acceso fijos del Internet.

(2) Idem

(5) http://www.radioptica.com/Radio/tecnol_LMDS.asp

El uso del acceso múltiple de división de tiempo (TDMA) y de la tecnología de FDMA (acceso múltiple por división frecuencia) (capítulo 3); permite que los clientes múltiples dentro de un radio de la cobertura de 3-5 millas compartan el mismo canal de radio. (6)

A la hora de realizar la planificación y despliegue de un sistema inalámbrico punto a multipunto existen varios factores que deben tenerse en cuenta: zona geográfica y orografía del terreno, densidad de abonados y consumo de tráfico, calidad de servicio requerida, balance de potencias del enlace radio, tamaño y número de celdas, emplazamiento de estaciones base, reutilización de frecuencias, coste del sistema, etc.

Hasta hace pocos años, se creía que las frecuencias tan altas utilizadas en LMDS no permitirían ofrecer de forma viable un servicio masivo. La razón principal que se alegaba al respecto era la atenuación debida a la lluvia, y las altas potencias de emisión necesarias en consecuencia para lograr un cierto alcance de la señal, lo que haría inviable económicamente utilizar estas frecuencias como soporte de un servicio a la población en general, dada la dificultad/coste de emitir y recibir con la calidad adecuada la potencia de señal necesaria. Las principales claves técnicas del sistema son tres: el teorema de Shannon de equivalencia entre ancho de banda y potencia, la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable, y la reutilización de frecuencias.

Por el teorema de Shannon de equivalencia exponencial entre potencia y ancho de banda, si se duplica el ancho de banda utilizado, sólo es necesario emitir la raíz cuadrada de la potencia para lograr la misma relación señal a ruido en recepción. (2)

(6) <http://www.wave-report.com/tutorials/lmids.htm>

(2) Idem

◇ Teorema de Shannon

Shannon estudio el como el ruido afecta a la transmisión de datos tomo en cuenta la razón señal-a-ruido del canal de transmisión (medido en decibeles o dB) y derivo el teorema de Capacidad de Shannon.

$$C = B \log_2(1+S/N) \text{ bps}$$

Un típico canal telefónico de voz tiene una razón de señal a ruido de 30 dB ($10^{(30/10)}= 1000$) y un ancho de banda de 3,000 Hz. Si sustituimos esos valores en el teorema de Shannon:

$$C = 3,000 \log_2(1+1000) = 30,000 \text{ bps}$$

Debido a que $\log_2(1001)$ es igual al logaritmo natural de $(\ln(1001)/\ln(2))$ y es igual a 9.97, el teorema nos demuestra que la capacidad máxima* de un canal telefónico es aproximadamente a 30,000 bps.

Debido a que los canales de comunicación no son perfectos, ya que están delimitados por el ruido y el ancho de banda. El teorema dice que es posible transmitir información libre de ruido:

“Siempre y cuando la tasa de información no exceda la capacidad del canal”.

Así, si el nivel de S/N es menor, o sea la calidad de la señal es más cercana al ruido, la capacidad del canal disminuirá. Esta capacidad máxima es inalcanzable, ya que la fórmula de Shannon supone unas condiciones que en la práctica no se dan. No tiene en cuenta el ruido impulsivo, ni la atenuación ni la distorsión. Representa el límite teórico máximo alcanzable. (A)

(A)Channel Capacity by Shannon

A mathematical theory of communication (by Shannon, PDF)

En bajas frecuencias, el espectro es un recurso particularmente escaso que se ha ido saturando a medida que han surgido nuevos servicios de telecomunicación, por lo que se debía recurrir a emisiones de alta potencia para compensar la limitación de ancho de banda. Es algo parecido a lo que sucede en una habitación con mucho ruido de fondo: hablamos más alto para aumentar la relación señal a ruido y hacernos entender.

Las otras dos claves del sistema son la recepción de haces muy estrechos y con polarización estable, y la reutilización de frecuencias. Emitiendo un haz con polarización muy estable, y captando solamente el haz de mayor potencia recibido en la antena (detección de haces muy estrechos, con discriminación de polarización), se desechan las contribuciones secundarias de señal procedentes de múltiples reflexiones, lo que suprime interferencias e imágenes "fantasma". Además, esto proporciona robustez adicional frente a la lluvia. Por último, utilizando simultáneamente polarización opuesta y desplazamientos de las frecuencias centrales por canal, tanto para difusión en células adyacentes como para canales de retorno de banda ancha en la propia célula, se consigue duplicar el ancho de banda efectivo del sistema, por lo que en LMDS a 28 GHz no es necesario alternar frecuencias entre células adyacentes, algo imprescindible en otros sistemas celulares, con el consiguiente ahorro de este recurso natural escaso y de creciente valor.

En definitiva, el sistema LMDS se puede contemplar, desde un punto de vista global, como un conjunto de estaciones base (también conocidas como hubs) interconectadas entre sí y emplazamientos de usuario, donde las señales son de alta frecuencia (en la banda Ka) y donde el transporte de esas señales tiene lugar en los dos sentidos (two-way) desde/hacia un único punto (el hub) hacia/desde múltiples puntos (los emplazamientos de usuario) , en base siempre a distancias cortas .

En consecuencia, se puede decir que LMDS es celular debido a su propia filosofía; en efecto, la distancia entre el hub y el emplazamiento de usuario viene limitada por la elevada frecuencia de la señal y por la estructura punto-multipunto, lo cual genera de forma automática una estructura basada en células.

El carácter innovador fundamental de la tecnología LMDS consiste en que trabaja en el margen superior del espectro electromagnético, en la banda Ka de 28 GHz, concretamente en el intervalo 27,5 GHz-29,5GHz, y en la banda de 31 GHz utilizada habitualmente para control de tráfico y vigilancia metereológica, concretamente en el intervalo 31,0 GHz-31,3 GHz .

5.2.2 Camino sin obstáculos.

Como consecuencia directa de trabajar con las frecuencias más elevadas del espectro, LMDS requiere la existencia de un line-of-sight o camino sin obstáculos entre la estación base/hub y la antena situada en el emplazamiento de usuario o abonado para que la señal no sufra reflexiones y pueda llegar a su destino. Por ello, LMDS se considera un sistema line-of-sight óptico en el sentido de que el camino entre los dos puntos entre los que se establece la transmisión debe aparecer libre de obstáculos.

Esta exigencia genera inevitablemente la aparición de zonas de sombra hasta el extremo de que en una zona urbana la sombra puede llegar a afectar a un 40 por ciento de los usuarios que existen en una célula. Para tratar de optimizar la solución a este problema se utilizan estrategias basadas en el solapamiento de células, de forma que las zonas resultantes de la intersección de esas células puedan tener acceso a más de una estación base y así disminuir la probabilidad de que se produzcan rupturas del line-of-sight.

La eficacia de este método viene dada en términos del porcentaje de usuarios de la célula a los que la señal les llega o la emiten sin problemas y que se estima en torno a un 85-90 por ciento . Otros métodos para tratar de disminuir el nivel de sombra en una determinada zona se basan en la utilización de reflectores y amplificadores.

Debido a que las moléculas de agua afectan al comportamiento de las señales de frecuencia elevada en términos de transferencia de parte de la energía de la señal a la molécula de agua, lo que produce un efecto de degradación de la señal conocido como "rain fade", la lluvia constituye en principio un problema para LMDS ya que provoca la pérdida de la potencia de las señales . Esto se soluciona básicamente aumentando la potencia de transmisión, reduciendo el tamaño de la célula o mediante ambos métodos a la vez. En el primer caso se utilizan normalmente sistemas de potencia variable que, asociados a equipos de detección de lluvia, aumentan la potencia de transmisión de forma automática cuando se produce la lluvia; cuando la optimización en la variación de potencia no resulta suficiente, se disminuye el tamaño de la célula para conseguir más potencia . De hecho, en células con radio menor de 8 Km. el rain fade no aparece. En líneas generales, en áreas geográficas con niveles de lluvia medios e incluso elevados se han conseguido niveles de fiabilidad del orden del 99,99 por ciento. Otros agentes meteorológicos, como la nieve o el hielo, no introducen ningún tipo de deterioro en la señal.

5.2.3 Viabilidad tecnológica.

A grandes rasgos, entre los elementos técnicos fundamentales necesarios para evaluar la viabilidad de un proyecto LMDS se encuentra el número de usuarios/abonados, que a su vez aparece como una función del tamaño de la célula, de la densidad de células y de la potencia de la estación base. Paralelamente, el tamaño de la célula se establece en función de las zonas de sombra, condiciones meteorológicas relativas a lluvia, nivel de solapamiento de las células y tecnología utilizada en los equipos.

Básicamente, la infraestructura asociada a LMDS consiste en el segmento de la estación base o hub y el segmento de usuario. Este último está conformado por una serie de antenas/transceivers de baja potencia situadas en cada emplazamiento de usuario; en cada hogar para el caso residencial y en cada oficina/emplazamiento industrial para el caso de negocios . El tamaño de estas antenas, que se pueden instalar en tan sólo dos horas, es muy pequeño. Las antenas reciben las señales emitidas por la estación base/hub al mismo tiempo que emiten señales hacia esa estación base/hub. Mediante un down-converter la señal en la banda de 28 GHz se pasa a una frecuencia intermedia IF (Intermediate Frequency) para que la señal sea compatible con los equipos del usuario; recíprocamente, mediante un up-converter, esta señal de frecuencia intermedia se convierte en una señal de frecuencia en 28 GHz para generar la transmisión desde el emplazamiento de usuario hacia el hub. El segmento de usuario comprende también el set-top-box, basado tradicionalmente en tecnología analógica, aunque se está trabajando activamente en incorporar tecnología digital, con lo cual se mejora considerablemente la recepción de señales de vídeo en formato MPEG-2, (capítulo 4).

Otras partes del segmento de usuario son una serie de interfaces para implementar la integración en el marco del sistema de comunicaciones del usuario, y equipos para realizar la interconexión con la WAN (Wide Area Network) –como enlaces con la central telefónica para generar líneas telefónicas y/o cabeceras (headend) de televisión por cable–, una interfaz Ethernet para conectar ordenadores y equipos asociados y una interfaz de red para controlar la interacción entre los diferentes equipos informáticos y de comunicaciones . En concreto, esta interfaz de red, conocida como NIU (Network Interface Unit), constituye una interfaz estandarizada para todos los equipos existentes en el emplazamiento de usuario, como, por ejemplo, PBX o multiplexadores de acceso integrado.

5.2.4 Modo de funcionamiento.

Su modo de funcionamiento se basa en dividir el diagrama de radiación de la antena en sectores, de forma que se puedan crear diferentes nodos de área de servicio. Así, si se dispone de un determinado margen de frecuencias X en la antena para cubrir una zona en la que se encuentran Y abonados, según el principio de sectorización de la antena, esta zona se podría dividir en, por ejemplo, Z sectores, de modo que cada uno de ellos, donde habría Y/Z abonados, utilizaría la frecuencia X completa para su propio servicio, con lo cual se obtiene una multiplicación de la capacidad del sistema en términos del número de abonados al que se puede dar servicio, al mismo tiempo que cada sector presenta un conjunto de servicios previamente determinado. Este tipo de antenas aparece habitualmente en el ámbito de las comunicaciones celulares.

En LMDS la sectorización se realiza en cuadrantes, normalmente utilizando polaridades alternadas horizontal y vertical en cada sector. Esta diversidad en la polarización permite optimizar la reutilización de frecuencia; en el caso de 4 sectores se obtiene una ventaja de 4:1 con respecto a otros sistemas que no emplean técnicas de reutilización de frecuencia. Los niveles de reutilización del espectro obtenidos se acercan al cien por cien.

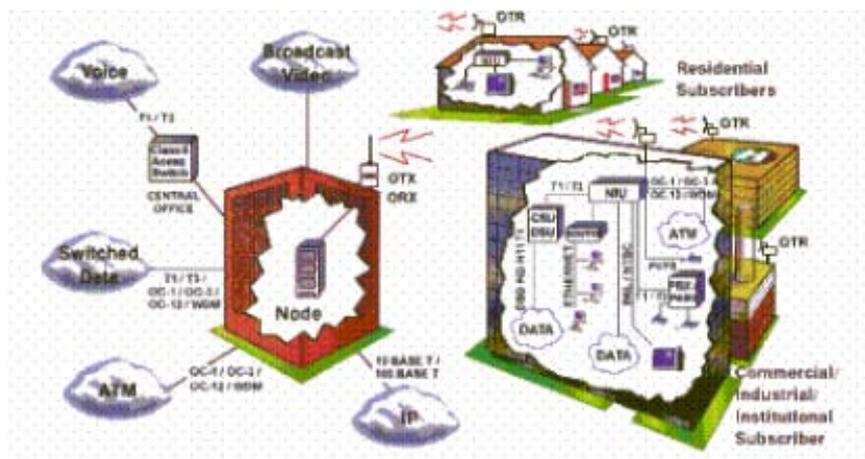


Fig.5.1 Sistema LMDS

El equipo asociado a la estación base está configurado en función de una filosofía modular, de forma que se pueda realizar el despliegue para prácticamente cualquier número de circuitos por sector. En líneas generales, se puede afirmar que la capacidad de estos sistemas LMDS es realmente notable; con capacidad tal como que una sola estación base proporciona líneas telefónicas y de datos para dar servicio a aproximadamente 80. 000 abonados, como se muestra en la fig. 5.1.

◇ **Sus principales elementos son:**

- **Usuarios finales:** residencial y empresarial.
- **Equipamiento de usuario final, que consta básicamente de tres partes:**
 - **Antena** tipo disco de reducido diámetro (10-15 cm. de diámetro).
 - **Receptor / Transmisor RF:** equipo que transmite y recibe, denominado CPE (Customer Premises Equipment). Para aplicaciones simétricas.
 - **Receptor RF:** equipo que únicamente recibe señales, denominado LNB (Low Noise Block). Para aplicaciones asimétricas.
- **Equipamiento adaptador:** adapta las señales RF para su recepción descodificada por el terminal del usuario. Es el caso del TV Set Top Box, tarjeta PC, splitter, o módem radio.
- **Terminales:** teléfono, televisor, u ordenador personal.
- **Estación base,** consistente en una torre de varios metros de altura dónde se instalan dos antenas que dan cobertura a los usuarios ubicados en las cercanías (hasta 6 Km). Se pretende que la estación base proporcione cobertura omnidireccional, por lo que se emplean dos antenas que cubren sectores de 180 grados cada una.
- **Cabecera:** soporta ó facilita la transmisión de los diferentes servicios ofertados (voz, datos, TV, Internet), procesando la información y enviándola a todas las estaciones base. Incluye:
 - Conexión de alta capacidad a Internet, con los correspondientes routers y servicios de autenticación y gestión.

- Servidor de aplicaciones interactivas Web TV y de vídeo avanzado.
 - Sistema de captación de canales de TV por satélite, generación de canales propios, y generación de la señal de TV correspondiente a los diferentes paquetes ofertados, remitida por un proveedor de contenidos.
 - Sistema de conmutación de voz.
 - Sistema de acceso condicional para TV.
 - Sistema de gestión de red.
 - Sistema de acceso, para la optimización del uso del ancho de banda entre los diferentes clientes.
- **Red de transporte**, que conecta la cabecera con otras redes de voz, datos ó TV.
- **Internet de flujo asimétrico**: definido como el acceso a Internet con diferente velocidad de bajada de acceso ó recepción de información (download) y de subida ó emisión de información (upload), a la cuál se conecta el usuario. Este tipo de acceso es muy adecuado para aplicaciones asimétricas en que el usuario descarga mucha más información de la red de la que envía, sea del tipo que sea (voz, datos, imágenes).
- **Internet de flujo simétrico**: la velocidad de recepción y de transmisión son idénticas. Entorno típico de las aplicaciones empresariales en las que se intercambia continuamente similar cantidad de información en ambos sentidos.

5.2.5 Ventajas

A modo de resumen, se pueden citar varias características del sistema LMDS que suponen una ventaja competitiva:

◇ Al ser un sistema de transmisión de banda ancha, se posibilita la integración de los servicios sobre el mismo medio de transmisión.

◇ Puesto que es un sistema de transmisión de datos, toda la información que se pueda digitalizar será susceptible de ser transmitida por él.

Por lo tanto, utilizando la misma tecnología, un mismo usuario puede recibir servicios muy diferentes tales como acceso a Internet, telefonía, información multimedia bajo demanda, datos, etc.

◇ Al permitir la bidireccionalidad, se pueden ofrecer servicios como la TV multicanal, la telefonía ó el acceso a Internet conjuntamente mediante una plataforma única. Otras tecnologías inalámbricas tales como MMDS o el satélite no lo permiten.

◇ Al ser el medio de transmisión radio, el desarrollo de la infraestructura necesaria para el establecimiento del servicio es fácil de desarrollar. Por el contrario, en los sistemas basados en redes de cable, se exige llegar de manera física a cada uno de los clientes que soliciten el servicio.

◇ El tiempo de ejecución de la infraestructura es mucho menor, lo cuál implica que los costes de establecimiento se reducen enormemente, puesto que con una sola estación transmisora se cubren todos los posibles clientes que entren dentro de la extensa área de cobertura de la misma.

◇ La calidad de la señal no se ve afectada por las defectuosas redes de acceso locales existentes en muchos países, ya que todo el bucle local se realiza independiente de las mismas, vía radio.

Por último, puesto que gran parte del desembolso de estos sistemas se destina al equipamiento de usuario (antena receptora, convertidores, módems, etc.), el operador no incurre en estas inversiones hasta que el cliente no solicita el servicio. Además, las necesidades de financiación motivadas por la inversión en infraestructura para el usuario son mínimas, dado que el desarrollo de ésta última es causada por el alta de cada nuevo cliente. En definitiva, se reduce la inversión inicial, y el ritmo de ejecución de las inversiones se ajusta a su

capacidad para generar ingresos, por lo que las necesidades de capital se optimizan.

◇ Costo:

- Bajos costos de introducción y desarrollo
- Infraestructura escalable basado en la demanda, cobertura y concentración de edificios.
- Bajos costos de mantenimiento, manejo y operación del sistema.

◇ Velocidad:

- Crecimiento más rápido y fácil.
- Tiempo de retorno más rápido gracias a la rápida respuesta a las oportunidades de mercado.
- Habilidad para manejar múltiples puntos de acceso de alta capacidad, con tiempos de instalación reducidos sin la preocupación de obtener los derechos de instalar cableados externos.
- Desde un punto de vista funcional, es capaz de prestar los mismos servicios que las tecnologías de cable, pero es mucho más barata, sencilla y rápida de desplegar.

◇ Capacidad:

- Velocidades de acceso de hasta 8 Mbps
- Redistribución del ancho de banda entre clientes a tiempo real
- Plataforma multi- servicios
- Alta confiabilidad

– Simetría o asimetría

◇ **Desventajas**

– Necesidad de línea de vista

– Alcance limitado

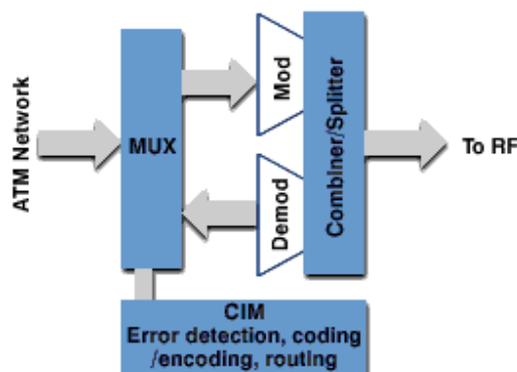
– Tecnología nueva.

(2)

5.2.6 Equipo Del Red-Nodo

El equipo del red-nodo (NNE) proporciona la entrada básica de la red para el tráfico de la red del wireline que conecta a la anchura de banda de LMDS (véase el cuadro 1). El NNE es equivalente a la Digital Equipment de la base-estación. Los productos del red-nodo proporcionan el proceso, la multiplexación, demultiplexing, la compresión, detección de error, codificación, descifrando, encaminando, modulación, y desmodulación. El NNE puede también proporcionar la conmutación de la atmósfera.

Cuadro 1. Arquitectura Del Red-Nodo



Las funciones siguientes se pueden realizar en el nodo de red:

◇ **Compresión de la señal numérica.**- La conversión de la televisión análoga señala a las señales numéricas altamente comprimidas para la distribución por el sistema de la microonda.

◇ **Interfaces Del Protocolo De Wireline/Wireless.**- Dependiendo del servicio del operador, NNE se puede configurar para ampliar el vídeo, el IP, y la anchura de banda excesiva de los servicios LMDS de la voz. (7)

5.2.7 Antenas LMDS

Las antenas utilizadas en los sistemas LMDS difieren bastante dependiendo de que nos encontremos en la estación base o en el emplazamiento de usuario.

En el caso de este último, se emplean antenas directivas para conseguir la máxima ganancia. Una bocina cónica con un diámetro de apertura de unos 15 ó 20 cm. suele ser una antena de usuario típica. Para reducir la longitud de la antena sin introducir un excesivo error de fase se utiliza una lente colocada en la apertura de la bocina (figura 5.2).

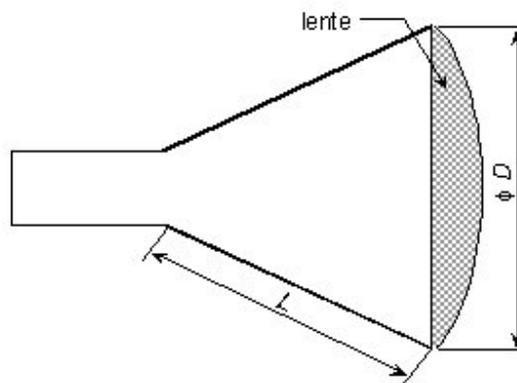


Fig. 5.2 Sección longitudinal de una bocina cónica compensada con lente.

(7) <http://www.iec.org/online/tutorials/lmds/>

En términos generales, en el segmento de usuario la antena capta la señal emitida por el hub y la unidad de interfaz de red la convierte en voz, vídeo y datos, y la distribuye por todos los cables existentes en la planta del edificio. El segmento de la estación base está formado por la propia estación omnidireccional o sectorizada, que se sitúa sobre estructuras o edificios ya existentes o sobre torres de transmisión de una altura determinada para poder disminuir al máximo las zonas de sombra. En el caso de la estación base, debido a la transmisión punto a multipunto, se emplean o bien antenas omnidireccionales que cubren completamente la celda, o bien un conjunto de antenas sectoriales con anchos de haz que pueden variar entre los 30 y los 180 grados.

Las antenas sectoriales, además de poseer una mayor ganancia, permiten reutilizar las frecuencias del sistema. De este modo, se obtiene una multiplicación de la capacidad del sistema en términos del número de abonados a los que se les puede dar servicio. Las polarizaciones utilizadas en estos sistemas son lineales: horizontal (H) y vertical (V). Suponiendo que se utilizan cuatro antenas sectoriales de 90 grados para cubrir cada celda y polarizaciones ortogonales, obtendríamos un esquema como el de la figura 5.3.

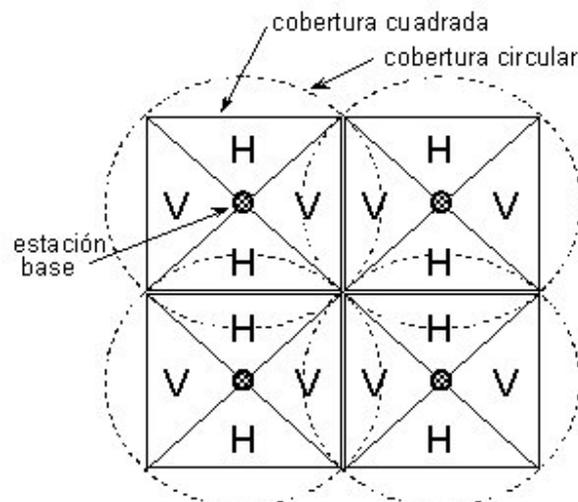


Fig. 5.3 Planificación celular LMDS típica.

La antena sectorizada permite reutilizar frecuencias, lo cual produce un notable incremento de la capacidad global del sistema, en particular, en lo que concierne a la generación de servicios en dos sentidos. (8)

5.2.8 Equipamiento de la estación base

Pueden considerarse al menos dos tipos de arquitectura distintos para implementar los equipos transmisores, las cuales han sido utilizadas en los equipos comerciales existentes. Por una parte, una estructura monocanal de subida en frecuencia, amplificación y transmisión con canales de ancho de banda estrecho, reducida potencia y que se combinan antes de ser radiados.

Alternativamente, también se puede utilizar una estructura de banda ancha donde se suban en frecuencia y se amplifiquen simultáneamente todos los canales. Como ventajas de la estructura monocanal se tienen una mayor linealidad (los amplificadores se emplean más eficientemente) y una mayor eficiencia espectral dado que se puede combinar con el uso de antenas sectorizadas.

Sin embargo, el transmisor es excesivamente modular y existe redundancia de equipos. Por otro lado, en el caso multicanal se puede entregar un mayor ancho de banda a la antena, aunque a costa de una limitación de potencia como consecuencia de la intermodulación introducida por el amplificador de potencia. (5)

(8) <http://www.idg.es/Comunicaciones/articulo.asp?id=57855>

(5) Idem

5.2.9 Balance de potencias

Se utiliza para calcular la distancia máxima de la estación base a la que debe situarse un usuario para mantener una determinada calidad de señal. En este cálculo intervienen todas las ganancias y pérdidas del sistema, incluyendo transmisores, repetidores, antenas, propagación en espacio libre, convertidores de frecuencia, amplificadores, desvanecimientos por lluvia o vegetación, etc. Los parámetros de calidad que se utilizan son la relación portadora a ruido (CNR), los niveles de distorsión de tercer orden (CTB) y la relación portadora a interferencia (CIR).

La CNR global del sistema se relaciona directamente con la tasa de errores (BER, Bit Error Rate) en recepción. Suponiendo la presencia de ruido blanco gaussiano y las figuras de ruido asociadas a cada componente, el BER se calcula a partir de un modelo teórico basado en el esquema de modulación empleado y el algoritmo utilizado para la corrección de errores. Generalmente se emplean técnicas de corrección de errores en recepción (FEC, Forward Error Correction) basadas en códigos convolucionales.

Por otro lado, el nivel de distorsión acumulado a lo largo del sistema debe mantenerse en unos niveles aceptables para realizar la demodulación en el receptor correctamente. Los productos de intermodulación generados en transmisores, amplificadores y convertidores de frecuencia dependen de la potencia de portadora, del número de canales y del punto de intercepción de tercer orden del dispositivo. Normalmente se tienen valores de CTB (potencia de intermodulación de tercer orden respecto a potencia de portadora) de unos 35 dBc. ⁽⁹⁾

9) <http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp>

5.3 Ancho de banda y modulación

Actualmente la FCC (Federal Communications Commission) está trabajando activamente en la generación de un soporte regulatorio para LMDS que permita optimizar su potencial tecnológico. Dentro de esta línea, ha asignado 1. 150 MHz de espectro no continuo en 28 GHz-31 GHz, llamado Bloque A, y 150 MHz en la banda de 31 GHz, llamado Bloque B, con lo cual LMDS conlleva un ancho de banda espectral total de 1 . 300 MHz, una cifra que si se compara con PCS, por ejemplo, resulta considerablemente mayor con respecto a los 30 MHz de PCS bloque C, en concreto 40 veces mayor .

◇ Modulación y demodulación

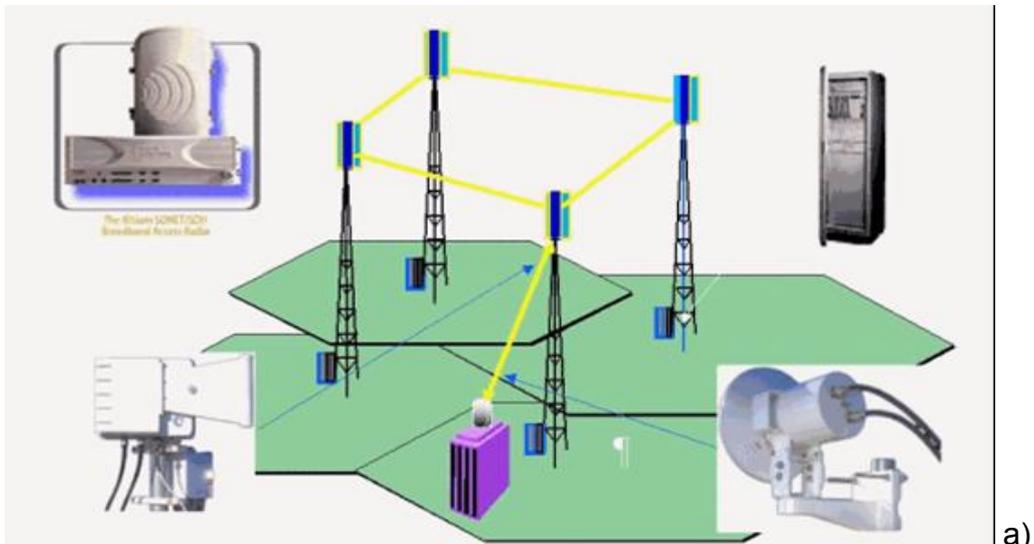
Las señales de la voz, del vídeo, y del sistema de la multiplexación de los datos se modulan antes de que ocurra la transmisión sin hilos. Semejantemente, el tráfico del receptor de la microonda se demodula antes de la transmisión del wireline. La tecnología LMDS utiliza el método de modulación QPSK (capítulo 3) que permite reducir las interferencias y aumentar casi hasta el cien por cien la reutilización del espectro. El ancho de banda conseguido gracias a estas características se acerca a 1 Gbps. Por otra parte, en lo que respecta al contexto de protocolos, LMDS aparece como un sistema especialmente neutro, lo cual aumenta su potencial integrador. LMDS puede trabajar en entornos ATM y MPEG-2. ⁽²⁾

5.4 Arquitecturas o Topologías de LMDS

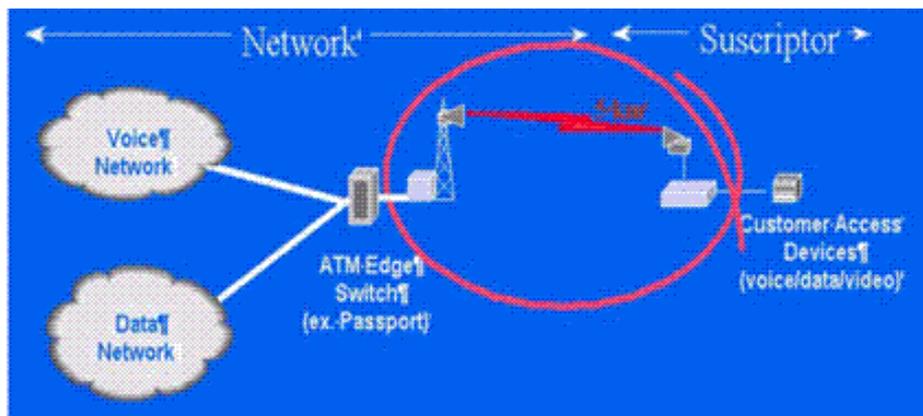
En el diseño de sistemas LMDS son posibles varias arquitecturas de red distintas: acceso inalámbrico punto – multipunto, o proveer sistemas punto-a-punto y sistemas de distribución de TV con el sistema LMDS. Es de esperarse que los servicios del sistema LMDS sean una combinación de voz, datos y vídeo.

La arquitectura de red LMDS consiste principalmente de cuatro partes:

- Centro de operaciones de la red (NOC)
- Infraestructura de fibra óptica,
- Estación base
- Equipo del cliente (CPE).



a)



b)

Fig. 5.4 Topologías de red LMDS a) con infraestructura de fibra

b) Entre suscriptor y la red de servicios

◇ Centro de Operaciones de la Red (NOC).

Contiene el equipo del Sistema de Administración de la Red (Network Management System - NMS) que está encargado de administrar amplias regiones de la red del consumidor. Se pueden interconectar varios NOC's.

La infraestructura basada en fibra óptica, típicamente consiste de Redes Ópticas Síncronas (SONET), sistemas de conmutación ATM e IP, y conexiones con la Internet y la Red Telefónica Pública (PSTNs).

◇ Infraestructura de fibra óptica.

En la estación base es donde se realiza la conversión de la infraestructura de fibra a la infraestructura inalámbrica. Los equipos que permiten la conversión incluyen la interfaz de red para la terminación de la fibra, funciones de modulación y demodulación, equipos de transmisión y recepción de microondas ubicados típicamente en techos o postes. Entre sus características se encuentra la conmutación local que puede no estar presente en diferentes diseños.

Si la conmutación local se encuentra presente, los consumidores conectados a la estación base pueden comunicarse entre sí sin tener que entrar en la infraestructura de fibra óptica. De esta manera, la administración del canal de acceso, registro y autenticación ocurren localmente en la estación base.

◇ Estación base.

La arquitectura estación-base alternativa simplemente provee enlace a la infraestructura de fibra óptica. Todo el tráfico dentro de la infraestructura de fibra debe terminar en switches ATM o equipos de oficina central.

Bajo este escenario, si dos consumidores conectados a una misma estación base desean comunicarse entre ellos, la comunicación se lleva a cabo en una zona centralizada. Las funciones de autenticación, registro y administración de tráfico se realizan centralizadamente.

◆ **Equipo del cliente (CPE).**

Las configuraciones del equipo especial del cliente varían entre vendedor y vendedor y dependen de las necesidades del cliente. Principalmente, toda configuración incluye equipo microondas externo y equipo digital interno capaz de proveer modulación, demodulación, control y funcionalidad de la interfaz del equipo especial del cliente. El equipo del cliente puede añadirse a la red utilizando métodos de división de tiempo (time-division multiple access - TDMA), división de frecuencia (frequency-division multiple access - FDMA) o división de código (code-division multiple access – CDMA). Las interfaces de los equipos del cliente cubrirán el rango de señales digitales desde nivel 0 (DS-0), servicio telefónico (POTS), 10BaseT, DS-1 no estructurado, DS-1 estructurado, frame relay. Las necesidades de los clientes pueden variar entre grandes empresas (por ejemplo, edificios de oficinas, hospitales, universidades), en las cuales el equipo microondas es compartido por muchos usuarios, a tiendas en centros comerciales y residencias, en las que serán conectadas oficinas utilizando 10BaseT y/o dos líneas telefónicas (POTS). (2)

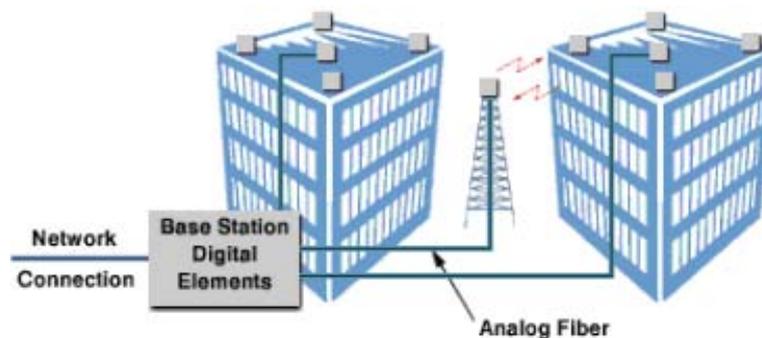
Las arquitecturas alternativas incluyen conectar la unidad de interior de la base-estación con los sistemas alejados múltiples de la transmisión y de la recepción de la microonda con la interconexión análoga de la fibra entre la unidad de datos de interior (IDU) y la unidad de datos al aire libre (ODU).

(2) Idem

Este acercamiento consolida la Digital Equipment, proporcionando redundancia creciente y de compartir recursos digitales sobre un área más grande. Las dificultades son típicamente la carencia de los recursos análogos de la fibra y ediciones alejadas del despliegue del equipo de la transmisión y de la recepción de la microonda.

Esta segunda arquitectura alternativa está temprano en el proceso del diseño para la mayoría de los vendedores y de los cuerpos de los estándares (véase el cuadro 2).

Cuadro 2. Arquitectura Análoga De la Fibra



(7)

5.4.1 Equipamiento de usuario

El equipamiento del emplazamiento de usuario se resume en el diagrama de bloques del transceptor LMDS de la figura 5.5.

Los enlaces ascendente (uplink) y descendente (downlink) deben separarse por medio de un duplexor colocado a la salida de la antena.

(7) Idem

En este tipo de esquema es imprescindible evitar la interferencia del enlace ascendente sobre el descendente, ya que la diferencia de potencias es considerable y el aislamiento del duplexor no es perfecto. Por ello, los 2 GHz de ancho de banda se dividen y se toman bandas diferentes para cada uno de los sentidos.

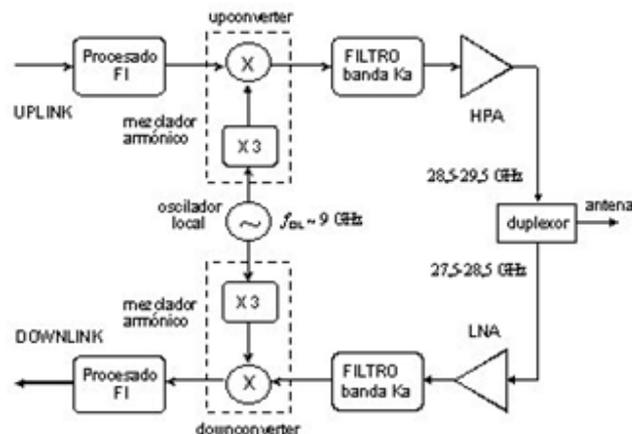


Fig. 5.5 Diagrama de bloques de un transceptor LMDS.

Los bloques de procesado de FI se encargan de trabajar con las señales de frecuencia intermedia que serán posteriormente subidas en frecuencia a la banda Ka (upconversion) o que previamente fueron bajadas de dicha banda (downconversion). El elemento clave encargado de realizar estas conversiones de frecuencia es el mezclador de milimétricas. Las estructuras que suelen emplearse son las basadas en el mezclado armónico. De este modo, la frecuencia de oscilador local que alimenta al mezclador es un submúltiplo de la frecuencia de portadora, obteniéndose un ahorro económico importante.

Así, suponiendo un mezclador de tercer armónico y una frecuencia de portadora de 27 GHz, sería necesario un oscilador a 9 GHz. Para obtener esta frecuencia que debe ser muy precisa se utilizan osciladores sintetizados enganchados a un reloj de Rubidio de referencia. Finalmente, otros elementos serían filtros en banda Ka y amplificadores de milimétricas.

En el caso de estos últimos, se utiliza un amplificador de alta potencia (HPA, High Power Amplifier) para alimentar la señal a la antena y un amplificador de bajo ruido para amplificar la señal proveniente de la antena, ambos realizados normalmente en tecnología monolítica de microondas.

5.5 Diseño de celdas

La principal diferencia de los sistemas LMDS con respecto al resto de tecnologías de acceso vía radio es su margen de frecuencias de trabajo. En este caso, LMDS opera a frecuencias milimétricas en torno a los 28 GHz (banda Ka). Dada la congestión espectral que existe a frecuencias bajas, esta es la única forma de conseguir anchos de banda elevados. En particular, anchos de banda de unos 2 GHz son típicos en estos sistemas.

Por ejemplo, para una disponibilidad de servicio del 99,9 % se pueden alcanzar distancias de hasta 14 km. Los usuarios situados a 14 Km. de la estación base no recibirán servicio en una media de 8 horas por año, mientras que los usuarios más cercanos tendrán una disponibilidad mejor. Si la disponibilidad aumenta al 99,99 %, el alcance se reduce a 5 Km. (valor típico), mientras que para el 99,999 % se tendría una distancia máxima de tan solo 2,5 km. A diferencia del resto de sistemas de comunicaciones celulares como DECT o GSM, en este caso se trata de equipos fijos, donde las antenas se sitúan normalmente en la azotea de los edificios. (5)

Durante la planificación de celdas para una red LMDS, hay que tomar en cuenta los siguientes atributos:

- **Penetración de suscriptores** – El cual es el porcentaje de suscriptores que poseen suficiente nivel de señal para lograr una excelente calidad de servicio.

(5) Idem

- **Calidad de Servicio (quality of service – QoS)** – La calidad del servicio se encuentra afectada por varios factores como por ejemplo: la obstrucción del camino de transmisión, el solapamiento de celdas (15% es normal) y redundancia del sistema.
- **Presupuesto de Enlace** – El presupuesto del enlace es utilizado para estimar la máxima distancia a la que un suscriptor puede estar localizado de una celda teniendo aún aceptables niveles de confiabilidad del servicio. El presupuesto contabiliza todas las pérdidas y ganancias del sistema a través de varios tipos de equipos. El presupuesto del enlace analiza varios parámetros de la red, incluyendo radios portadora-a-ruido.
- **Selección del tamaño de la celda** – El tamaño máximo de celda para servir un área está relacionado al nivel de confiabilidad deseado obtenido a partir del presupuesto del enlace. El tamaño de la celda puede variar dentro del área de cobertura debido al tipo de la antena, su altura y pérdida de señal. Los anteriores efectos guardan relación con el tipo de área de cobertura por ejemplo urbano, suburbano o cobertura de baja densidad. La selección del tamaño de la celda afecta el costo capital total para la cobertura del área requerida.
- **Modelo capital-costo** – El modelo capital-costo es utilizado para estimar los requerimientos de capital de la red. El modelo encierra consideraciones de diseño tales como presupuesto de enlace, tamaño de celda, solapamiento de celdas, número de celdas, capacidad de tráfico, número de sectores, costo por cada celda, y costo capital total.

5.5.1 Optimización de rehusó de frecuencia.

Las siguientes técnicas son utilizadas para optimizar el rehusó de frecuencia en redes LMDS:

- Minimización de múltiples caminos y cruce de polarización utilizando antenas altamente direccionales y posicionándolas a grandes alturas.

- Maximización de la direccionalidad de las antenas de las celdas a través de la sectorización del sistema de distribución; el equipo microondas de la celda es generalmente configurado con múltiples sectores, antenas, transmisores y receptores.
- Una configuración típica es una celda con cuatro sectores utilizando antenas de 90 grados de amplitud de rayo para proveer servicios al conjunto de suscriptores. Cada una de estas antenas sectorizadas (transmisores y receptores) puede soportar el ancho de banda total del espectro reservado. (2)

5.5.2 Tamaño de celda y coste del sistema

El tamaño máximo de celda se encuentra directamente relacionado con la calidad de servicio exigida y puede calcularse por medio del balance de potencias. El tamaño de celda puede variar dentro de la zona de cobertura debido al tipo de antena utilizado, a su altura, a las pérdidas por vegetación, al esquema de modulación empleado y a otros efectos anteriormente comentados. En el caso de la banda de 26 GHz los radios típicos de celda oscilan entre 2-4 Km., mientras que la banda de 3,5 GHz proporciona alcances de 15-20 km. No obstante, el tipo de área (urbana, suburbana o rural) condiciona enormemente el tamaño de celda por cuestiones de tráfico.

En el caso de zonas con alta densidad de usuarios o grandes consumos de ancho de banda (edificios de empresas), no se puede garantizar una cierta calidad de servicio y es necesario reducir el radio de las celdas.

El coste total del sistema depende de una serie de factores: balance de potencias, tamaño de celda, solapamiento entre celdas, número de celdas, capacidad de tráfico, número de sectores por celda y coste por celda. La sectorización de las celdas se realiza por cuestiones de tráfico, ya que permite la reutilización de las frecuencias y por lo tanto del ancho de banda disponible.

(2) Idem

En general, el coste del sistema depende del número de celdas necesarias para cubrir toda el área de cobertura. El coste de los equipos de radiofrecuencia (transmisores, receptores y antenas) se ve reflejado en cada uno de los sectores de la celda, mientras que el coste del equipamiento interno de la estación base depende de la capacidad de tráfico requerida. (9)

5.6 Servicios

La capacidad de LMDS para comunicar en los dos sentidos permite generar servicios de carácter interactivo tales como videoconferencia, VoD (Video on Demand), acceso a Internet de alta velocidad y NC (Network Computing) de elevada flexibilidad, además de servicios convencionales como, por ejemplo, telefonía y programación de vídeo multicanal

LMDS presenta un importante potencial competitivo en lo que respecta al cable (fibra óptica y HFC –Hybrid Fiber Coaxial–).

Los servicios de telecomunicaciones de banda ancha permiten optimizar las telecomunicaciones de manera que el usuario pueda simultáneamente acceder a todas las posibilidades que la multimedia ofrece tales como:

- Acceso a Internet de alta velocidad
- Televisión digital multicanal Videoconferencia
- Telefonía: local, nacional e internacional
- Servicios de voz IP
- Servicios de transmisión de datos: redes privadas virtuales y líneas dedicadas.
- Comercio electrónico
- Banca por Internet
- Enseñanza a distancia

(9) Idem

5.7 Calidad del servicio

La calidad de servicio o fiabilidad suele medirse por medio del porcentaje de tiempo que el sistema funciona correctamente. Valores típicos oscilan entre el 99,9 % y el 99,999 %. Adicionalmente, para aumentar este porcentaje pueden emplearse técnicas de diversidad.

Las técnicas de diversidad pueden realizarse en el dominio espacial, frecuencial o temporal y consisten en proporcionar rutas distintas para transmitir y recibir información redundante. La idea se basa en que ahora es necesario que ocurra un desvanecimiento de la señal simultáneamente en todas las posibles rutas para cortar el enlace. De este modo, suponiendo que disponemos de dos rutas diferentes con una fiabilidad o calidad de servicio del 99,9 %, la calidad resultante empleando diversidad llegaría hasta el 99,9999 %.

Adicionalmente a los efectos de bloqueo del haz, el solapamiento entre celdas o la redundancia del sistema también afectan a la calidad de servicio. El solapamiento entre celdas es un factor de diseño importante de tal forma que se garantice que un abonado situado cerca del borde de la celda pueda recibir servicio de múltiples direcciones. Un valor típico de solapamiento es el 15 %, el cual puede variar dependiendo de la densidad de población y de la obstrucción causada por grandes edificios.

Finalmente, para minimizar el tiempo de caída del sistema en caso de fallo o degradación del equipamiento, pueden utilizarse transmisores, receptores y antenas de reserva (redundancia de equipos). Cuando el sistema de gestión detecta un fallo en un determinado equipo se conmuta al equipo de reserva en unos pocos microsegundos.

Los transmisores y receptores digitales de banda ancha poseen tarjetas de monitorización cuya función es medir parámetros tales como potencia de salida, temperatura, frecuencia del oscilador local, etc.

Todos estos valores analógicos se digitalizan y se transmiten hacia el centro de control de red, el cual se encarga de comprobar los márgenes de funcionamiento y conmutar al equipamiento redundante en caso de fallo.

El balance de potencias se utiliza para calcular la distancia máxima de la estación base a la que debe situarse un usuario para mantener una determinada calidad de señal. En este cálculo intervienen todas las ganancias y pérdidas del sistema, incluyendo transmisores, repetidores, antenas, propagación en espacio libre, convertidores de frecuencia, amplificadores, desvanecimientos por lluvia o vegetación, etc. Los parámetros de calidad que se utilizan en el balance de potencias son la relación portadora a ruido (CNR, Carrier to Noise Ratio), los niveles de distorsión de tercer orden (CTB, Composite Triple Beat) y la relación portadora a interferencia (CIR). La CNR global del sistema se relaciona directamente con la tasa de errores (BER, Bit Error Rate) en recepción. Suponiendo la presencia de ruido blanco gaussiano y las figuras de ruido asociadas a cada componente, el BER se calcula a partir de un modelo teórico basado en el esquema de modulación empleado y el algoritmo utilizado para la corrección de errores. Generalmente se emplean técnicas de corrección de errores en recepción (FEC, Forward Error Correction) basadas en códigos convolucionales.

Por otro lado, el nivel de distorsión acumulado a lo largo del sistema debe mantenerse en unos niveles aceptables para realizar la demodulación en el receptor correctamente. Los productos de intermodulación generados en transmisores, amplificadores y convertidores de frecuencia dependen de la potencia de portadora, del número de canales y del punto de intercepción de tercer orden del dispositivo.

Normalmente se tienen valores de CTB (potencia de intermodulación de tercer orden respecto a potencia de portadora) de unos 35 dBc.

El tamaño máximo de celda se encuentra directamente relacionado con la calidad de servicio exigida y puede calcularse por medio del balance de potencias. El tamaño de celda puede variar dentro de la zona de cobertura debido al tipo de antena utilizado, a su altura, a las pérdidas por vegetación, al esquema de modulación empleado y a otros efectos anteriormente comentados. En el caso de la banda de 26 GHz los radios típicos de celda oscilan entre 2-4 Km., mientras que la banda de 3,5 GHz proporciona alcances de 15-20 km. No obstante, el tipo de área (urbana, suburbana o rural) condiciona enormemente el tamaño de celda por cuestiones de tráfico. A pesar de que los distintos abonados pueden disponer de un nivel de señal suficiente, el ancho de banda disponible es un recurso compartido. De este modo, en el caso de zonas con alta densidad de usuarios o grandes consumos de ancho de banda (edificios de empresas), no se puede garantizar una cierta calidad de servicio y es necesario reducir el radio de las celdas (en algunos casos hasta los 500 m). (2)

(2) Idem

Conclusiones

LMDS es una tecnología de comunicaciones de banda ancha en el marco de los servicios multimedia y se basa en una concepción celular. De acuerdo con esto, se utilizan estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir, de forma que en torno a cada una de ellas se agrupa un cierto número de usuarios, generando así de una manera natural una estructura basada en células, también llamadas áreas de servicio, donde cada célula tiene un radio de aproximadamente 4 kilómetros, pudiendo variar dentro de un intervalo en torno a los 2-7 kilómetros.

Ya que (LMDS) es la tecnología sin hilos (inalámbrica) ofrece confiabilidad y calidad de señal, prácticamente los mismos servicios que las redes de fibra óptica, microondas y cable coaxial que hacen de este sistema un medio de comunicación con mejores características que los sistemas por medios cableados. Además de que su equipamiento tanto Interno: Compuesto por un pequeño sub-rack que contiene las tarjetas de tráfico de datos y que se conecta con la unidad externa (radio) por medio de un único cable de 1cm de diámetro y los equipos externos unidad de radio y la antena. Ambas se instalan de manera integrada apareciendo como un único módulo con dimensiones muy reducidas, en el caso de la antena (16 x 16 cm.).

LMDS es una excelente alternativa/complemento al cable, pues cuenta con prestaciones prácticamente equivalentes y la inversión que se requiere es muy inferior; además, los costos de mantenimiento son menores y es mucho más rápido de desplegar. Al ser un sistema de transmisión de banda ancha, se posibilita la integración de los servicios sobre el mismo medio de transmisión, toda la información que se pueda digitalizar será susceptible de ser transmitida por él, un mismo usuario puede recibir servicios como acceso a Internet, telefonía, información multimedia, TV multicanal, mediante una plataforma única. Otras tecnologías inalámbricas tales como MMDS o el satélite no lo permiten.

Al ser el medio de transmisión radio, el desarrollo de la infraestructura necesaria para el establecimiento del servicio es fácil de desplegar. Por el contrario, en los sistemas basados en redes de cable, se exige llegar de manera física a cada uno de los clientes que soliciten el servicio. La calidad de la señal no se ve afectada por las defectuosas redes de acceso locales existentes en muchos países, ya que todo el bucle local se realiza independiente de las mismas, vía radio. Tiene velocidades de acceso de hasta 8 Mbps, redistribución del ancho de banda entre clientes a tiempo real, plataforma multi- servicios y alta confiabilidad.

El LMDS puede ser la base de la comunicación aérea de la información y es la única tecnología bi-direccional de banda ancha económicamente viable en zonas de baja densidad de población. Su utilización ahorraría a los operadores mucho dinero en cableado de regiones poco pobladas y en mantenimiento de redes, y les permitiría generar ingresos desde casi el "primer día" de funcionamiento.

Lista de tablas y figuras.

● **Capítulo 1 Antecedentes históricos de la comunicación**

Fig.1.1 Sistema de Comunicaciones.

● **Capítulo 2 Medios de transmisión**

Fig.2.1 Línea de transmisión como una red de 4 terminales.

Fig.2.2 Componentes de un cable coaxial.

Fig. 2.3 Dimensiones físicas del cable coaxial.

Fig. 2.4 Cable multipar de pares trenzados.

Fig. 2.5 Conectores RJ45 Y RJ11.

Fig. 2.6 Enlace de comunicaciones de fibra óptica.

Fig. 2.7 Tipos de fibras ópticas.

Fig. 2.8 Fibra multimodal.

Fig. 2.9 Fibra multimodal con índice graduado.

Fig. 2.10 Tipos de guía onda.

Fig. 2.11 Propagación de la onda electromagnética en una G.O rectangular.

Fig. 2.12 Coordenadas para una guía de ondas cilíndrica hueca.

Fig. 2.13 Estructura general de un radio enlace por microondas.

Fig. 2.14 Construcción del láser.

Fig. 2.15 Modos de operación con infrarrojo.

Fig. 2.16 Enlace satelital.

Fig. 2.17 Partes principales de un satélite.

Fig. 2.18 Satélite de navegación.

Fig. 2.19 Satélite militar

Fig.2.20 Transponder del satélite.

Cuadro 1.- Los diferentes tipos de satélites y sus características.

● **Capítulo 3 Características de la transmisión en las telecomunicaciones**

Fig. 3.1 Transmisión simplex.

Fig. 3.2 Transmisión half-duplex.

Fig. 3.3 Transmisión full-duplex.

Fig.3.4 División de frecuencia en FDMA.

Fig. 3.5 Funcionamiento de TDMA.

Fig. 3.6 División de código en CDMA.

Fig. 3.7 CDMA para transmisión satelital.

Tabla 1: Comparación de los métodos de Acceso Múltiple.

Fig.3.8 Función de un multiplexor.

Fig. 3.9 Demultiplexor.

Fig. 3.10 OFDM y el principio del ortogonalidad.

Tabla 2. Características de los codificadores de audio de DRM.

Fig. 3.11 Enlace ADSL.

Fig. 3.12 Funcionamiento del derivador (splitter).

Fig. 3.13 Representación de la onda portadora.

Fig. 3.14 Onda modulada en amplitud.

Fig. 3.15 Modulación de fase (PM).

Fig. 3.16 Modulación de frecuencia (FM).

Fig. 3.17 Transmisor QAM.

Fig. 3.18 Constelaciones QAM.

Fig. 3.19 Disposición de elementos en un sistema MIC.

Fig. 3.20 Formas de onda en diversos puntos de un sistema MIC.

Fig. 3.21 Modulación de cambio de amplitud ASK.

Fig. 3.22 Modulación de cambio de frecuencia FSK.

Fig. 3.23 (a) Modulación PSK.

Fig. 3.23 (b) Ancho de banda PSK.

Fig. 3.24 Modulador de QPSK.

Fig. 3.25 Tabla de verdad, diagrama fasorial, y constelación de un modulador QPSK.

Fig. 3.26 Formato de un carácter en Tx. Asíncrona.

Fig. 3.27 Fundamentos de la transmisión sincrónica

• **Capítulo 4 Digitalización y compresión en LMDS**

Fig. 4.1 Codificación MPEG.

Fig. 4.2 Encadenamiento de los 3 tipos de imágenes MPEG

Fig. 4.3 Grupo de imágenes, para $M=3$, $N=12$

Fig. 4.4 Estructura de una secuencia de video MPEG

Fig. 4.5 Red de Acceso.

Fig. 4.6 Alternativas de Acceso.

Fig. 4.7 Visión global de RDSI

Tabla 1: Clasificación de canales RDSI.

Fig. 4.8 Enlace ADSL.

Fig. 4.9 Sistema VDSL

• Capítulo 5 Tecnología de transmisión LMDS

Fig.5.1 Sistema LMDS

Cuadro 1. Arquitectura Del Red-Nodo

Fig. 5.2 Sección longitudinal de una bocina cónica compensada con lente.

Fig. 5.3 Planificación celular LMDS típica.

Fig. 5.4 Topologías de red LMDS

Cuadro 2. Arquitectura Análoga De la Fibra

Fig. 5.5 Diagrama de bloques de un transceptor LMDS.

Bibliografía

● Capítulo 1 Antecedentes históricos de la comunicación

(ζ) <http://www.ucab.edu.ve/humanidades/comunicacion/informatica/nunez/clases/esquema.htm>

(1) http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_transmisi%C3%B3n"

(2) http://www.cca.org.mx/dds/cursos/redaccion/comunicacion/cont_amblab.htm

(3) <http://www.angelfire.com/electronic/pfierro/Tech1.htm>

(4) <http://www.telefonica.es/index/viajamuseotelecomunicacionesvirtual.html>

● Capítulo 2 Medios de transmisión

(Í) Electromagnetismo con aplicaciones (Kraus- Fleischs)

(1) Manual para ingenieros y técnicos en electrónica Kaufman- Seidman

(δ) Sistemas de comunicaciones electrónicas (Wayne Tomasi)

(3) <http://www.arqhys.com/arquitectura/cables-tipos.html>

(ζ) Comunicaciones de datos, redes de computadores y sistemas abiertos (Fred Halsall)

(4) <http://es.wikipedia.org/wiki/RJ45>

(5) <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/fibraoptica/index.php>

(6) http://members.fortunecity.es/unitec/guia_onda.htm

(7) <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/microondas/index.php>

(8) <http://www.ciberhabitat.gob.mx/medios/satelites/artificiales/aplicaciones.htm>

● Capítulo 3 Características de la transmisión en las telecomunicaciones

(1) <http://www.eveliux.com/fundatel/linconex.html#Líneas%20arrendadas>

(2) http://es.wikipedia.org/wiki/Internet_v%C3%ADa_sat%C3%A9lite#Frecuency-division_multiple_access_.28FDMA.29

(3) Métodos de acceso múltiple (presentación PDF)

(δ) Sistemas de comunicaciones electrónicas (Wayne Tomasi)

(4) <http://www.eveliux.com/fundatel/viasat02.html>

(5) <http://manitos.tripod.com/multiplexaje.htm>

(6) <http://www.it.uc3m.es/~jmoreno/telematica/servidor/apuntes/tema8/tema08.htm>

(7) http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.ert.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/OFDM/www_ofdm.html&prev=/search%3Fq%3Dofdm%26hl%3Des%26lr%3D

(8) http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing

(9) <http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n>

(10) <http://www.com.uvigo.es/asignaturas/rcom/TEMA7.htm>

(11) <http://www.rtve.es/dab/queesdab.html>

(12) <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2005/junio/adsl.htm>

(13) http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

(14) <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

(15) <http://olmo.cnice.mecd.es/~jmarti50/radio2/radio2.html>

(16) Presentación PDF Modulaciones

(17) Presentación PDF QAM

(Z) Comunicaciones de datos, redes de computadores y sistemas abiertos (Fred Halsall)

(18) <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

● Capitulo 4 Digitalización y compresión en LMDS

(1) <http://www.wapeton.com/netscape/db/articulos/edetalle.asp?subopid=8&tipo=6&artid=238>

(2) <http://www.dvdenlared.com/cineencasa/20040824094702.html>

(3) http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/int_comp_video.htm

(4) http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/compresion_audio.htm

(5) http://searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci214223,00.html

(6) <http://www.monografias.com/trabajos10/sonet/sonet.shtml>

(7) <http://www.consulintel.es/Html/Tutoriales/Articulos/rdsi.html>

(8) <http://es.wikipedia.org/wiki/HDSL>

(9) <http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm2.shtml>

(10) www.dslforum.org/aboutdsl/vdsl_tutorial.html

(11) <http://www.domotica.net/Lmds.htm>

● **Capítulo 5 Tecnología de transmisión LMDS**

(1) <http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm2.shtml>

(2) <http://www.monografias.com/trabajos13/guiadeim/guiadeim.shtml>

(3) <http://es.wikipedia.org/wiki/LMDS>

(4) <http://www.red.com.mx/scripts/redArticulo.php3?idNumero=42&articuloID=7142>

(5) http://www.radioptica.com/Radio/tecnol_LMDS.asp

(6) <http://www.wave-report.com/tutorials/lmds.htm>

(A) Channel Capacity by Shannon
A mathematical theory of communication (by Shannon, PDF)

(7) <http://www.iec.org/online/tutorials/lmds/>

(8) <http://www.idg.es/Comunicaciones/articulo.asp?id=57855>

(9) <http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp>