



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

SISTEMAS LMDS: DESCRIPCIÓN E
IMPLEMENTACIÓN EN MÉXICO

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

P R E S E N T A N

**RODOLFO J. GALVÁN SARACHO
SUSANA AZPEITIA MORALES**



DIRECTOR DE TESIS:
DR. VÍCTOR GARCÍA GARDUÑO.

MEXICO, D.F.

JULIO 2003



Índice

| | |
|---|----|
| Introducción | i |
| Capítulo 1 | |
| Antecedentes | 1 |
| Historia de las telecomunicaciones | 1 |
| Descripción de un sistema de comunicaciones | 2 |
| Ventajas de la tecnología digital contra la analógica | 3 |
| Ancho de banda de la información. | 3 |
| Ruido | 4 |
| Ruido no correlacionado | 4 |
| Ruido externo | 4 |
| Ruido interno | 5 |
| Ruido térmico | 5 |
| Ruido de disparo | 5 |
| Ruido de tiempo de tránsito | 5 |
| Ruido correlacionado | 5 |
| Distorsión armónica | 5 |
| Ruido de intermodulación | 6 |
| Relación señal a ruido | 6 |
| Factor de ruido y Figura de ruido | 7 |
| Modulación. | 8 |
| Modulación Digital. | 9 |
| Modulación por desplazamiento de frecuencia | 9 |
| Modulación por desplazamiento de fase | 10 |
| Modulación por desplazamiento en cuadratura. | 10 |
| Antenas | 10 |
| Criterios para el desempeño de una antena | 11 |
| Patrón de radiación | 11 |
| Lóbulo principal | 11 |
| Lóbulo lateral. | 11 |
| Impedancia de entrada. | 12 |
| Eficiencia de radiación. | 12 |
| Ancho del haz. | 12 |
| Ganancia directiva | 13 |
| Ganancia de potencia | 13 |
| Potencia efectiva radiada isotrópicamente (EIRP) | 13 |



Índice

| | |
|--|----|
| Polarización | 14 |
| Ancho de banda. | 14 |
| Relación frontal a trasero | 14 |
| Disipación de potencia | 14 |
| Intermodulación | 14 |
| Construcción | 14 |
| Costo | 14 |
| Línea de alimentación | 14 |
| Filtros. | 15 |
| Respuesta en frecuencia | 16 |
| Pérdida de inserción | 17 |
| Rizo de la banda de paso | 17 |
| Piso de atenuación. | 17 |
| Factor de forma. | 17 |
| Error de fase. | 18 |
| Retraso de grupo. | 19 |
| Selectividad. | 19 |
| Estabilidad de temperatura | 19 |
| Preamplificadores | 19 |
| Multiplexor | 19 |
| Multiacoplador. | 20 |
| Receptor. | 20 |
| Proceso de recepción. | 20 |
| Filtro de recepción. | 21 |
| Preamplificador | 21 |
| Mezclador. | 21 |
| Etapa IF. | 21 |
| Principales parámetros de un receptor. | 21 |
| Sensibilidad. | 21 |
| Selectividad. | 22 |
| Compresión de 1dB | 22 |
| Rango dinámico. | 23 |
| Distorsión | 24 |
| Ruido | 24 |
| Figura de ruido | 25 |
| Intersección de tercer orden. | 25 |
| Ruido de fase | 25 |
| Pérdida de sensibilidad. | 25 |



Capítulo 2

| | |
|--|-----------|
| Descripción del sistema LMDS | 26 |
| Significado de LMDS. | 26 |
| Evolución de LMDS. | 27 |
| Arquitectura de la red. | 27 |
| Célula | 28 |
| Presupuesto de enlace. | 29 |
| Estación base | 29 |
| Centro de operaciones de la red (NOC) | 31 |
| Cobertura | 31 |
| Equipo de usuario | 32 |
| Modos de transmisión | 33 |
| Simplex. | 33 |
| Half-duplex | 33 |
| Full duplex | 33 |
| Full full duplex. | 33 |
| Técnicas de duplexaje | 33 |
| Duplexaje por división de frecuencia (FDD) | 33 |
| Duplexaje por división de tiempo (TDD) | 33 |
| Proceso de transmisión y recepción | 33 |
| Sentido descendente | 33 |
| Sentido ascendente | 34 |
| Métodos de acceso. | 34 |
| Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) | 34 |
| Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). | 35 |
| Diferencias entre TDMA y FDMA | 36 |
| Acceso múltiple por división de código (CDMA). | 38 |
| Características de CDMA | 38 |
| CDMA vs TDMA. | 39 |
| Capacidad del sistema | 40 |
| Sectorización. | 40 |
| Reuso de frecuencias. | 42 |
| Polarización. | 43 |
| Modulación | 44 |
| Planeación de la red. | 45 |
| Propagación | 46 |
| Cálculo de pérdida por trayectoria en el espacio libre | 46 |
| Estándares | 46 |
| Principales aplicaciones de LMDS. | 49 |



Capítulo 3

| | |
|--|-----------|
| Ventajas y desventajas | 50 |
| Ventajas | 50 |
| Capacidad. | 50 |
| Costos de entrada e instalación. | 50 |
| Crecimiento. | 51 |
| Actualización. | 51 |
| Calidad del servicio | 51 |
| Uso eficiente del espectro radioeléctrico. | 51 |
| Costos de administración, mantenimiento y operación. | 52 |
| Modernización. | 52 |
| Dimensiones del equipo | 52 |
| Corto alcance | 52 |
| Competencia. | 52 |
| Se evitan los problemas de desvanecimiento por múltiples trayectorias. | 52 |
| Competitividad | 52 |
| Seguridad. | 52 |
| Servicios. | 52 |
| Desventajas | 53 |
| Condiciones ambientales | 53 |
| Línea de vista | 53 |
| Corto alcance | 53 |
| Definición del mercado. | 54 |
| Falta de enfoque | 54 |
| Costo de los equipos | 54 |
| Obtención de permisos. | 54 |
| Atenuación debido a la distancia | 54 |
| Atenuación debido a la lluvia. | 54 |
| Atenuación debido a la vegetación y a otras obstrucciones | 55 |
| Atenuación debida a la absorción de oxígeno, vapor de agua y nubes. | 55 |
| Desvanecimiento de frecuencias | 56 |

Capítulo 4

| | |
|---|-----------|
| Estado actual de LMDS | 57 |
| Principales características de los equipos LMDS | 57 |
| Principales fabricantes de equipo LMDS | 57 |
| Red LMDS de Filipinas | 57 |
| Desafíos y tendencias en la industria. | 58 |



Índice

| | |
|---|-----------|
| OFDM. | 59 |
| Funcionamiento. | 59 |
| Desventajas de OFDM | 63 |
| Prefijo cíclico | 63 |
| Control de frecuencia | 63 |
| Latencia y procesamiento basado en bloques | 64 |
| Sincronización | 64 |
| Relación de potencia pico-promedio (PAPR) | 65 |
| Costo. | 66 |
| Rendimiento. | 66 |
| Antenas múltiples | 66 |
| | |
| Capítulo 5 | |
| LMDS en México | 68 |
| Antecedentes | 68 |
| Panorama de las telecomunicaciones en México | 68 |
| Proceso de licitación de LMDS en México | 72 |
| LMDS en Estados Unidos | 75 |
| Estimación de costos de LMDS para México | 77 |
| Asignación de frecuencias LMDS en otros países (GHz) | 78 |
| Tecnologías que competirán con LMDS por el mercado de banda ancha | 79 |
| Tecnologías alámbricas | 79 |
| xDSL. | 79 |
| Powerline communications. | 80 |
| ISDN | 80 |
| Redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial (HFC) | 80 |
| Tecnologías inalámbricas | 81 |
| Servicio de distribución multicanal multipunto (MMDS). | 81 |
| Sistemas ópticos inalámbricos | 81 |
| Servicios satelitales de banda ancha. | 81 |
| | |
| Conclusiones | 82 |
| | |
| Siglas y Abreviaturas | 87 |
| | |
| Bibliografía | 90 |



Introducción

Una de las principales características del mundo de las telecomunicaciones es su rápido crecimiento, el cual ha sido impulsado por la desregulación del sector, el incremento en la competencia y la introducción de nuevas tecnologías. Los servicios de telecomunicaciones que reportan el mayor crecimiento son las comunicaciones inalámbricas móviles y de datos.

Actualmente, la demanda de ancho de banda se ha incrementado notablemente como consecuencia del uso de Internet, las redes de área local (LANs), las aplicaciones multimedia, las redes móviles de generación 2.5 y tercera generación (3G), el comercio electrónico, voz sobre IP (VoIP), el intercambio de documentación en forma electrónica y las tecnologías de bases de datos. Por esta razón, las grandes compañías de servicios de telecomunicaciones enfrentan el gran reto de proveer servicios de banda ancha a costos accesibles, mejorando las tecnologías existentes y desarrollando nuevos sistemas de operación.

Históricamente, la presencia de tecnologías inalámbricas en nuestras vidas estaba un tanto limitada a la transmisión de noticias y entretenimiento. Los altos costos de los sistemas de telefonía inalámbrica sólo los hacía competitivos en zonas rurales. Al día de hoy, las tecnologías de acceso inalámbrico han alcanzado la suficiente madurez y prometen proporcionar servicios de alta calidad, a la mayoría de la población que actualmente no cuenta con un acceso básico o de banda ancha, a un precio muy competitivo. Al hablar de un sistema de acceso inalámbrico fijo (Fixed Wireless Access, FWA), también conocido como Bucle Local Inalámbrico (Wireless Local Loop, WLL) o Acceso Fijo por Radio (Radio Fixed Access, RFA), nos referimos a un sistema que, a diferencia de otras tecnologías de radio, provee niveles de confiabilidad y calidad de servicio equivalentes a los ofrecidos mediante tecnologías alámbricas, cuenta con interfaces de red estandarizadas, no ofrece movilidad, posee una confiabilidad de por lo menos 10^{-6} BER (Bit Error Rate) para servicios de datos, tiene un rango de cobertura apropiado, funcionalidad y transparencia para soportar diversos servicios.

Muchas de las redes basadas en cobre para ofrecer servicios de voz y datos proveen una calidad de servicio muy deficiente. Esto se debe principalmente a la gran cantidad de años que llevan en operación, ocasionando que se presenten una serie de problemas como humedad, crosstalk, atenuación y ruido. Un



Introducción

sistema de acceso inalámbrico permite que los países en vías de desarrollo solventen sus limitaciones de infraestructura y puedan instalar redes de telecomunicaciones de primer nivel en forma rápida y económica.

Los accesos inalámbricos fijos tienen un gran potencial de crecimiento, el cual mejorará considerablemente la competencia en el mercado local debido a la estructura de sus costos que, a diferencia de las soluciones por medio de par de cobre y fibra óptica, depende menos de las economías de escala. Además, su implementación es más fácil y rápida, sin necesidad de grandes programas de construcción, permitiendo que en áreas que ya cuentan con una planta de cobre instalada, mediante una sencilla sobreposición, se ofrezcan nuevos servicios.

Surge ahora en México la posibilidad de implementar una tecnología inalámbrica fija de banda ancha punto a multipunto relativamente nueva llamada LMDS (Local Multipoint Distribution Service, por sus siglas en inglés). Esta tecnología puede operar entre los 20 y 40 GHz y, dependiendo de la segmentación de bandas de frecuencia adoptada por cada país, podría ocupar una de las mayores porciones de espectro radioeléctrico que se hayan subastado (1.3GHz). En los Estados Unidos, tan solo el bloque A (1150 MHz) de LMDS ocupa más del doble del ancho de banda con el que cuentan los servicios de radio AM/FM, televisión VHF/UHF y telefonía celular combinados. Esta característica ofrece una excelente oportunidad para combatir la falta de ancho de banda en las redes de acceso, principalmente para los pequeños y medianos negocios que requieren altas velocidades de conexión. El bloque B ocupa 150 MHz.

La implementación de los servicios de LMDS en México podría traer consigo varios beneficios: incrementar la competencia en el mercado de telecomunicaciones local, estimular el crecimiento económico, generar nuevas fuentes de empleo y promover el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios enfocadas hacia los usuarios residenciales y de negocios.

Es evidente que la necesidad de un mayor ancho de banda seguirá incrementándose con el paso de los años, por lo cual existe un gran potencial negocio para cualquier empresa de telecomunicaciones que esté en condiciones de proporcionar alternativas y soluciones confiables, económicas y de alta velocidad. Por otra parte, no existe en México una escasez de tecnologías bidireccionales de banda ancha, actualmente se encuentran disponibles las siguientes tecnologías: ISDN (Integrated Services Digital Network), xDSL (Digital Subscriber Line), redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial (Hybrid Fiber



Introducción

Coax, HFC), sistemas satelitales, sistemas ópticos inalámbricos, y MMDS (Multichannel Multipoint Digital Service). Debido a que hasta la fecha el impacto que cualquiera de estas tecnologías tiene en el mercado es muy limitado, ¿A qué se debe el gran entusiasmo por LMDS?

El presente trabajo tiene como objetivo hacer una descripción técnica de los sistemas LMDS, analizar sus ventajas y desventajas, el estado del arte en que se encuentra esta tecnología y algunas experiencias de otros países, de tal forma que podamos determinar la conveniencia o inconveniencia que traería la implementación de estos sistemas en nuestro país.



Capítulo 1

Antecedentes

Historia de las telecomunicaciones

Los primeros intentos conocidos por transmitir la energía eléctrica a través del espacio libre fueron realizados durante la primera mitad del siglo XVIII por S. Gray y Dufay y durante la segunda mitad de ese siglo por Franklin y Watson. Desafortunadamente, ninguno de estos intentos tuvo éxito.

Las comunicaciones de datos comenzaron en 1844, cuando Samuel Morse, utilizando la inducción electromagnética, pudo transmitir información codificada en forma de puntos y guiones a través de un cable metálico por medio de un dispositivo al que llamó telégrafo. Este método de codificación fue tan bueno que a la fecha es utilizado en todo el mundo.

La teoría sobre las comunicaciones inalámbricas comenzó a mediados del siglo XIX con el físico inglés, James Clerk Maxwell. Las investigaciones matemáticas de Maxwell indicaron que la electricidad y la luz viajan en forma de ondas electromagnéticas y pueden ser propagadas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas.

La propagación de ondas electromagnéticas se consiguió en 1888 cuando Heinrich Hertz pudo radiar energía electromagnética desde una máquina a la que él llamaba oscilador. Hertz desarrolló el primer transmisor de radio y la primera antena.

Las comunicaciones de datos evolucionaron de ser un servicio alámbrico a uno inalámbrico gracias a los esfuerzos de Guglielmo Marconi, a quien se le ha acreditado la invención de las radiocomunicaciones.

En 1906, Aubrey Fessenden diseñó un generador que empleaba corrientes alternas de alta frecuencia con el cual "moduló" la amplitud de las señales, haciendo posible la transmisión de la voz y la música, naciendo así los receptores radiofónicos.

Las primeras transmisiones de radio de carácter público fueron realizadas en 1920 a iniciativa de la compañía inglesa creada por Marconi, American Marconi Wireless Telegraphy Company.



Antecedentes

El éxito de las comunicaciones a larga distancia se debió, en parte, al físico inglés Heavisiade y al ingeniero norteamericano Kennelly quienes descubrieron la existencia de una capa de la alta atmósfera terrestre que reflejaba las ondas electromagnéticas permitiendo un alcance mayor al esperado. Esta capa fue bautizada como capa Heavisiade y es una de las capas de la ionosfera que refleja las ondas electromagnéticas de longitudes inferiores a los 3 metros, que se corresponden a frecuencias superiores a los 100 MHz.

A este descubrimiento han seguido una serie de desarrollos tecnológicos impresionantes, los cuales nos han permitido gozar de todos los diversos servicios de telecomunicaciones que se prestan hoy en día.

A continuación se presentan algunos de los principales avances en la historia de las telecomunicaciones:

- 1844- Samuel Morse inventa el telégrafo.
- 1876- Alejandro Bell inventa el teléfono.
- 1901- Marconi envía un mensaje en código Morse a través del radio.
- 1931- Se realiza la primera transmisión de televisión en los Estados Unidos.
- 1946- AT&T ofrece el servicio de telefonía móvil.
- 1953- Se instala la primera red de microondas.
- 1956- Se construye el cable transatlántico.
- 1977- Los laboratorios Bell transmiten señales de televisión a través de fibra óptica.
- 1983- Las comunicaciones celulares revolucionan las telecomunicaciones.

Descripción de un sistema de comunicaciones

El propósito de un sistema de comunicaciones es transferir información entre dos o más ubicaciones.

Un sistema de comunicaciones consta de tres secciones principales: transmisor, medio de transmisión y receptor. El transmisor se encarga de convertir la información, originada por la fuente, en una forma más adecuada para su transmisión, el medio de transmisión proporciona la conexión entre el transmisor y el receptor y el receptor convierte la información recibida a su forma original y la transfiere a su destino.



Antecedentes

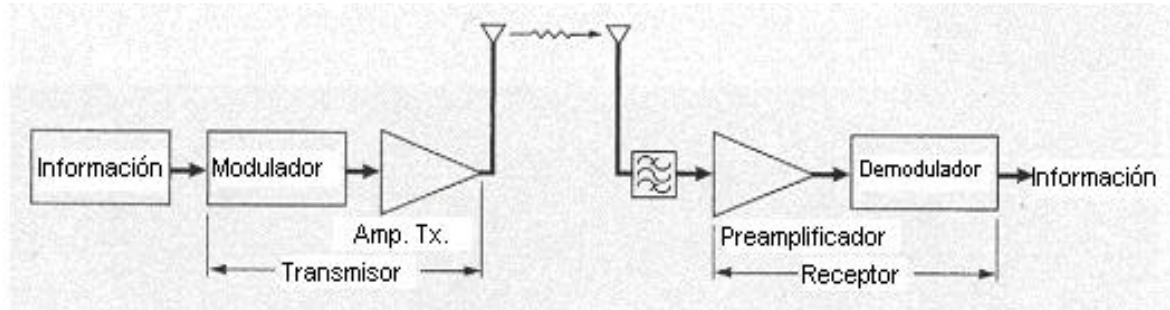


Fig. Diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones

Existen dos tipos básicos de sistemas de comunicaciones: analógicas y digitales. En un sistema de comunicaciones analógico las señales tienen un rango continuo de valores como función del tiempo (por ejemplo, una onda senoidal). En un sistema de comunicaciones digital las señales tienen un conjunto discreto de valores en función del tiempo (por ejemplo, +5V y tierra).

Ventajas de la tecnología digital contra la analógica

- Mayor tolerancia al ruido
- Confiabilidad
- Mayor eficiencia espectral
- Circuitos de menores dimensiones y más económicos
- Mayor seguridad en la transmisión debido a la encriptación de datos.

Las dos limitaciones más significativas en el funcionamiento de un sistema de comunicaciones son el ruido y el ancho de banda.

Ancho de Banda de la Información

El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es el rango de frecuencias requeridas para propagar la información, originada por la fuente, a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande para permitir el paso de todas las frecuencias significativas de la información.

La capacidad de información de un sistema de comunicaciones es una medida de la cantidad que puede ser transportada, a través del sistema, en un cierto periodo de tiempo. Es una función del ancho de banda del sistema y de la cantidad de ruido presente en el medio de transmisión.

La capacidad teórica de un canal está definida por la ecuación de Shannon-Hartley:

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N)$$



Antecedentes

donde:

C = capacidad

S/N = relación señal a ruido

B = ancho de banda

Ruido

Cualquier señal eléctrica transmitida de un punto a otro cuenta con dos partes: una que representa la inteligencia, que es la parte deseada, y la parte no deseada, llamada ruido. Una de las principales preocupaciones en todos los sistemas de comunicaciones son los efectos de la superposición del ruido sobre la inteligencia de una señal. La magnitud del ruido está directamente relacionada con la habilidad para recuperar la inteligencia de la señal sin error.

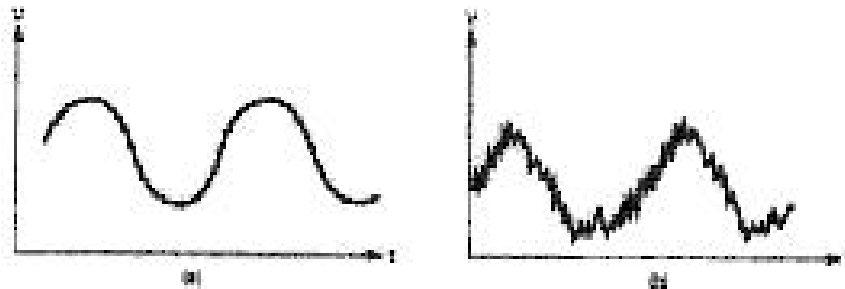


Fig. Efectos del ruido sobre una señal

El ruido puede dividirse en dos categorías: correlacionado y no correlacionado.

Ruido no correlacionado

El ruido no correlacionado es el que se encuentra presente sin importar si existe una señal o no.

El ruido correlacionado se puede dividir en dos categorías: externo e interno.

Ruido externo

El ruido externo es generado por la introducción de fuentes ajenas en el circuito.

Existen tres tipos de ruido externo:

- Ruido atmosférico o estática
- Ruido extraterrestre: ruido solar y ruido cósmico
- Ruido creado por el hombre



Antecedentes

Ruido interno

El ruido interno es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo.

Existen tres tipos de ruido interno:

1- Ruido térmico - El ruido térmico es el movimiento aleatorio de los electrones libres dentro de un conductor causado por la agitación térmica. Todo componente resistivo es un generador constante de ruido debido a la interacción térmica de las partículas atómicas y subatómicas que conforman a los componentes resistivos. Para la mayoría de los propósitos prácticos, el ruido térmico es directamente proporcional al producto del ancho de banda del sistema y a la temperatura absoluta de la fuente. Así, el ruido térmico total puede expresarse como:

$$N(\text{dBm}) = -174 + 10\log B$$

2- Ruido de disparo - El ruido de disparo es causado por la llegada aleatoria de portadoras (huecos y electrones) en el elemento de salida de un dispositivo electrónico, tal como un diodo, transistor de efecto de campo (FET), transistor bipolar (TBJ) o tubo de vacío.

3- Ruido de tiempo de tránsito - Cualquier modificación a una corriente de portadores, conforme se pasa de la entrada hasta la salida de un dispositivo, produce una variación aleatoria irregular denominada ruido de tránsito. Cuando el tiempo que toma a la portadora propagarse a través de un dispositivo abarca una una parte considerable del ciclo de la señal, el ruido se hace notable.

Ruido correlacionado

El ruido correlacionado es una energía eléctrica no deseada que está presente como resultado directo de una señal. Tal es el caso de la distorsión armónica y el ruido de intermodulación. El ruido correlacionado no puede estar presente en un circuito a menos de que exista una señal de entrada. La distorsión armónica y la intermodulación cambian la forma de la onda en el dominio del tiempo y el contenido espectral en el dominio de la frecuencia.

Distorsión armónica

La distorsión armónica son los múltiplos no deseados de la onda senoidal de frecuencia simple que se crean cuando ésta se amplifica en un dispositivo no lineal. La distorsión de amplitud es otro nombre para la distorsión armónica. Generalmente, el término distorsión de amplitud se usa para analizar una forma



Antecedentes

de onda en el dominio del tiempo y el término distorsión armónica se usa para analizar una forma de onda en el dominio de la frecuencia. La frecuencia original de entrada es la primera armónica y se llama frecuencia fundamental.

Existen varios grados de distorsión armónica. La distorsión de segundo orden es la relación de la amplitud rms de la frecuencia de la segunda armónica a la amplitud rms de la frecuencia fundamental. La distorsión armónica de tercer orden es la relación de la amplitud rms de la frecuencia de la tercera armónica a la amplitud rms de la frecuencia fundamental y así sucesivamente. A la relación de las amplitudes combinadas de las armónicas superiores con la amplitud rms de la frecuencia fundamental se le llama distorsión armónica total (THD). Matemáticamente, la distorsión armónica total es:

$$\%THD = \frac{V_{alto}}{V_{fund}} * 100 \quad [\text{adimensional}]$$

en donde:

$\%THD$ = porcentaje de la distorsión armónica total

V_{alto} = suma cuadrática de los voltajes medios (rms) de las armónicas superiores

$$= \sqrt{[V_2^2 + V_3^2 + V_n^2]} \quad [\text{Volts}]$$

V_{fund} = voltaje rms de la frecuencia fundamental [Volts]

Ruido de intermodulación

El ruido de intermodulación son las frecuencias no deseadas de los productos cruzados (sumas y diferencias) creadas cuando dos o más señales son amplificadas en un dispositivo no lineal. Un método común para medir la distorsión de intermodulación es utilizar el porcentaje de distorsión de intermodulación de segundo orden. La distorsión de intermodulación de segundo orden es la relación de la amplitud total en rms de los productos cruzados de segundo orden con la amplitud rms combinada de las frecuencias de entrada original.

Relación señal a ruido

La relación señal a ruido es el parámetro más importante para la evaluación del desempeño de un amplificador en un sistema de comunicaciones o para comparar el funcionamiento de un amplificador o un sistema con otro. Entre más alta sea la relación señal a ruido, mejor será el funcionamiento del sistema.



Antecedentes

Matemáticamente, la relación señal a ruido se expresa en decibeles por medio de las siguientes ecuaciones:

Para relaciones de voltaje:
$$\frac{S}{N} (dB) = 20 \log \frac{V_s}{V_n}$$

Para relaciones de potencia:
$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log \frac{P_s}{P_n}$$

donde: V_s = voltaje de la señal [V] P_s = potencia de la señal [W]
 V_n = voltaje de ruido [V] P_n = potencia de ruido [W]

Factor de Ruido y Figura de Ruido

La relación señal a ruido es útil en aplicaciones donde se desea conocer el contenido de ruido de la señal en un punto específico dentro del sistema de comunicaciones. Sin embargo no caracteriza la cantidad de ruido adicional introducido por varios componentes dentro del sistema de comunicaciones. Un parámetro clave utilizado para este fin es el factor de ruido. El factor de ruido es una medida de qué tan ruidoso es un dispositivo. Es la relación de señal a ruido de potencia a la entrada de un dispositivo (S_i/N_i) con la relación señal a ruido de potencia en su salida (S_o/N_o). Expresada en decibeles, el factor de ruido es llamado figura de ruido. Todos los amplificadores contribuyen en cierta medida al ruido presente en una señal. Si un amplificador no generara ruido, su relación señal a ruido en su entrada y salida serían iguales; el factor de ruido sería 1, lo cual es equivalente a una figura de ruido de 0dB.

$$\text{Factor de ruido} = F = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} \text{ [adimensional]}$$

La figura de ruido (NF) se relaciona con el factor de ruido mediante la siguiente expresión:

$$NF = 10 \log F = 10 \log \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o} [dB]$$



Antecedentes

Si la entrada y la salida del dispositivo comparten la misma impedancia, la figura de ruido puede expresarse en términos de voltaje de la siguiente forma:

$$NF = 20 \log \frac{V_{si} / V_{ni}}{V_{so} / V_{no}} [dB]$$

Modulación

La modulación es el proceso de variar alguna propiedad de una señal relativamente alta, llamada portadora, de acuerdo con la información de la fuente de frecuencia relativamente baja, llamada señal de modulación. La señal resultante, que es más apropiada para la transmisión, se conoce como onda modulada o señal. La demodulación es el proceso de convertir los cambios en la portadora analógica a la información original de la fuente. La modulación se realiza en el transmisor, en un circuito llamado modulador, y la demodulación se realiza en el receptor, en un circuito llamado demodulador. La señal de información que modula la portadora principal se llama señal de banda base.

Las dos principales razones para realizar la modulación son:

- 1- Radiar señales a frecuencias bajas por la atmósfera de la Tierra en forma de energía electromagnética es extremadamente difícil.
- 2- Debido a que las señales de información frecuentemente ocupan la misma banda de frecuencia, si son transmitidas en su forma original, interferirían.

La expresión general para una onda senoidal de voltaje variante con el tiempo es:

$$v(t) = V \sin(2\pi f t + q)$$

donde:

- $v(t)$ = onda de voltaje que varía senoidalmente en el tiempo (Volts)
- V = máxima amplitud (Volts)
- f = frecuencia (Hertz)
- q = fase (radianes)

Tres propiedades de una onda senoidal pueden ser modificadas: la amplitud (V), la frecuencia (f), la fase (q), o cualquier combinación de dos o más de estas propiedades. Si la amplitud de la portadora es variada proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la amplitud modulada (AM). Si la frecuencia de la portadora varía proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la



Antecedentes

frecuencia modulada (FM). Si la fase de la portadora varía proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la fase modulada (PM).

En el diseño de sistemas inalámbricos normalmente se define el ancho de banda del canal y después se aplica la técnica de modulación más apropiada.

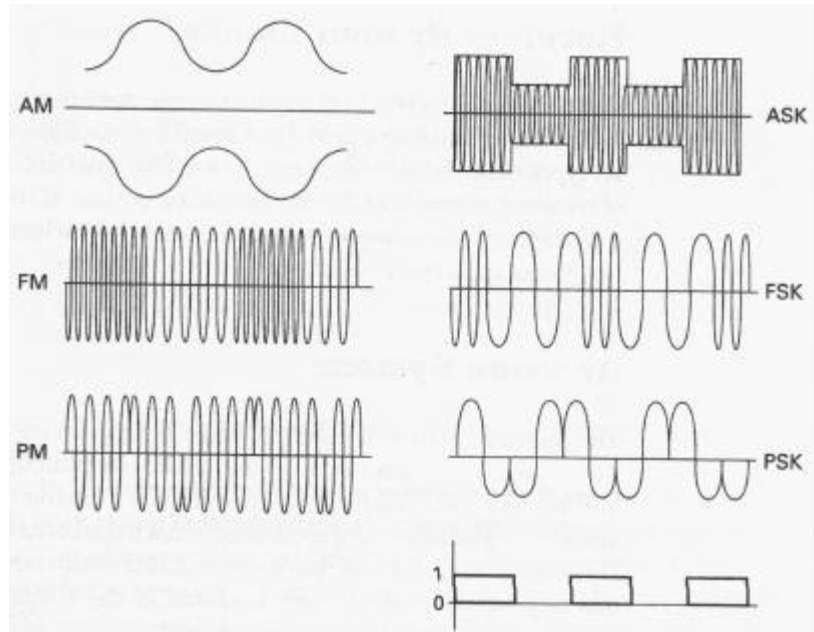


Fig. Formatos de modulación analógica y digital

Modulación Digital

En esencia, existen tres técnicas de modulación digital:

- Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)
- Modulación por desplazamiento de fase (PSK)
- Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

La transmisión por desplazamiento de frecuencia (FSK) es una forma, relativamente simple, de modulación digital de bajo rendimiento. El FSK binario (BFSK) es una forma de modulación angular de amplitud constante, es similar a la modulación en frecuencia convencional (FM), excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua.

El desempeño de los sistemas FSK, bajo condiciones de múltiple trayectoria, es mejor que el de los sistemas PSK y QAM. Esto se debe a que la señal es menos susceptible a anomalías de fase y amplitud y a que un sistema FSK (al



Antecedentes

igual que un sistema de FM) tiene redundancia en su construcción, es decir, la misma información está contenida en ambos lados de la banda.

En general, la única desventaja de FSK es su pobre eficiencia de ancho de banda comparado con PSK y QAM.

Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

El PSK es similar a la modulación en fase convencional, excepto que con PSK la señal de entrada es binaria y solo son posibles un número limitado de fases de salida.

Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un cero lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. La modulación BPSK también es conocida como transmisión inversa de fase (PRK) y modulación bifásica. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua.

Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

Antenas

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas. Es la interfaz entre el sistema de radio y el medio externo. Una antena es un dispositivo recíproco pasivo; pasivo en cuanto a que en realidad no puede amplificar una señal, y recíproco en cuanto a que las características de transmisión y recepción de una antena son idénticas.

Existen varios tipos de antenas disponibles, las cuales realizan funciones específicas dependiendo de su aplicación. El tipo de antena utilizada en un sistema LMDS comúnmente es de tipo panel o corneta. Existen antenas activas y pasivas. Las antenas activas, utilizadas en los sistemas LMDS, cuentan con circuitos electrónicos que mejoran su desempeño.

Existen dos clasificaciones de antenas de acuerdo a su directividad: omnidireccionales y direccionales. Las omnidireccionales se utilizan cuando se desea obtener un patrón de radiación de 360° . Los sistemas LMDS cuentan con antenas direccionales, las cuales se utilizan cuando se desea un patrón más selectivo.



Antecedentes

Una guía de onda es un tubo metálico conductor por medio del cual se propaga energía electromagnética de alta frecuencia, por lo general entre una antena y un transmisor o un receptor.

Criterios para el desempeño de una antena

Los parámetros que definen el desempeño de una antena se conocen como figuras de mérito.

Existen varios parámetros y figuras de mérito que caracterizan el desempeño de un sistema de antenas. A continuación se presenta una lista parcial:

- **Patrón de radiación**- Es la representación gráfica de las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena.
- **Lóbulo principal**- Es el lóbulo de radiación que indica la dirección de la máxima potencia radiada.
- **Lóbulo lateral**- Es cualquier lóbulo que tiene una dirección distinta al lóbulo principal. Es importante considerar los lóbulos laterales porque pueden crear problemas de interferencia. Normalmente los lóbulos laterales representan radiación o recepción indeseada.

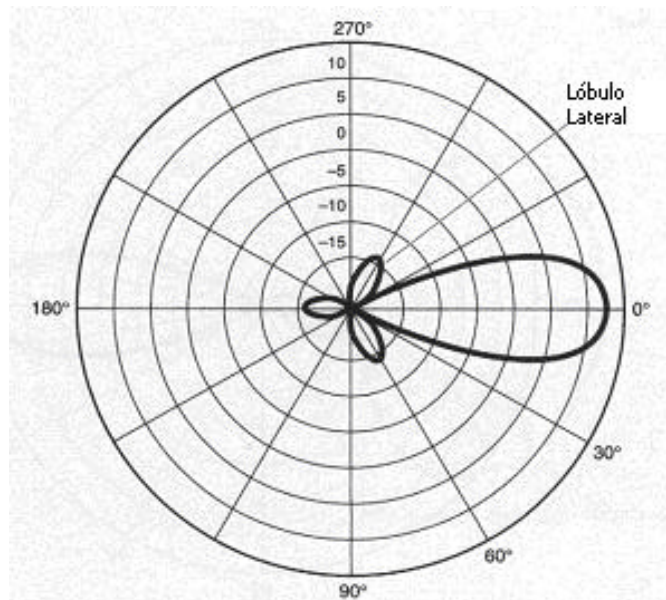


Fig. Patrón de radiación de una antena. Lóbulo principal y lóbulos laterales



Antecedentes

- **Impedancia de entrada**- Es la impedancia que presenta la antena en sus terminales. Comúnmente esta impedancia es compleja. Si la impedancia de salida del transmisor y la impedancia de entrada de la antena son iguales a la impedancia característica de la línea de transmisión, no habrá ondas estacionarias en la línea, por lo que se transferirá la potencia máxima a la antena y se irradiará. La impedancia de entrada nominal de una antena es 50 ohms, la cual es igual a la del cable coaxial utilizado para conectar el transmisor a la antena.
- **Eficiencia de radiación**- Es la relación entre la potencia total radiada y la potencia neta aceptada por una antena desde el transmisor. La ecuación es la siguiente:

$$h = \frac{\text{Potencia radiada}}{\text{Potencia radiada} + \text{Potencia disipada}}$$

Esta relación indica cuánta energía se pierde en la antena.

- **Ancho del haz**- Es la separación angular entre dos direcciones en las que la potencia radiada es igual. El punto de potencia media para el ancho del haz es la separación angular donde existe una reducción de 3dB en el lóbulo principal.

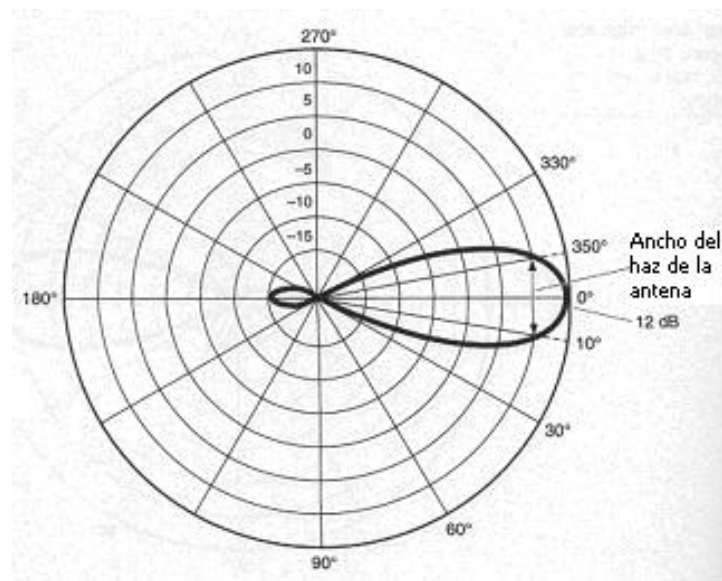


Fig. Patrón de radiación de una antena. Ancho del haz.



Antecedentes

Normalmente, mientras más ancho sea el haz, menor será la ganancia de la antena. Una simple regla es que por cada vez que se duplique la cantidad de elementos asociados con la antena, se producirá una ganancia de 3dB. Sin embargo esta ganancia se logra a expensas del ancho de haz. La reducción del ancho de haz para un incremento de 3dB es aproximadamente la mitad del ancho de haz inicial. Por lo tanto, si una antena tiene un ancho de haz de 12 grados e incrementa su ganancia 3dB, su ancho de haz se reduce a 6 grados.

- **Ganancia Directiva**- Es el cociente de la densidad de potencia radiada en una dirección entre la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia estándar, normalmente una antena isotrópica.

$$G(D) = \frac{\text{Densidad de potencia en algún punto de la antena}}{\text{Densidad de potencia en el mismo punto de antena referencia}}$$

La directividad de una antena puede mejorar con el uso de reflectores.

- **Ganancia de potencia**- Es la ganancia directiva por la eficiencia de la antena:

$$A_p = G(D) \cdot h$$

- **Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE)** – es la potencia equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia que tendría otra antena en la dirección seleccionada en un punto determinado.

$$PIRE = P_r A_t \quad [\text{Watts}] \quad (*)$$

Donde P_r = potencia total radiada (Watts)

A_t = ganancia directiva de la antena transmisora (adimensional)

o

$$PIRE(\text{dBm}) = 10 \log \frac{P_r}{0.001} + 10 \log A_t$$

La ecuación (*) puede reescribirse utilizando la potencia de entrada y la ganancia de potencia de la antena como:



Antecedentes

$$\text{PIRE} = P_{\text{entrada}} A_p$$

- **Polarización**- Es la orientación del campo eléctrico radiado por una antena. Los sistemas celulares y PCS utilizan polarización vertical, mientras que los sistemas LMDS utilizan polarizaciones verticales y horizontales.
- **Ancho de banda**- El ancho de banda define los rangos de operación de las frecuencias para la antena.
- **Relación frontal a trasero** – Es la relación que indica cuánta energía está dirigida en la dirección opuesta al lóbulo principal de la antena. Varios fabricantes indican altas relaciones frontal a trasero pero se debe tener cuidado de conocer cómo fue calculada esta cifra. Por ejemplo, si la instalación se hace en un edificio y la antena será montada en una pared, entonces la relación frontal a trasero no es una figura de mérito importante. Sin embargo, si la antena es montada de tal forma que no existan obstáculos entre ésta y la célula reutilizada, la relación frontal a trasero será una importante figura de mérito. Para el último caso la relación frontal a trasero debe ser de al menos el nivel de portadora a interferencia (C/I) requerido para la operación en el sistema.
- **Disipación de potencia**- Es la potencia total que puede aceptar una antena en sus terminales de entrada.
- **Intermodulación**- La intermodulación es provocada por la presencia de señales de considerable potencia.
- **Construcción**- se relaciona con las dimensiones físicas, requerimientos de montaje, materiales utilizados, la carga del viento, conectores y color.
- **Costo**

Línea de alimentación

La línea de alimentación consiste de un jumper que conecta la antena al cable coaxial, conocido comúnmente como alimentador o línea de alimentación. El jumper es utilizado para conectar la línea de alimentación a la antena debido a que es más práctico trabajar con un cable de ½ pulgada que con uno de 7/8



Antecedentes

pulgadas, además de facilitar la instalación y el mantenimiento del sistema de antenas.

La línea de alimentación es terminada mediante un conector que permite la instalación de otro jumper. La mayor desventaja de utilizar jumpers son las pérdidas adicionales y los posibles problemas con los conectores.

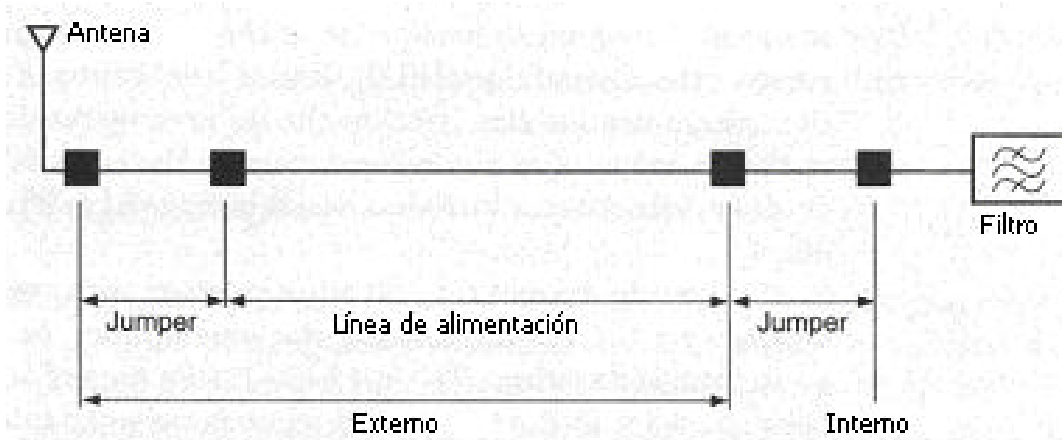


Fig. Línea de alimentación

Filtros

La función de un filtro es permitir que la energía deseada o información pase sin sufrir distorsiones de amplitud, tiempo o fase, al mismo tiempo suprimir por completo cualquier otro tipo de energía.

Existen cuatro tipos básicos de filtros:

- 1- Filtro Pasobajas
- 2- Filtro Pasoaltas
- 3- Filtro Pasobanda
- 4- Filtro de rechazo de banda



Antecedentes

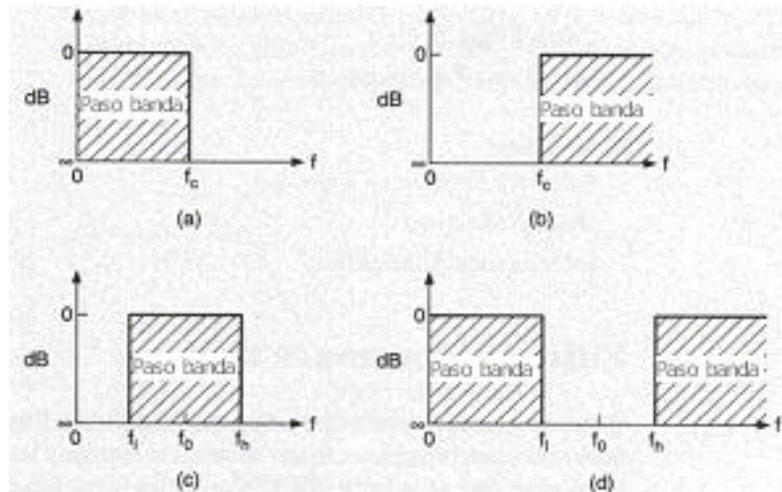


Fig. Tipos de filtros a) filtro paso bajas b) filtro paso altas c) filtro paso banda d) filtro de banda de rechazo

Los principales parámetros que determinan la elección de un filtro son:

1. **Respuesta en frecuencia.** La respuesta en frecuencia define las frecuencias que pasarán a través de un filtro y las que serán discriminadas y atenuadas. Las características de respuesta en frecuencia de un filtro son:
 - a) Pasobanda - Es el área que experimenta el menor nivel de atenuación, idealmente es 0dB y tiene un rizo de bajo nivel.
 - b) Frecuencia de corte - Es la frecuencia donde el pasobanda tiene un nivel de atenuación de 3dB o más bien, el final del pasobanda deseado.
 - c) Banda de transición - Es la porción de la respuesta del filtro que se encuentra entre la frecuencia de corte y la frecuencia de parabanda. Aquí es donde se presenta la mayor atenuación.
 - d) Extremo de la parabanda - Es la frecuencia más alta donde se presenta el rizo. La parte frontal de los receptores normalmente especifica la atenuación de la para banda y la menor y mayor frecuencia a la que opera. Para un transmisor, la frecuencia de parabanda se especifica con respecto a la banda de recepción del receptor.

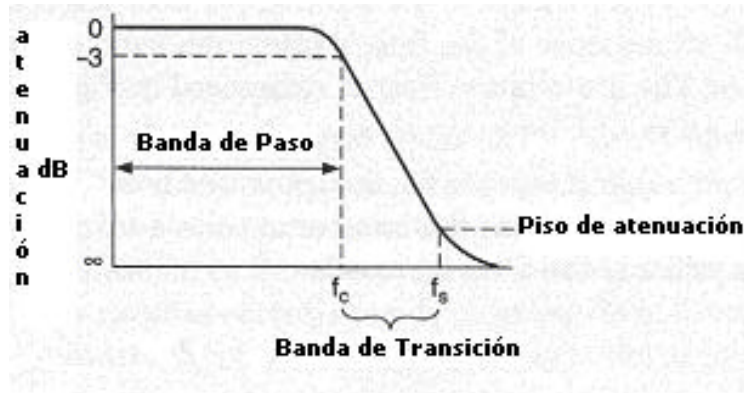


Fig. Respuesta en frecuencia

2. **Pérdida de inserción** - La pérdida por inserción o la atenuación en la banda de paso define las pérdidas que sufrirá la señal al pasar por el filtro. Idealmente, la pérdida de inserción debería de ser de 0dB. Sin embargo, un filtro pasivo tendrá una pérdida de inserción que afectará su figura de ruido.

También existe otro factor llamado error de ganancia, que es la diferencia entre la ganancia especificada y la real. Para un filtro típico, el error de ganancia puede ser de hasta un pequeño por ciento.

Pérdida de inserción (dB) = amplitud antes del filtro – amplitud después del filtro

3. **Rizo de la banda de paso** - es la variación en la ganancia sobre la banda de paso. Normalmente, un filtro tendrá un rizo del 1 ó 2 por ciento a través de su banda de paso.
4. **Piso de atenuación** - es el mayor nivel de atenuación del filtro en la frecuencia de parabanada.
5. **Factor de forma** - es la medida de la inclinación de la atenuación de un filtro dentro de la banda de transición. El factor de inclinación aumentará al incrementar el número de polos y/o ceros o al incrementar el orden del filtro.

$$SF = \frac{f_s}{f_c}$$

Idealmente, el factor de forma debería de ser igual a uno, $SF=1$.

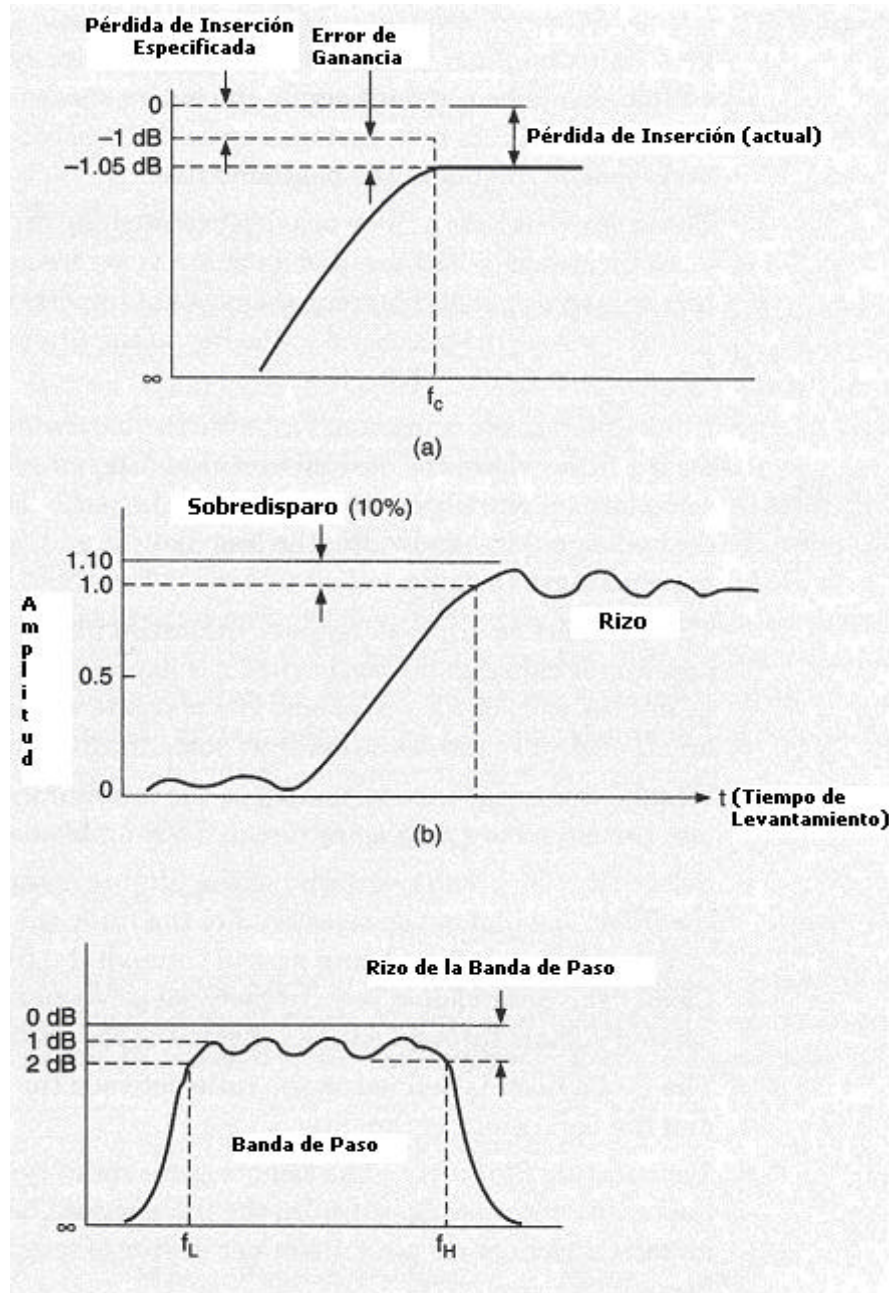


Fig. a) Pérdida de inserción b) Filtro paso altas c) rizo de la banda de paso

6. **Error de fase** - es el cambio de la linealidad de la fase contra la frecuencia. Si no hay error de fase, la linealidad de fase debería ser una línea recta y por lo tanto no existiría retraso de grupo. Esto debido



Antecedentes

a que como el retraso de grupo es la derivada de la fase de error y ésta es una constante, la derivada de una constante es cero.

7. **Retraso de grupo** - es el retraso que sufre un pulso a través de un filtro durante una longitud de tiempo finita. Idealmente, el retraso de grupo de un filtro debería de ser constante a lo largo de la banda de paso. Un retraso de grupo que no sea constante puede causar sobredisparo o rizos en la banda de paso. Mientras más angosto sea el ancho de banda de la señal deseada, menos posibilidad habrá de que exista el retraso de grupo.
8. **Selectividad (Q)** - Mientras mayor sea la selectividad de un filtro, menos señales indeseables podrán pasar por el filtro sin ser suficientemente atenuadas. La Q de un filtro se define como el cociente de la frecuencia central y el ancho de banda del filtro.

$$Q = \frac{f_c}{BW}$$

9. **Estabilidad de temperatura** - Un filtro debe conservar sus características en todo el rango de temperaturas sobre las que trabajará.

Preamplificadores

Normalmente, el preamplificador es el primer componente activo de un sistema de comunicación y su función es recibir a la señal deseada en su nivel más bajo e incrementar la relación señal a ruido.

El preamplificador debe proporcionar una ganancia suficiente para adecuarse a la sensibilidad del receptor. Sin embargo, una ganancia excesiva tiene el efecto adverso de crear más productos de intermodulación en presencia de señales potentes y, dependiendo de la cantidad de éstos, se puede experimentar una reducción en la ganancia total del receptor.

Multiplexor

Cuando se transmite información originada por varias fuentes sobre un medio de transmisión común, la información debe combinarse en una señal de información compuesta. Al proceso de combinar la información en una señal de información compuesta se le llama multiplexión o multicanalización, y al proceso de separar la información se le llama demultiplexión o descanalización.



Multiacoplador

El multiacoplador es un dispositivo que asegura que las señales recibidas sean enrutadas hacia los receptores apropiados. Normalmente, el multiacoplador cuenta con varias etapas de división, como se muestra en la figura. Comúnmente, el preamplificador se encuentra incluido dentro de la configuración del multiacoplador.

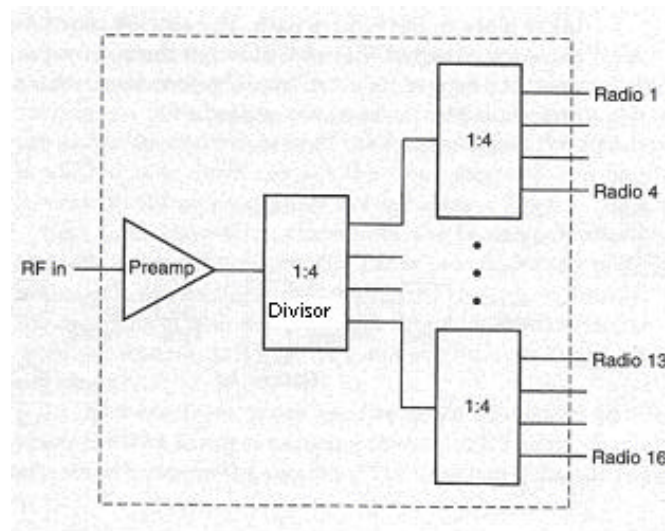


Fig. Multiacoplador

La principal ventaja de utilizar un multiacoplador es la reducción de la cantidad de antenas y líneas de alimentación requeridas en un sitio. Utilizando un multiacoplador, varios radios pueden compartir la misma antena de recepción.

Receptor

La función de un receptor es el extraer, de una multitud de señales y ruido que existen en el ambiente, una señal deseada, amplificarla y demodularla.

Proceso de Recepción

El receptor de radio se encarga de recibir la energía de RF que pasa a través de los filtros y amplificadores. Posteriormente la energía de RF pasa por un mezclador, que permite que la señal sea convertida a una frecuencia intermedia, la cual será filtrada y amplificada nuevamente para pasar finalmente a la etapa de audio o información.



Antecedentes

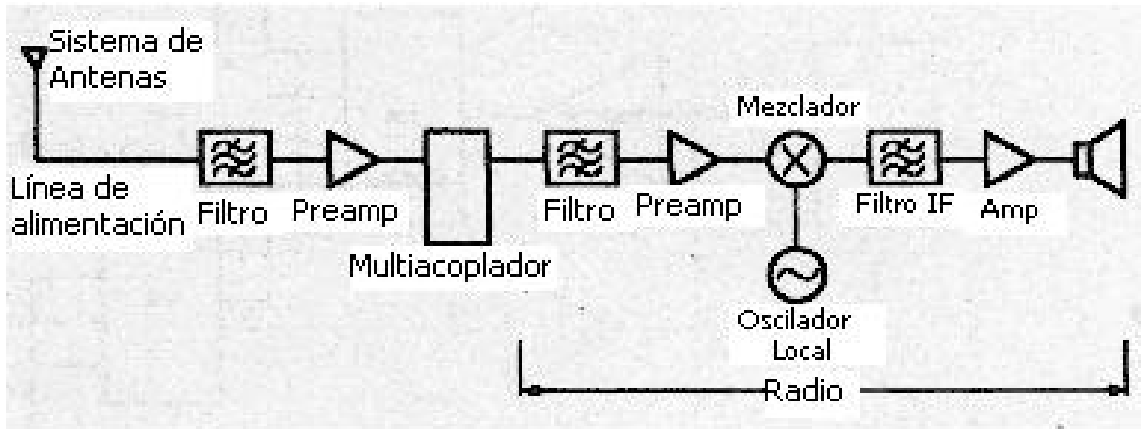


Fig. Sistema de recepción

Filtro de recepción. El filtro de recepción tiene dos funciones. La primera es mejorar la selectividad del radio, eliminando las señales no deseadas. La segunda, y la más importante, es proteger al amplificador de perder la sensibilidad y sobrecargarse debido a las emisiones fuera de banda.

El filtro utilizado es un pasobanda que opera sobre la totalidad del espectro de interés.

Preamplificador. Es la primera etapa de amplificación y sirve para compensar cualquier pérdida de conversión en la trayectoria de recepción como resultado de un filtro o mezclador.

Mezclador. El mezclador se encarga de convertir las señales de RF entrantes, que contienen la información, a una frecuencia intermedia (IF), más fácil de procesar, sin añadir ruido o productos de intermodulación en el proceso, mejorando de esta forma el desempeño total del receptor.

Etapa IF. En esta etapa la señal se convierte a una frecuencia menor (intermedia) para facilitar el procesamiento de la información. La mayor parte de la amplificación en el receptor se lleva a cabo a nivel IF.

Principales parámetros de un receptor

Los principales parámetro de desempeño y costo de un receptor son:

Sensibilidad

Es la capacidad del receptor para detectar una señal débil entre un medio ruidoso.



Antecedentes

$$\begin{aligned} \text{Sensibilidad} &= 10\log(kTB) + 10\log(BW(\text{Hz})) + NF \text{ (dB)} \text{ [dB]} \\ &= -174 \text{ dBm/Hz} + 10\log(BW(\text{Hz})) + NF(\text{dB}) \text{ [dB]} \end{aligned}$$

k = constante de Boltzman = $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

T = temperatura en K

BW = ancho de banda (Hz)

NF = Figura de ruido (dB)

Selectividad

Es una medida de la protección que se le proporciona al radio contra interferencias fuera de canal. El grado de selectividad depende en gran medida del sistema de filtros del receptor. Mientras mayor sea la selectividad, mejor será el rechazo hacia las señales no deseadas en el receptor. Sin embargo, si el receptor es demasiado selectivo podría impedir el paso de la energía deseada.

Compresión de 1dB

El punto de compresión de 1dB es donde la potencia de la ganancia del receptor se encuentra 1dB debajo de la ganancia ideal.

A menudo, el punto de compresión de 1dB es conocido como bloqueo para el receptor. El bloqueo ocurre debido a que las señales débiles no son amplificadas adecuadamente, ocasionando que su recepción pueda llegar a ser bloqueada y no logren ser detectadas.

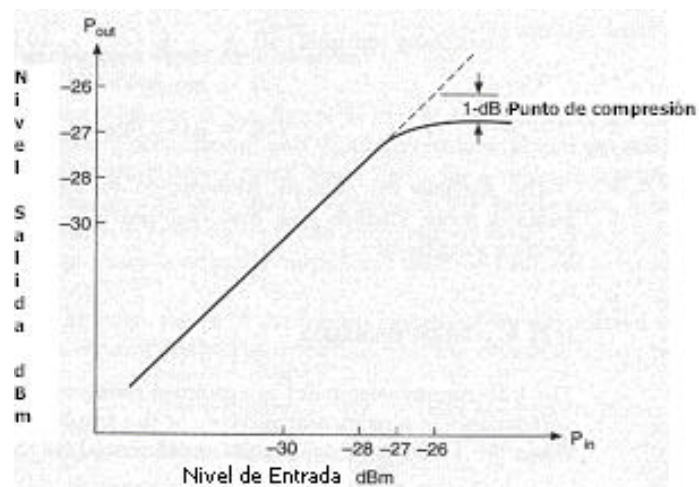


Fig. Compresión de 1 dB



Antecedentes

Rango dinámico

El rango dinámico define el rango de señales que puede soportar el receptor y en el cual se producirá una salida precisa o exacta. El nivel más bajo es llamado sensibilidad y el nivel superior es llamado nivel de degradación. Existen varias formas de especificar el rango dinámico de un sistema. Una forma es definirlo como el rango desde la mínima señal discernible hasta el punto de compresión de 1dB en el receptor. Esto es conocido comúnmente como el rango dinámico de bloqueo. Otro método es el de definir el rango desde la mínima señal discernible hasta el punto donde la intermodulación de tercer orden iguala a la mínima señal discernible. Esto es conocido como rango dinámico libre de espurias (SFDR), o puede especificarse como la diferencia entre la mínima señal discernible y el nivel especificado de distorsión por intermodulación (IMD).

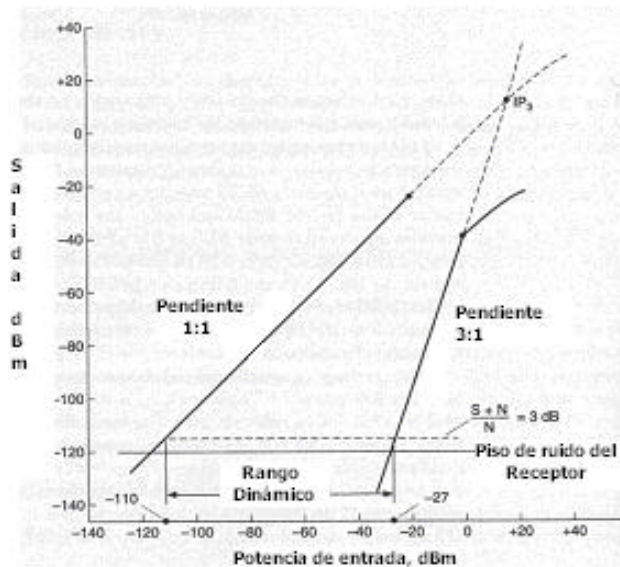


Fig. Rango dinámico

El rango dinámico libre de espurias es una especificación muy importante cuando el sitio se encuentra cerca de otros transmisores porque es una clara indicación de cómo interfiere la señal con los canales adyacentes. El rango dinámico libre de espurias proporciona una medida del desempeño del radio al acercarse la señal al piso de ruido del receptor. Provee una SNR o BER global.



Antecedentes

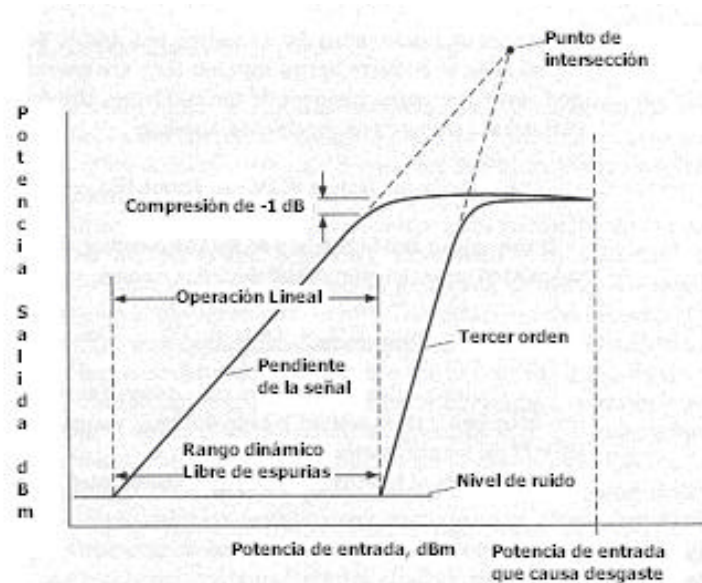


Fig. Rango Dinámico

Distorsión

La distorsión es originada por señales no deseadas que aparecen a la salida de cualquier dispositivo en la trayectoria RF. Un lugar donde comúnmente ocurre la distorsión es a la salida de un amplificador.

Las tres formas más comunes de distorsión son: distorsión armónica, intermodulación y modulación cruzada.

La distorsión armónica ocurre cuando señales no deseadas que provienen de múltiples portadoras son un múltiplo entero de la señal inicial.

La modulación cruzada ocurre cuando una señal modulada en amplitud proveniente de un transmisor es transferida a otra portadora a la salida del dispositivo.

La intermodulación es la forma más común de distorsión y es el producto de mezclar varias señales. La cantidad y niveles de intermodulación son un resultado directo de la cantidad de señales disponibles para mezclarse.

Ruido

El ruido afecta directamente al desempeño global de un sistema de comunicaciones. Si el total de ruido que experimenta o tiene que experimentar un receptor se incrementa, la señal deseada debe amplificarse de tal forma que no aumente el contenido de ruido para garantizar la integridad de la información.



Antecedentes

Figura de ruido

La figura de ruido es uno de los principales indicadores del desempeño de un receptor. La figura de ruido de un sistema de recepción está directamente relacionada con la sensibilidad del receptor y se incrementa con cada etapa en la trayectoria de recepción. Un punto común para medir la figura de ruido es la salida de IF del receptor.

La figura de ruido de un sistema está determinada por el primer amplificador en el trayecto de recepción.

Intersección de tercer orden

El punto de intersección de tercer orden (IP3) determina e influencia en forma directa el rango dinámico del receptor. Los valores de intersección de tercer y segundo orden determinan la linealidad del receptor.

Debe notarse que el valor del IP3 es teórico, y se obtiene por medio de la extrapolación de la curva de tercer orden.

Ruido de Fase

El ruido de fase es originado por la adición de perturbaciones a la señal de entrada, las cuales degradan la sensibilidad del receptor.

El ruido de fase puede originar translaciones en frecuencia ocasionando que señales fuera de banda caigan dentro del paso banda del receptor.

Pérdida de la sensibilidad

La pérdida de sensibilidad ocurre cuando una señal muy fuerte comienza a saturar al receptor, haciendo que la detección de señales débiles sea menor.

Este problema se puede atacar de diversas maneras: incrementando la separación física entre los transmisores ofensores y los receptores ofendidos, colocando un filtro de transmisión más angosto o utilizando un filtro de recepción más selectivo para remover o reducir dramáticamente el espectro del ruido de transmisión.



CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA LMDS

Significado de LMDS

El Servicio Local de Distribución Multipunto (Local Multipoint Distribution Service, LMDS) es una tecnología de comunicaciones inalámbrica fija de banda ancha que opera en el rango de frecuencias de entre los 20 y los 42 GHz y que permite la transmisión bidireccional de servicios de voz, datos y vídeo a través de enlaces punto a multipunto.

El acrónimo LMDS se deriva de lo siguiente:

- **L (Local)**- denota que las características de propagación de las señales en este rango de frecuencias limitan el área de cobertura potencial de la célula; pruebas de campo realizadas en zonas metropolitanas muestran que el alcance típico de un transmisor LMDS es de 2 a 5 kilómetros.
- **M (Multipunto)**- indica que las señales son transmitidas en forma punto a multipunto o en forma de broadcast; el retorno (del suscriptor hacia la estación base), es una transmisión punto a punto.
- **D (Distribución)**- se refiere a la distribución de señales, la cual puede consistir de tráfico simultáneo de voz, datos y video.
- **S (Servicio)**- implica la naturaleza de suscripción que existe entre el operador y el usuario; los servicios ofrecidos a través de una red LMDS dependen completamente del mercado al que el operador decida dirigir sus negocios.

LMDS también es conocido como Punto a Multipunto Inalámbrico Fijo (Fixed Wireless Point to Multipoint, FWPMP) y Servicio de Comunicaciones Local Multipunto (LMCS, Local Multipoint Communication Service).



Descripción del Sistema LMDS

Evolución de LMDS

El nacimiento de la tecnología LMDS ocurrió en 1992 en la ciudad de Brooklyn, Nueva York. El ingeniero Bernard Bossard, de la compañía Cellular Vision (actualmente Speedus), desarrolló un sistema que funcionaba en el rango de los 27.5 a los 29.5GHz, con el cual se brindaban 40 canales de televisión de paga a través de esta nueva tecnología punto a multipunto.

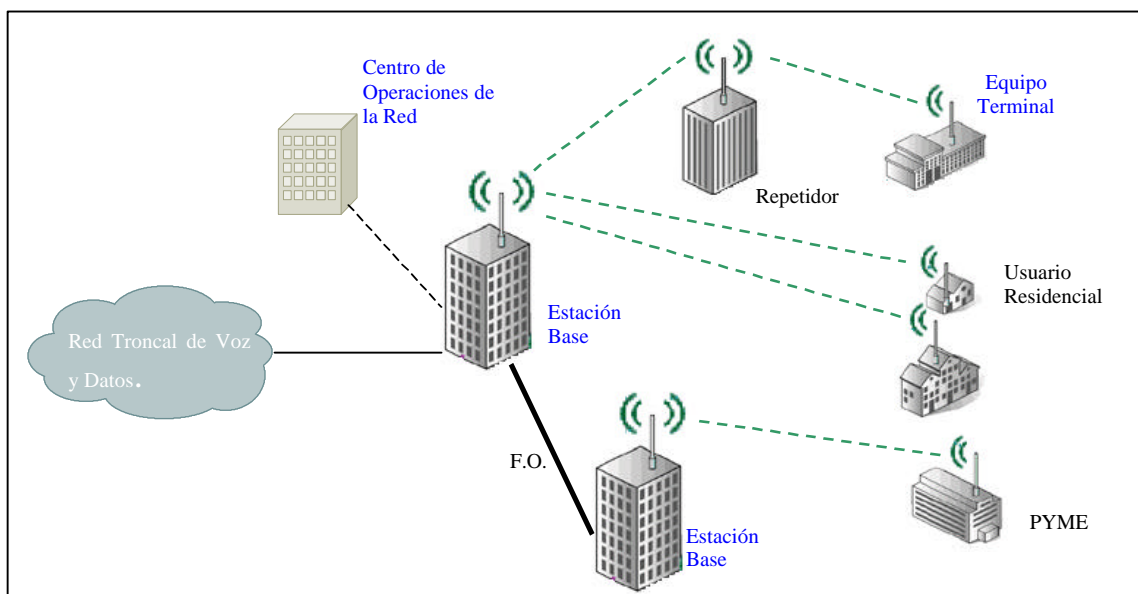
En 1998, LMDS pasó de ser un servicio analógico y unidireccional a ser un servicio digital y de doble vía, lo cual desató una gran expectación entre varios proveedores de servicios de telecomunicaciones por utilizar esta variante tecnológica nacida para la televisión de paga.

Ese mismo año la FCC subastó el espectro para los servicios de LMDS por cientos de millones de dólares. Sin embargo, debido a la falta de estandarización y a los altos costos de los equipos, no fue sino hasta hace unos pocos años que estos servicios comenzaron a estar disponibles comercialmente a un nivel significativo, y es que la propuesta es muy atractiva: velocidades de hasta 622 Mbps en áreas donde la fibra óptica tardaría varios años en llegar.

LMDS ha generado mucho interés en Asia, Sudamérica y especialmente en Europa, con sus áreas urbanas densamente pobladas, por sus bajos costos de instalación, facilidad de implementación y gran ancho de banda.

Arquitectura de la Red

Existen varias posibles arquitecturas para una red LMDS, se pueden proporcionar sistemas punto a punto, de distribución (broadcast) y, los más comunes, los sistemas celulares punto a multipunto.





Descripción del Sistema LMDS

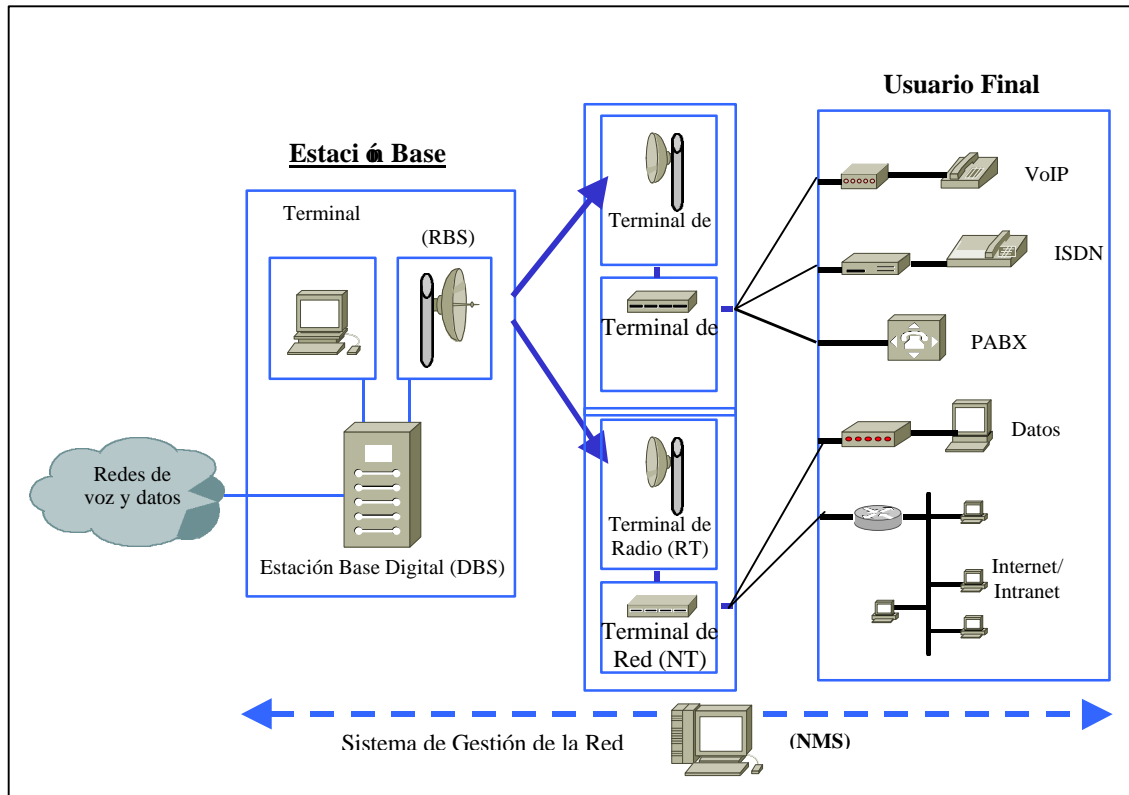


Figura. Elementos de la red LMDS

Célula

Una célula es el área geográfica cubierta por una estación base. Las células normalmente se diseñan con una forma hexagonal con la finalidad de proporcionar una transmisión de potencia más efectiva. Las células embonan para formar un patrón de panel, eliminando espacios y sobreposiciones de áreas. Una célula se define por su tamaño físico, por el tamaño de su población y por sus patrones de tráfico. Cada célula tiene un radio típico de entre 2 y 5 km y puede ser dividida en sectores.

Los principales parámetros para el diseño de una célula son los siguientes:

- Estimación del número de suscriptores
- Calidad de servicio (QoS)
- Presupuesto de enlace
- Canalización
- Ubicación
- Tamaño máximo de la célula



Descripción del Sistema LMDS

Presupuesto de enlace

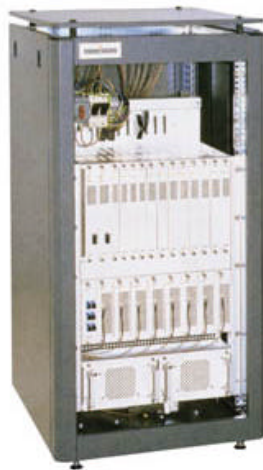
El presupuesto de enlace considera todas las ganancias y pérdidas del sistema, analiza varios parámetros de la red como la relación portadora a ruido (CNR), la tasa de portadora a triple batido compuesto, la relación entre portadora e interferencia (C/I) y los márgenes de atenuación con la finalidad de estimar la distancia máxima a la que los usuarios se podrán ubicar a partir de la estación base (tamaño de la célula) para contar con un servicio suficientemente confiable.

Mientras mayor sea el presupuesto de enlace, mayor será la confiabilidad y el costo del enlace.

Estación Base

Estación base es el nombre que recibe el conjunto de equipos de radiocomunicación ubicados en un lugar fijo, normalmente sobre torres o azoteas de edificios y que proveen una cobertura omnidireccional o sectorial para servir a una o varias células.

La función de una estación base es establecer un control central para todos los usuarios dentro de una célula.



Estación Base



Antena - Estación Base



Descripción del Sistema LMDS

Los principales equipos que componen una estación base son:

- Moduladores
- Demoduladores
- Antenas para la recepción y transmisión de señales
- Amplificadores
- Filtros
- FRAU (Fixed Radio Access Unit)
- Switches y ruteadores

El FRAU es el equipo que cuenta con la interfaz hacia la infraestructura de fibra óptica existente y que además, se encarga de realizar el procesamiento, multiplexión, demultiplexión, compresión, detección de errores, codificación, decodificación y ejecución del protocolo para coordinar el acceso de los usuarios a la red alámbrica.

Se aconseja contar con suficientes estaciones base de tal forma que al traslapar sus áreas de cobertura (una sobreposición del 15% se considera normal) se reduzcan las zonas de sombra y se pueda servir a un mayor número de clientes.

Para cualquier área geográfica se recomienda utilizar como mínimo tres estaciones base.

Una forma sencilla de estimar el número de estaciones base que se necesitarán en un sistema es utilizar la siguiente fórmula:

$$\# \text{ estaciones base} = C / (S * Z * M * E)$$

donde:

M = Mbps/canal

S = Número nominal de sectores por estación base

Z = Número máximo de radios por sector

E = Factor de eficiencia (qué tanto se quiere cargar a cada canal)

C = Capacidad que se desea transportar dada una cierta área

Este cálculo sencillo no incluye los problemas de cobertura y asume que todo el tráfico está distribuido homogéneamente.

Las variables más importantes para la implementación de una estación base son la cobertura y los costos de infraestructura. Es indispensable elaborar proyectos que logren conseguir un balance óptimo entre estas dos variables.



Descripción del Sistema LMDS

Centro de operaciones de la red (NOC)

Las estaciones base pueden ser administradas en forma centralizada, con un solo centro de operaciones de la red (Network Operations Center, NOC), o distribuida, donde múltiples NOCs son interconectados para ampliar el área geográfica de cobertura del sistema y facilitar las funciones de administración de la red. La comunicación entre la estación base y el NOC se realiza a través de enlaces dedicados (fibra óptica o microondas) de alta capacidad. La función del NOC es controlar el procesamiento y establecimiento de enlaces, lo cual incluye señalización, supervisión, conmutación y distribución de los canales de RF y la administración de las estaciones base.

Cobertura

La cobertura es el área geográfica en la cual los usuarios reciben la señal con un nivel de potencia aceptable.

La cobertura máxima de una célula dependerá de factores como:

- a) nivel de confiabilidad o disponibilidad
- b) tamaño de la célula
- c) presupuesto de potencia
- d) altura de la antena de la base
- e) altura de la antena del usuario
- f) desempeño de las antenas
- g) intensidad de la lluvia
- h) tipo de terreno
- i) zona climática
- j) árboles y vegetación

Algunas técnicas para incrementar la cobertura son:

- Ubicar las antenas de las estaciones base en lugares más elevados
- Incrementar los márgenes de enlace
- Traslapar células
- Utilizar reflectores pasivos o repetidores activos

Cuando una célula alcance el 50% de su capacidad se deben de instalar células adicionales con la finalidad de balancear las cargas entre células.



Descripción del Sistema LMDS

Equipo del usuario

Las instalaciones de los clientes pueden ir desde grandes empresas (edificios corporativos, hospitales, campus universitarios), en donde el equipo de microondas es compartido entre varios usuarios, hasta centros comerciales, edificios residenciales y hogares.

El equipo de usuario es el conjunto de dispositivos que le permiten al cliente acceder al sistema LMDS. Para enviar y recibir información en el sistema debe existir una condición de línea de vista entre las antenas de los usuarios y la de la estación base.



Unidad de interfaz de la red



Antena del suscriptor

El equipo de usuario consiste de una unidad exterior (Outdoor Unit), normalmente el radio y la antena, la cual se conecta por medio de un cable coaxial a la unidad interior (Indoor Unit) compuesta por la unidad de interfaz de la red (Network Interface Unit, NIU), que es la encargada de proveer el medio físico de conversión de RF a un formato utilizable (eléctrico u óptico), permitiéndole al usuario utilizar la red RF y realizar las funciones de modulación/demodulación y multiplexión/demultiplexión.

El NIU cuenta con interfaces para soportar comunicaciones bidireccionales inalámbricas de voz, video y datos para uso comercial y empresarial como son: Ethernet10BaseT, telefonía convencional, E1, E3, OC-1, OC-3 estructurados y no estructurados, ATM, Frame Relay, IP y video.

Los NIUs son administrados por un sistema de control de red ubicado en el centro de operaciones de la red (NOC).



Descripción del Sistema LMDS

Modos de transmisión

Existen cuatro modos de transmisión posibles en un sistema de comunicaciones:

- Simplex – las transmisiones ocurren en una sola dirección.
- Half-duplex – las transmisiones ocurren en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo.
- Full duplex - las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo.
- Full full duplex – se puede transmitir y recibir simultáneamente pero no necesariamente entre las mismas dos ubicaciones.

Técnicas de duplexaje

El término duplexaje se refiere al establecimiento de comunicaciones bidireccionales. Actualmente, las dos técnicas más utilizadas para separar la conexión de subida de la de bajada son:

Duplexaje por división de frecuencia (Frequency Division Duplexing, FDD) – con esta técnica, el enlace de subida y de bajada son transmitidos y recibidos simultáneamente, en frecuencias distintas separadas por una gran banda de guarda para evitar interferencias.

Duplexaje por división de tiempo (Time Division Duplexing, TDD) - ocurre cuando el enlace de subida y el de bajada son transmitidos en la misma frecuencia pero en tiempos separados. Los usuarios de la estación base toman turnos para comunicarse. El uso de TDD permite cambiar dinámicamente las fronteras entre el enlace de bajada y el de subida dentro de un marco, dando como resultado un uso del ancho de banda dependiente del tráfico.

Proceso de Transmisión y Recepción

Sentido descendente: La información proveniente de la infraestructura de fibra óptica o de algún enlace de microondas es recibida por el Fixed Radio Access Unit (FRAU), el cual se encarga de ejecutar el protocolo necesario para coordinar el acceso a los usuarios de la red inalámbrica. Las señales recibidas son convertidas a una frecuencia intermedia para después ser demoduladas y decodificadas. Una vez que las señales están en banda base se modulan nuevamente a una frecuencia intermedia y se codifican, después de esto las señales son entregadas al equipo de transmisión el cual se encarga de convertir



Descripción del Sistema LMDS

la señal de IF a la banda de transmisión asignada al servicio LMDS y de radiar la señal por medio de las antenas.

Un canal descendente utiliza el esquema de multiplexión por División de Tiempo (TDM) para multiplexar información destinada a múltiples usuarios.

En las instalaciones del usuario, una antena recibe la señal previamente procesada y codificada. El equipo LMDS convierte en frecuencia la señal recibida a una señal IF menor entregándola después al equipo de usuario. El equipo de usuario realiza la demodulación y posteriormente produce la señal originalmente transmitida en banda base.

Sentido Ascendente. La información generada por el usuario es codificada y entregada como una señal de IF modulada al equipo transmisor LMDS. El equipo LMDS convierte en frecuencia a la señal a la banda de transmisión LMDS. La señal procesada y codificada es radiada por la antena. Una vez que la señal es recibida en la estación base, el equipo la convierte a una frecuencia intermedia antes de entregarla al FRAU para su demodulación.

Los canales ascendentes se configuran en formatos de acceso FDMA o TDMA. Ambos formatos pueden coexistir en un mismo sector.

Métodos de Acceso

El espectro radioeléctrico es un recurso muy limitado, por lo que es indispensable que los operadores de telecomunicaciones cuenten con tecnologías que permitan que la mayor cantidad de usuarios puedan acceder a sus redes. Esto se consigue mediante el uso de tecnologías de acceso múltiple, las cuales permiten que el espectro disponible sea compartido por varios usuarios.

Los tres principales métodos de acceso utilizados para compartir el ancho de banda disponible en un sistema de comunicaciones inalámbricas son: Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA). Actualmente la mayoría de los estándares para LMDS se enfocan en los métodos de TDMA y FDMA. La elección de uno de estos métodos está relacionada directamente al operador, a la estrategia de servicio y al mercado al que se dirige.

FDMA

FDMA es una técnica que le asigna a cada usuario un canal o banda de frecuencia único para establecer comunicaciones con tasas de bits constantes. Los canales son asignados por demanda y una vez ocupados no se pueden



Descripción del Sistema LMDS

compartir. Cada canal está formado por un par de frecuencias, una para transmisión y otra para recepción.

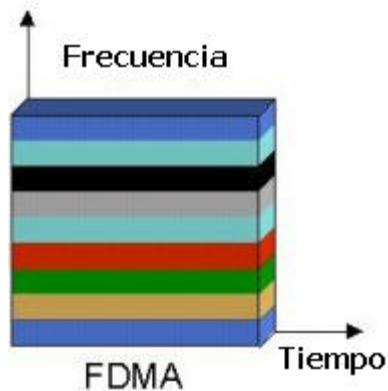


Fig. Características de FDMA

Otras características de FDMA son:

- Un canal FDMA sólo puede transportar un circuito a la vez (enlace dedicado).
- Si el canal no está siendo utilizado no podrá ser aprovechado por otros usuarios para incrementar o compartir la capacidad. Cuando no existen datos para enviar, se envían celdas vacías, desperdiciándose recursos.
- Después de la asignación del canal, la estación base y el equipo del usuario se comunican de forma simultánea y continua.
- Los anchos de banda de los canales FDMA son relativamente angostos debido a que cada canal sólo soporta a un usuario.
- Es especialmente apropiado para conexiones E1/DS-1, ATM, Frame Relay, Internet y 10BaseT.

TDMA

TDMA es una tecnología de transmisión que le permite a un cierto número de usuarios acceder a un canal de radio frecuencia, sin que se produzca interferencia, asignándole a cada usuario que se encuentre dentro del canal un espacio de tiempo único.



Descripción del Sistema LMDS

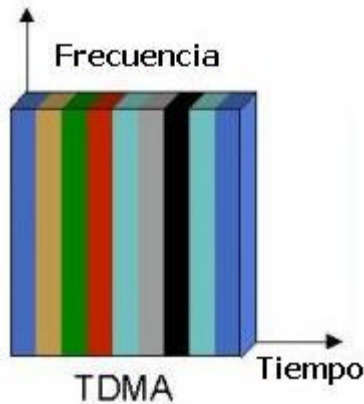


Fig. Características de TDMA

Algunas características de esta tecnología son:

- Incrementa la eficiencia de la transmisión. En el canal ascendente no se transmiten en forma constante celdas vacías.
- Está diseñado para responder a las ráfagas de datos enviadas por el usuario.
- Puede transmitir tanto señales de voz como datos.
- Excelente manejo de tráfico asimétrico.
- Las velocidades de transmisión de datos van de 64kbps a 622Mbps (en múltiplos de 64 kbps) lo cual permite ofrecer una amplia gama de servicios como fax, servicio de mensajes cortos, multimedia y videoconferencia.
- Es la tecnología más costeable para actualizar un sistema de analógico a digital.
- Es compatible con FDMA.
- Es propenso a la distorsión por múltiples trayectorias.

Diferencias entre TDMA y FDMA

- Actualmente, la complejidad de los sistemas FDMA es menor que la de los sistemas TDMA.
- Como la transmisión en FDMA es continua, se requieren menos bits de encabezado que en TDMA.
- Debido a que en FDMA se asigna un canal por usuario, estos sistemas tienen un mayor costo por célula que los TDMA.
- Como en los sistemas FDMA la transmisión y recepción ocurren simultáneamente se requiere el uso de costosos duplexores.



Descripción del Sistema LMDS

- FDMA requiere filtros RF muy selectivos para minimizar la interferencia de canal adyacente producida por la radiación espuria en la estación base.
- En los sistemas FDMA varios canales comparten la misma antena en la estación base. Los amplificadores de potencia, al ser operados cerca o en saturación, para conseguir una eficiencia de potencia máxima, son no lineales. Las no linealidades producen un esparcimiento de la señal en el dominio de la frecuencia, generando frecuencias de intermodulación. La intermodulación es radiación RF no deseada que puede interferir con otros canales.
- TDMA tiene una eficiencia de canal del 88% mientras que la de FDMA es del 100%.
- El porcentaje de corrección de errores (FEC) de FDMA es de entre el 75 y el 85 %, el de TDMA es del 91 %.

La elección entre TDMA y FDMA dependerá principalmente del tipo de servicios que se manejarán en la red. Consideremos un ejemplo práctico:

Supongamos que un operador desea dar servicio a un edificio de oficinas de seis pisos que tiene 20 empleados por piso. Esto requiere uno total de 120 líneas telefónicas comunes. Cada oficina utiliza una combinación de Frame Relay, E1, líneas de fax y líneas de módem. Algunas oficinas desean conectar su Ethernet LAN a una WAN utilizando ruteadores. El operador sabe que solo una parte de las oficinas se cambiarán a un proveedor inalámbrico.

En este caso, lo primero que se necesita hacer es estimar el tráfico de datos pico y promedio que existirá en la red. En segundo lugar se debe determinar qué tráfico será multiplexado y adecuado para suavizar las ráfagas de tráfico. Si la cantidad de tráfico por ráfagas resultante es lo suficientemente suave, los requerimientos del tráfico de subida pueden ser manejados eficientemente por las técnicas FDMA. De forma alterna, si las ráfagas persisten en forma considerable dentro del flujo de tráfico, TDMA sería una mejor elección.

La técnica de acceso múltiple utilizada actualmente por los sistemas LMDS es TDMA. En forma más precisa, TDMA es utilizado para compartir recursos de cada portadora en sentido ascendente, pero cada usuario tiene acceso a los recursos de todas las portadoras ubicadas en su sector. Es decir, el plan de acceso múltiple es una combinación de TDMA/FDMA.



Descripción del Sistema LMDS

CDMA

Es una técnica que le asigna permanentemente a cada usuario la totalidad del espectro disponible. Para lograr esto, CDMA utiliza una tecnología de espectro disperso en la cual se le otorga a cada usuario un código único, cuya función es identificar las conexiones y dispersar el ancho de banda de la señal en banda base antes de la transmisión. La señal es transmitida en un canal que se encuentra debajo del nivel de ruido. Posteriormente, el receptor decodifica y concentra el ancho de banda de la señal deseada, la cual pasará a través de un filtro pasobanda angosto. Las señales no deseadas tendrán un código distinto y no serán concentradas, de tal forma que pasarán por ruido ante el receptor y serán rechazadas por el filtro.

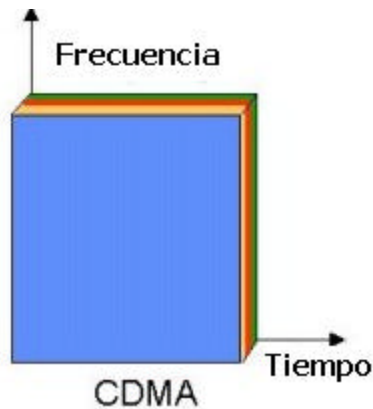


Fig. Características de CDMA

Características de CDMA

- Mejora considerablemente la capacidad de tráfico debido a que una gran cantidad de usuarios pueden compartir la misma portadora al mismo tiempo.
- Excelente manejo de señales que arriban con diferentes retrasos de tiempo (efecto de trayectorias múltiples).
- Mejora considerablemente la calidad de voz debido al preciso control de potencia y a sus eficientes algoritmos de codificación y decodificación.
- Provee un mecanismo confiable y seguro para el transporte de datos. Las señales son transmitidas a una potencia muy baja por lo que pueden confundirse con ruido por otros receptores ajenos al sistema.
- Reduce el número de sitios requeridos para soportar cualquier cantidad de tráfico. Esto gracias al preciso control de la potencia y al hecho de que los sitios no se interfieren mutuamente.



Descripción del Sistema LMDS

- Simplifica la selección de sitios.
- Requiere la instalación de un menor número de células, lo cual reduce considerablemente los costos de despliegue y operación.
- Reduce la cantidad de potencia promedio transmitida.
- Reduce la interferencia hacia otros dispositivos electrónicos
- Ancho de banda bajo demanda. Todos los usuarios pueden acceder el ancho de banda en cualquier instante y para cualquier aplicación.
- Un gran problema para los sistemas que utilizan CDMA es la contaminación del canal. Esto ocurre cuando las señales de varias estaciones base están presentes en el equipo terminal de usuario pero ninguna de ellas es dominante, degradándose rápidamente la calidad del servicio.
- Siempre se podrá añadir un usuario más al canal pero una vez que se llega al límite se empieza a contaminar el canal, dificultándose la recuperación de flujos de datos libres de errores.

CDMA vs TDMA

La comparación entre TDMA y CDMA ha sido muy controversial y está dominada por intereses comerciales, por lo cual es difícil encontrar una comparación verdaderamente objetiva en la literatura.

Cada una de estas técnicas lucha por utilizar en forma más eficiente el espectro radioeléctrico, permitiendo que múltiples usuarios compartan el mismo canal físico. TDMA lo hace partiendo cada canal en espacios de tiempo secuenciales, cada usuario del canal toma su turno para transmitir y recibir. Solamente un usuario utiliza el canal en cada instante, después lo libera para que otro usuario tome su turno. CDMA permite que todos los usuarios transmitan al mismo tiempo gracias a la técnica de espectro disperso.

Como las terminales de los usuarios son fijas, se pueden utilizar antenas altamente direccionales, con anchos de haz de entre 2 y 3 grados. Como resultado, cualquier trayectoria múltiple que exista en el canal será atenuada significativamente por los lóbulos laterales de la antena. Por lo tanto, las trayectorias múltiples no son un problema significativo en estos rangos de frecuencia. Debido a esto, se decidió adoptar un sistema basado en una sola portadora TDM/TDMA en vez de utilizar otras opciones como CDM/CDMA u OFDM/OFDMA, que son más apropiados para combatir altos índices de desvanecimiento por múltiples trayectorias.



Descripción del Sistema LMDS

Capacidad del sistema

Sin lugar a dudas, lo que hace que LMDS sea una tecnología tan atractiva para los operadores es el inmenso ancho de banda espectral disponible, el cual se traduce en una gran capacidad para transportar información.

La capacidad de un sistema LMDS es igual al número de células dentro del sistema multiplicadas por la capacidad de cada célula. La capacidad de la célula es igual al número de sectores dentro de la célula por la capacidad de cada sector.

La capacidad de un sistema de comunicaciones puede medirse en términos de la tasa de datos y del máximo número de usuarios.

Existen varios métodos para incrementar la capacidad de un sistema de comunicaciones:

1. Añadir más radios.
2. Crear nuevos sitios.
3. Redirigir algunas antenas de los usuarios hacia sitios con exceso de capacidad.
4. Uso de modulaciones de mayor grado.
5. Sectorizar el área de cobertura.
6. Ajustar los niveles de servicio.
7. Descargar tráfico hacia sistemas de microondas punto a punto o fibra óptica propios o arrendados.
8. Incrementar el costo del servicio para hacerlo menos atractivo y disminuir el número de usuarios.
9. No ofrecer servicios nuevos que ocasionen la adición de un mayor número de clientes.

No se recomienda incrementar la capacidad de una célula modificando las propiedades de la antena, por ejemplo de omnidireccional a sectorial, porque esto requerirá que se cambie la orientación de todas las antenas de los usuarios que se encuentren en el nuevo sector.

Sectorización

La sectorización consiste en dividir un mismo sitio en varios sectores mediante el uso de múltiples antenas direccionales, de tal forma que se puedan reusar los canales de RF y así aumentar la capacidad del sistema de una manera más eficiente. Los grupos de frecuencias deben estar suficientemente separados en azimuth.



Descripción del Sistema LMDS

Una célula puede ser sectorizada de la siguiente forma:

1. 2 sectores ($90^\circ, 0^\circ, 90^\circ, 0^\circ$)
2. 4 sectores de 90° cada uno
3. 6 sectores de 60° cada uno
4. 8 sectores de 45° cada uno
5. 12 sectores de 30° cada uno

Fig. Estación Base con dos sectores

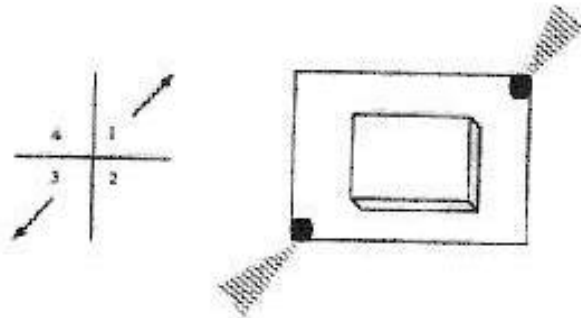


Fig. Estación Base con cuatro sectores

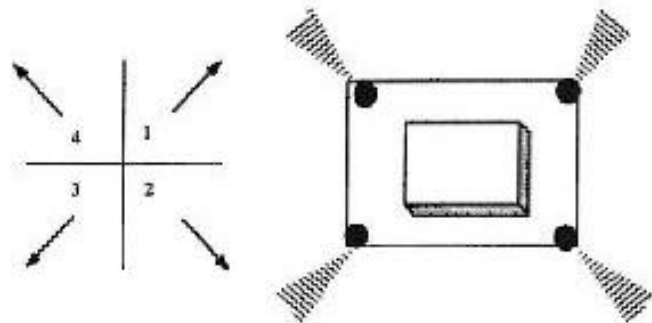
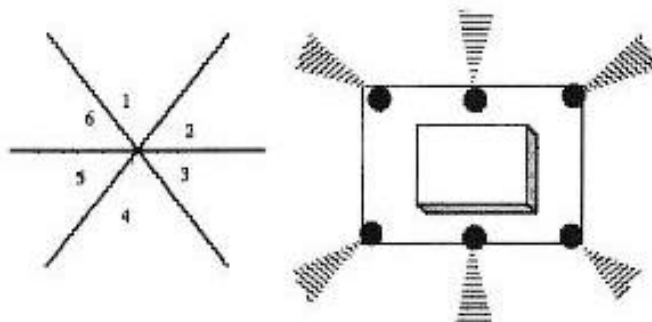


Fig. Estación Base con seis sectores





Descripción del Sistema LMDS

Fig. Estación Base con ocho sectores

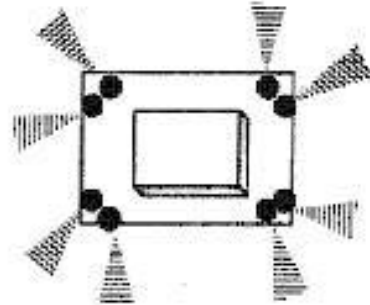
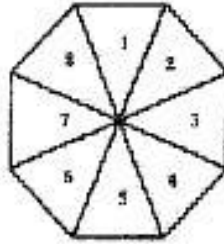
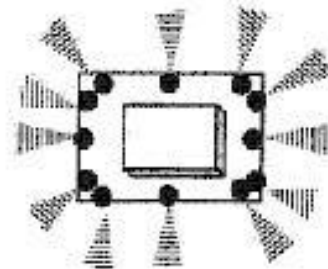
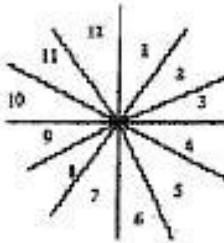


Fig. Estación Base con doce sectores



Para mantener los costos de los equipos bajos, se desea contar con pocos sectores, es decir, planes donde se divida al espectro en el menor número de subbandas posibles (2 es lo más aconsejable).

Las células de 4 sectores serán las más predominantes en un sistema LMDS para proporcionar servicio al usuario.

La sectorización puede hacerse en forma uniforme o mixta y tiene la ventaja de reducir el costo de mantenimiento además de facilitar la actualización de la red.

Reuso de Frecuencias

El reuso de frecuencias consiste en asignar, a más de una célula, el mismo conjunto de frecuencias (canales), siempre y cuando las células estén a una cierta distancia de separación de tal forma que se eviten problemas de interferencia entre distintos segmentos del sistema. Esta técnica permite que un gran número de usuarios compartan un número limitado de canales de uso común disponibles en una región.

El reuso de frecuencias utilizado en los sistemas LMDS es de entre el cincuenta y el noventa por ciento del ancho de banda disponible de sector a sector.

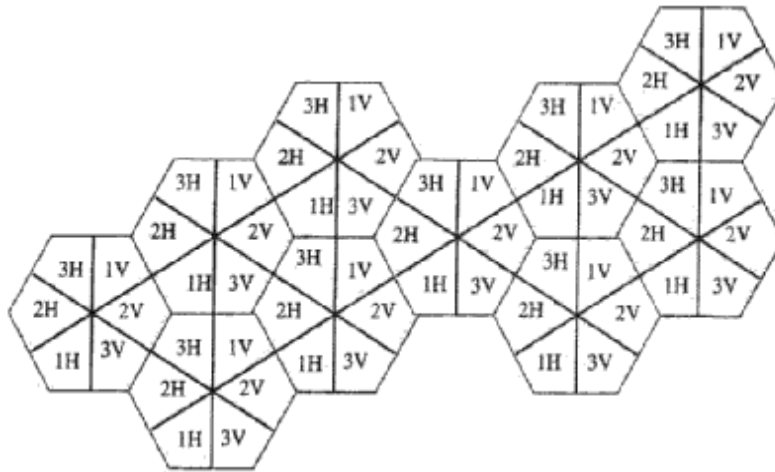


Fig. Reuso de frecuencias con tres canales y polarización dual

Polarización

La polarización es una técnica utilizada para incrementar la capacidad de una célula. En cualquier sistema LMDS pueden utilizarse dos tipos de polarización, la vertical y la horizontal. Debe utilizarse la misma polarización en el mismo sector, aún cuando éste sea segmentado, por las siguientes razones:

1. Se desea evitar una reconfiguración del equipo del usuario cuando se requiere un cambio de frecuencia.
2. Se pueden mover los equipos de los usuarios, basados en el nivel de servicio acordado, a otros canales dentro del mismo sector para mejorar el uso del ancho de banda.
3. Para facilitar la expansión de capacidad en el sector.
4. Para reducir costos.

En los sistemas que sectorizan la cobertura de las células mediante polarización, las antenas de los usuarios deben contar con un alto aislamiento de polarización para prevenir la interferencia proveniente de sectores adyacentes o para evitar que se interfiera con otros sectores.



Descripción del Sistema LMDS

Modulación

Los métodos de modulación digital para los sistemas inalámbricos de banda ancha se dividen en modulación por desplazamiento de fase y modulación de amplitud.

Los sistemas LMDS de primera generación estaban basados en QPSK, que es un método de modulación de baja densidad que permite alcanzar mayores distancias para una cierta potencia, pero que sacrifica las tasa de rendimiento (throughput) de datos.

Los métodos de modulación digital más comunes para el canal de bajada son: QPSK, 16QAM y 64QAM. QPSK es el tipo de modulación más utilizado en el canal de retorno. Los requerimientos de relación señal a ruido generalmente determinarán el método a utilizar en el canal de bajada, donde QPSK es el más tolerante a la interferencia y 64QAM es el que ofrece la mayor capacidad.

A continuación se muestra en la tabla la eficiencia espectral y el requerimiento mínimo de relación señal a ruido para los diferentes tipos de modulación.

| Esquema de Modulación | Relación Señal a Ruido (dB) | Eficiencia Espectral (b/s/Hz) |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| QPSK | 2 | 1.6 |
| 4-QAM | 4 | 1.5 |
| 16-QAM | 6 | 3.5 |
| 64-QAM | 16 | 5 |

Tabla. Eficiencia espectral de distintos métodos de modulación

Como se puede observar en la tabla anterior, la capacidad no aumenta necesariamente conforme al esquema de modulación empleado, pues la interferencia que se soporta es menor y se requiere una mayor separación para el reuso de frecuencias.

Una disminución en el plan de modulación se traduce en una reducción del número de sitios requeridos. Sin embargo, con una mayor modulación se reduce



Descripción del Sistema LMDS

el rango y la sensibilidad. Por ejemplo, el uso de 64QAM puede requerir de células con un tamaño tan pequeño resultarían imprácticas.

Planeación de la Red

El diseño RF de un sistema LMDS involucra varios aspectos utilizados en los diseños de sistemas de microondas punto a punto y de sistemas celulares o PCS. Debido a que el servicio es fijo, la complejidad en el diseño se reduce significativamente aunque no deja de tener sus dificultades.

Los principales pasos a seguir en el diseño de un sistema LMDS son los siguientes:

1. Determinar los requerimientos técnicos.
2. Determinar la cantidad de espectro disponible.
3. Determinar los tiempos.
4. Definir los servicios que se ofrecerán.
5. Establecer los requerimientos comerciales.
6. Realizar una metodología para la implementación.
7. Elegir tecnologías.
8. Definir los tipos de células.
9. Establecer el presupuesto de enlace.
10. Establecer un sistema de malla punto a multipunto.
11. Definir los requisitos de cobertura.
12. Definir los requisitos de capacidad.
13. Concluir el diseño RF.
14. Elegir las áreas de servicio.
15. Gestionar los permisos para la instalación de infraestructura.
16. Integración.
17. Construcción.
18. Puesta en operación.

Antes de comenzar la implementación del sistema, es esencial conocer la cantidad de tráfico que se espera tener ya sea en célula o en todo el sistema para garantizar que la parte troncal de la red pueda soportar los requerimientos del sistema.



Descripción del Sistema LMDS

Propagación

Debido a que las ondas milimétricas se atenúan rápidamente y son altamente sensibles al medio físico y a las condiciones ambientales, es de gran importancia realizar estudios de propagación.

Todo sistema inalámbrico requiere que se realice un análisis de propagación. Este análisis se realiza a través de una herramienta de software y sirve para determinar la posible ubicación de las estaciones base en un área geográfica dada y el máximo alcance que tendrá la señal a un nivel de potencia dado para ciertas condiciones de terreno, vegetación y clima. También permite realizar análisis de interferencia que simplifiquen los planes de reuso de frecuencias.

Para mejorar los resultados de un estudio de propagación se pueden utilizar bases de datos con la información sobre las características físicas del área geográfica que se desea cubrir (altura de edificios y casas, vegetación, tráfico, etc.) Mientras más completas sean las bases de datos, mejor será el diseño aunque su costo es muy elevado. De hecho, no importa que se cuente con la mejor base de datos, siempre será necesario un estudio presencial del sitio. Puede ocurrir que la ubicación de la estación base no sea la ideal pero se puede arrendar un sitio mejor que pueda cubrir por lo menos un 80% del área que se desea servir.

Cálculo de pérdida por trayectoria en el espacio libre

$$\text{Pérdida por trayectoria (espacio libre)} = 32.4 + 20\log(R) + 20\log(f)$$

Donde: R [km] y f [MHz]

Existen varios elementos clave que se necesitan añadir a la fórmula de la pérdida por trayectoria en el espacio libre como las características del terreno, la curvatura de la tierra y la altura de los edificios.

Estándares

La creación de estándares es esencial para la evolución de los sistemas LMDS. Actualmente se realizan trabajos de estandarización en los siguientes organismos internacionales: el foro ATM, el Consejo de Audio y Video Digital (DAVIC), el Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones (ETSI), el Instituto de Ingeniería Eléctrica Electrónica (IEEE) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones.



Descripción del Sistema LMDS

La estandarización fue iniciada en Europa con la creación del proyecto Digital Video Broadcasting (DVB) auspiciada por el European Broadcasting Union. El proyecto DVB estaba a cargo de la elaboración de los requerimientos comerciales y las especificaciones técnicas de las distintas tecnologías de distribución (broadcast), entre ellas LMDS. Las especificaciones técnicas elaboradas por el proyecto DVB le fueron asignadas al European Telecommunications Standards Institute (ETSI) para crear más procedimientos para la publicación de normas.

Otro organismo internacional que fue creado para elaborar especificaciones técnicas tanto para broadcast como para redes de cable, satelitales y sistemas de radio es el Digital Audio Visual Council (DAVIC), que agrupa a los mayores operadores y proveedores de servicios y a las industrias de telecomunicaciones, computación y electrónica.

DAVIC comenzó sus trabajos a partir de los estudios realizados por DVB con el propósito de definir una interfaz física por completo. La delantera fue rápidamente tomada por DAVIC para las tecnologías de MMDS y LMDS. Aunque las especificaciones DAVIC y DVB son casi idénticas en todos los aspectos las primeras tienen varias ventajas.

DAVIC ha mejorado las especificaciones DVB al introducir la definición del canal de retorno, por lo que los sistemas DAVIC pueden soportar transmisiones bidireccionales. Es necesario definir un protocolo y una estrategia para la administración del acceso al medio y a los recursos porque no se especifica en DAVIC, solo se propone la estructura de los mensajes MAC (Medium Access Control) que deben ser utilizados para establecer, mantener y administrar los medios físicos inalámbricos, mientras que la decisión de algoritmos y técnicas para la asignación de ancho de banda se dejó abierta.

Otra mejora hecha por DAVIC fue la definición de una estructura de trama apropiada para transportar celdas ATM con una tasa de pérdida de células relativamente baja, tanto para el canal de bajada como para el de subida.

Como la asignación de espectro para LMDS varía dependiendo del país, las especificaciones DAVIC solo definen un plan de frecuencia intermedia (IF) para las transmisiones ascendentes y descendentes.

En las siguientes tablas se muestran las especificaciones DAVIC para el canal de bajada y de subida:



Descripción del Sistema LMDS

| | |
|--------------------------|---|
| Ancho de banda del canal | 20-40 MHz |
| Frecuencia intermedia | 950-2050 MHz |
| Estructura de la trama | MPEG2 o ATM |
| Scrambler | $1 + X^{14} + X^{15}$ |
| Código externo | RS(204,188,8) |
| Interleaving | Convolutional (N=204, I=12) |
| Código interno | Punctured convolutional rate: $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{7}{8}$ (solo con modulación PSK) |
| Baseband shaping | Square-root raised cosine Roll-off 0.2 o 0.35 |
| Modulación | 4PSK o 16QAM |
| Tasa de símbolo | 14.81-33.33 Mbaud |

Tabla. Especificaciones Físicas del canal de bajada

| | |
|--------------------------|---|
| Ancho de banda del canal | 1-2.5 MHz o 1-26MHz |
| Frecuencia intermedia | 400-700 MHz |
| Estructura de la trama | ATM |
| Scrambler | $1 + X^5 + X^6$ |
| Código | RS(63,53,5) |
| Baseband shaping | Square-root raised cosine Roll-off 0.3 |
| Modulación | DQPSK |

Tabla. Especificaciones Físicas del canal de subida

Actualmente, el grupo de trabajo IEEE 802.16 enfoca sus esfuerzos en la estandarización de los equipos que proveen la conexión de última milla, para el servicio de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha, en hogares y oficinas.

El grupo de trabajo IEEE 802.16 se divide a su vez en dos subgrupos, cada uno de ellos encargados de un rango de frecuencias específico. El subgrupo de trabajo 802.16.1 se encarga de las frecuencias ubicadas entre los 10 y los 66 GHz haciendo énfasis en las frecuencias cercanas a los 30 GHz, que corresponden a la banda de LMDS en los Estados Unidos. El subgrupo IEEE 802.16.3 se encarga de las frecuencias en el rango de los 2 y los 11 GHz enfocándose en las frecuencias cercanas a los 2.5 GHz que corresponden a la banda de MMDS en los Estados Unidos.



Descripción del Sistema LMDS

Principales aplicaciones de LMDS

- Telefonía local
- Telefonía de larga distancia
- Acceso a Internet
- Transporte de datos
- Servicios de video por demanda
- Acceso a redes privadas virtuales
- Reventa de capacidad
- TV digital restringida
- Audio restringido
- Videojuegos
- Tele educación
- Tele medicina
- Intranets para campus universitarios
- Videoconferencia
- Aplicaciones multimedia de banda ancha en tiempo real
- Teletrabajo.
- Backhaul para compañías celulares

Se espera que los servicios de LMDS sean una combinación de voz, datos y video. Por esta razón, tanto el Modo de Transferencia Asíncrona (Asynchronous Transfer Mode, ATM) como el protocolo de Internet (IP) son las tecnologías más adecuadas.



CAPÍTULO 3

Ventajas y Desventajas

Ventajas

- 1- **Capacidad.** La principal ventaja que LMDS le proporciona al mercado de las telecomunicaciones es su capacidad de transmisión de datos, la cual proviene del gran ancho de banda espectral disponible.
- 2- **Los costos de entrada e instalación son muy bajos.** Una vez realizada la planeación y el diseño, los sistemas son relativamente fáciles y rápidos de instalar ya que se evitan los problemas de obtención de derechos de vía y los altos costos asociados con el tendido de fibra óptica o cable.

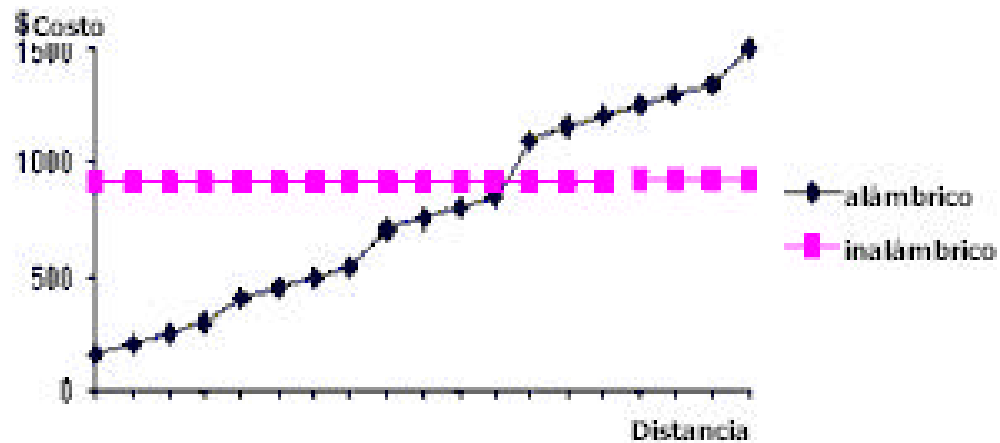


Fig. 1 Impacto de WLL en los costos de operación del proveedor de servicios



Ventajas y Desventajas

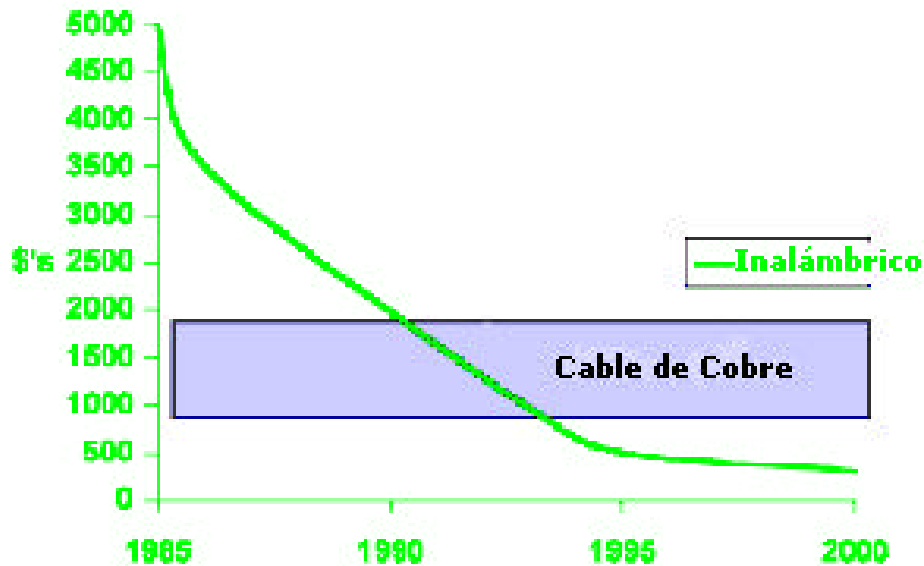


Figura 2. El costo de la última milla: cobre contra inalámbrico

- 3- **El crecimiento de la red se basa en la demanda.** A diferencia de lo que sucede con los sistemas alámbricos, donde la infraestructura debe de estar instalada antes de que aparezcan los clientes, los equipos pueden ser instalados una vez que el cliente se suscriba.
- 4- **Los sistemas pueden ser actualizados con gran sencillez y rapidez.** El diseño modular de estos sistemas hace que los costos de actualización sean sustancialmente menores y que el cambio de los equipos de transmisión sea muy fácil y rápido.
- 5- **Calidad de servicio.** Una vez que la infraestructura básica está controlada se puede lograr una calidad de servicio equiparable a la que se ofrece a través de tecnologías alámbricas (disponibilidad del 99.999%).
- 6- **Uso eficiente del espectro radioeléctrico.** La estructura celular de estos sistemas está basada en el reuso de frecuencias, en este esquema varias células no adyacentes pueden utilizar el mismo conjunto de frecuencias, aprovechándose al máximo el uso del espectro.



Ventajas y Desventajas

- 7- **Los costos de administración, mantenimiento y operación de la red son menores.**
- 8- **Modernización.** Si los sistemas inalámbricos son planeados y dimensionados adecuadamente, los países que carecen o que poseen una infraestructura de telecomunicaciones deficiente y obsoleta lograrán introducir servicios digitales avanzados en una forma acelerada.
- 9- **Tamaño del equipo.** El tamaño del equipo es mucho menor al que se esperaría para proporcionar servicios tradicionales de microondas. Por ejemplo, una antena que cuente con un ancho de haz menor a 3 grados y una ganancia de 35dBi puede tener un diámetro menor a 30.48 cm.
- 10- **Su corto alcance lo hace ideal para cubrir áreas densamente pobladas.**
- 11- **Competencia.** La entrada de esta nueva tecnología abrirá oportunidades para el acceso de última milla a nuevos competidores y el servicio podrá llegar a lugares remotos o difíciles de cablear, zonas rurales, etc.
- 12- Al hacer uso de antenas ubicadas en edificios o estructuras de gran altura, cuyos anchos de haz son muy angostos, **se evitan los problemas de desvanecimiento por múltiples trayectorias.**
- 13- **Competitividad.** Como la fibra óptica es su principal competidor, los proveedores de LMDS solo necesitan superar los enormes costos de instalación y los comunes retrasos en el tendido de la fibra.
Asimismo, al tratarse de sistemas punto a multipunto una sola estación base transmite y recibe hacia/desde varios usuarios, por lo que su costo es compartido.
- 14- **Seguridad.** Al tratarse de espectro sujeto a concesión se garantiza la exclusividad del uso de frecuencias y se tiene un territorio protegido.
- 15- **Servicios.** Una mayor tasa de datos se traduce en la posibilidad de ofrecer una mayor gama de servicios, con la consecuente generación de mayores ingresos para el operador.



Ventajas y Desventajas

Desventajas

- 1- **Condiciones ambientales.** El clima es uno de los principales retos en el diseño de un sistema LMDS, ya que puede hacer que el canal de propagación se vuelva extremadamente aleatorio. De hecho, si llueve demasiado (varios centímetros por hora), la señal podría caerse totalmente.
- 2- **Línea de vista.** Debido a los estrechos anchos de haz que manejan las antenas de los usuarios y a los problemas de propagación que se presentan al trabajar con frecuencias ubicadas entre los 20 y los 42 GHz, donde casi todo representa un obstáculo para las señales. Es indispensable contar con una línea de vista entre los transmisores y receptores. Esta situación exige una cuidadosa planeación que podría contemplar el uso de repetidores para retransmitir la señal a través de edificios, árboles u otros obstáculos. Existen cuatro categorías de bloqueo:

| Tipo de bloqueo | Exceso de pérdida de trayectoria (Resultados de pruebas de campo) |
|--|--|
| Línea de vista | 25-35 dB |
| Línea de vista parcial | 35-45 dB |
| Bloqueo ocasionado por un solo obstáculo | 45-55 dB |
| Bloqueo total debido a diversos obstáculos | Mayor a 55 dB |

- 3- **Corto alcance.** El alcance de las antenas de las estaciones base va de 1km a 5km, por lo que se necesita instalar un mayor número de antenas para cubrir áreas geográficas extensas, incrementando considerablemente los costos. Se espera que los avances tecnológicos abaraten los equipos. La cobertura disminuye al incrementar el nivel de disponibilidad de la red.



Ventajas y Desventajas

- 4- **Definición del Mercado.** Existe mucha confusión sobre quiénes serán los usuarios finales y qué aplicaciones requerirán.
- 5- **Falta de enfoque.** Se tiene la idea de que LMDS es una solución para todo y no se hace un enfoque en las verdaderas fortalezas de esta tecnología.
- 6- **Costo de los equipos.** Los costos de los equipos son elevados debido a que son producidos en bajas cantidades. Asimismo, el uso de costosos repetidores y reflectores para aumentar el área de cobertura es indispensable.
- 7- **Obtención de permisos.** El conseguir los derechos para instalar las estructuras, antenas y otros equipos es un proceso largo y complicado que afecta la provisión de los sistemas inalámbricos.
- 8- **Atenuación debido a la distancia (Pérdida por trayectoria, $1/r^2$)** – La pérdida total por trayectoria es la pérdida de la señal esperada entre las antenas transmisoras y receptoras isotrópicas ideales, libres de pérdidas, la cual puede verse como la suma de la pérdida en el espacio libre y la pérdida adicional a lo largo de la trayectoria. La pérdida adicional se debe al entorno, esto incluye las múltiples trayectorias y los efectos de sombra producidos por los edificios, atenuación debida a la vegetación, absorción del aire, humedad y precipitación pluvial. La pérdida de trayectoria adicional se conoce como exceso de pérdida de trayectoria. Comúnmente, en sistemas celulares se emplea una relación D^4 para determinar el efecto de la distancia sobre la potencia recibida, tomando en consideración los efectos de las trayectorias múltiples y de la difracción. Debido a que los sistemas LMDS requieren de línea de vista entre el transmisor y el receptor, los efectos por múltiples trayectorias son mínimos o no existentes.
- 9- **Atenuación debido a la lluvia** – Los sistemas LMDS que funcionan en los 28 GHz son muy susceptibles a la lluvia. La lluvia causa la depolarización de las señales, con la resultante disminución de los niveles de la señal y del aislamiento contra las interferencias entre sectores y células adyacentes. Este factor puede ser determinado utilizando la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-R PN 838-1, 1992-4 ("Specific



Ventajas y Desventajas

Rain Attenuation”) y depende de la zona climática y de la frecuencia de transmisión.

La atenuación específica debido a la lluvia se encuentra caracterizada por la siguiente relación:

$$g_R = kR^a$$

La atenuación específica, g_R (dB/km), se obtiene a partir de la tasa de precipitación R (mm/h), y de los valores de k y a que se encuentran en la recomendación ITU-R PN 838-1.

Para disminuir los efectos de la lluvia sobre las señales, algunas antenas cuentan con sensores que se encargan de incrementar la potencia en forma automática al momento en que comience a llover.

La atenuación debida a la lluvia depende de la temperatura, del tamaño y forma de las gotas, de la tasa de precipitación, del ángulo de caída, velocidad y polarización.

- 11- **Atenuación debido a la vegetación y a otras obstrucciones** – Una importante referencia al considerar este tipo de atenuación es la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-R PN.833-1, 1992-4 “Atenuación en la vegetación”.

Cuando un árbol bloquea la trayectoria de la señal, su propagación dependerá de los efectos de esparcimiento y difracción.

La atenuación causada por vegetación húmeda puede llegar a ser mucho mayor que la originada por vegetación seca. Asimismo, si hay mucho viento, la vegetación en movimiento ocasiona una mayor atenuación que la ocasionada por la vegetación estática. La atenuación debida a árboles sin hojas se encuentra entre los 6 y los 8 dB en promedio. Cuando los árboles tienen hojas la atenuación incrementa notablemente hasta unos 10dB. Las señales con polarización horizontal son más afectadas por la vegetación que las polarizadas verticalmente.

- 12- **Atenuación debida a la absorción de oxígeno, vapor de agua y nubes** – En frecuencias mayores a los 10GHz, las ondas de radio son sujetas a la absorción molecular. Ésta puede determinarse con la Recomendación ITU-R P.676-3, 1990-7 “Atenuación debida a gases atmosféricos” y normalmente son pérdidas en el rango de entre 0.1 dB y 0.9 dB.



Ventajas y Desventajas

13- Desvanecimiento de frecuencias – Uno de los principales problemas de propagación en las bandas de frecuencia inferiores es el desvanecimiento por trayectorias múltiples. Este desvanecimiento aumenta significativamente al utilizar tasas de datos más altas aunque en las frecuencias de LMDS este efecto no es de consideración. Las frecuencias LMDS dependen de una línea de vista, lo que significa que la difracción y las zonas de sombra no ocurren tan frecuentemente como en las frecuencias menores. Los equipos receptores de los usuarios de los sistemas celulares y PCS generalmente se encuentran a unos 2 metros del piso mientras que los de LMDS se encuentran en lo alto de las azoteas de algunos edificios. La altura de estas antenas juega un papel muy importante en la reducción del efecto debido a las trayectorias múltiples. Las antenas LMDS son altamente direccionales (dirigidas hacia un solo sitio), mientras que las antenas celulares y PCS tienen patrones de radiación omnidireccional o sectorial. El utilizar antenas direccionales reduce los efectos por trayectorias múltiples.



Capítulo 4

Estado Actual de LMDS

Principales características de los equipos LMDS

Las principales características de los distintos equipos LMDS disponibles en la actualidad son las siguientes:

- Cobertura máxima de 5 kilómetros.
- Anchos de banda que van de los 64kbps hasta 622Mbps.
- Cumplimiento con los estándares de FCC, ETSI, ITU-T, ITU-R e IEEE.
- Compatibilidad con los planes mundiales de asignación de frecuencias para sistemas LMDS.
- Manejo de polarización horizontal, vertical o ambas.
- Alto desempeño bajo cualquier condición ambiental.
- Facilidad de administración y monitoreo de la red a través del protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol).
- Tasas de error de bit menores a 10^{-13} .
- Potencias de transmisión entre los 15dBm y los 26dBm.
- Redundancia de equipos para garantizar la continuidad de los servicios.
- Disponibilidad mayor a 99.995%.
- Asignación dinámica de ancho de banda.
- Seguridad mediante la encriptación de la información transmitida.
- Soporte de múltiples interfaces en los equipos de los usuarios: T1, E1, ISDN, X.21, POTS, 10Base-T, 100Base-T.
- Soporte de múltiples interfaces de red en las estaciones base: T1/E1, DS3/E3 hasta varios OC-3/STM-1.
- Antenas con ganancias de entre 19dBi y 36.6dBi.



Principales fabricantes de Equipo LMDS a nivel mundial

- Alcatel/ Newbridge Networks Corporation
- Andrew Corporation
- Centerpoint Broadband Technologies Inc
- Ceragon Networks Inc
- DMC Stratex Networks
- Endwave Corporation
- Ensemble Communications
- Ericsson
- Galleon Wireless Inc/ Belstar
- Harris Communications/ Wavtrace/ Alta Partners
- HarmonicaData Systems Ltd
- Hughes Network Systems
- Lucent Technologies/ Hewlett Packard
- mm-Tech Inc
- MM Radiolink Ltd
- Netro Corporation
- Nortel Networks Corporation
- P-Com Inc
- Provigent Inc
- Remec Magnum Incorporated
- Siemens
- Sierra Digital Communications
- SpectraPoint Wireless LLC
- Synoptel
- Telaxis Communications
- Triton Network Systems Inc
- VVYO
- Wavecom Electronics Inc
- Win Net
- Wytec

Nortel Networks anunció el 1° de octubre de 2001 que toda su línea de productos de acceso a Internet de banda ancha inalámbrica quedaba descontinuada, suspendiendo así su comercialización.

Red LMDS de Filipinas

En Filipinas, la Corporación Telefónica Filipina (PILTEL) ha demostrado que LMDS puede proveer servicios de datos a alta velocidad en forma muy confiable, incluso bajo condiciones ambientales extremas. Filipinas es un sitio de pruebas ideal para las redes inalámbricas debido al gran volumen de lluvia que se presenta en esa región. Durante las tormentas, la precipitación pluvial llega a alcanzar los 12.7 cm por hora, solamente las redes perfectamente diseñadas logran mantenerse en servicio bajo estas condiciones. PILTEL utiliza un sistema fabricado por Wytec Causeway, el cual emplea una sofisticada administración de la potencia y otras técnicas propietarias que le permiten evitar el desvanecimiento debido a la lluvia, que es el problema técnico más común en los sistemas LMDS. El sistema de



Waytec es capaz de ofrecer hasta 8 OC-3 por célula y las unidades de interfaz de la red de los usuarios (NIUs) cuentan con las siguientes interfaces: 8 líneas telefónicas convencionales, un enlace E1/T1 y una conexión 10/100 Ethernet.

Desafíos y tendencias de la industria

Uno de los principales desafíos que enfrentan los sistemas LMDS es el poder ofrecer una alta calidad de servicio, comparable con la que se ofrecen actualmente a través de sistemas de banda ancha que emplean cable módems o xDSL, en los cuales el canal de transmisión es estático y no sufre problemas de desvanecimiento. A pesar de que a través de LMDS se prestan servicios fijos, se deben evitar los problemas de desvanecimiento originados por la baja altura de las estaciones base y de las antenas de los usuarios, por la influencia de las condiciones ambientales (viento, lluvia, niebla, etc.), del tráfico y de la vegetación. Una posible solución planteada por la industria sugiere el uso de múltiples antenas en conjunto con OFDM.

OFDM

La multiplexión ortogonal por división de frecuencia (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es una nueva técnica de modulación y acceso múltiple diseñada para resolver los problemas ocasionados por múltiples trayectorias, es decir, la interferencia destructiva causada por ondas que se reflejan sobre diferentes superficies. La reflexión de una onda normalmente tiene la misma frecuencia que la original, esto significa que se pueden cancelar mutuamente o por lo menos generar una nueva señal indescifrable.

Funcionamiento

OFDM divide al espectro en un número igualmente espaciado de tonos, en los cuales se transporta una porción de la información de cada usuario.



Estado Actual de LMDS

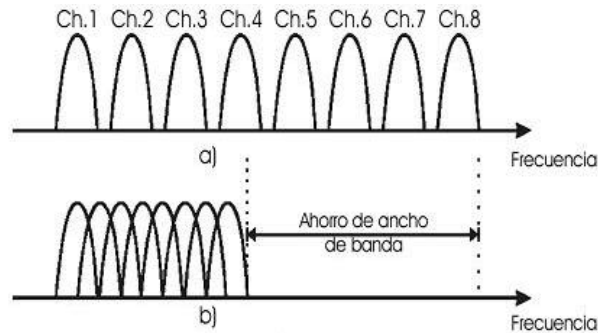


Fig. 1. a) Técnica Multiportadora convencional, b) Modulación con portadoras ortogonales

Un tono puede ser concebido como una frecuencia. Las ondas senoidales que componen a estos tonos tienen la característica especial de ser ortogonales entre sí, lo cual permite que se traslape el espectro de cada tono sin que se interfieran unos con otros, evitando de esta forma la interferencia debida a múltiples trayectorias. Al permitir que los tonos se superpongan, la cantidad total de espectro requerido se reduce. Ver Figura 1.

En términos absolutos, para generar un tono senoidal puro se requiere que la señal comience en un tiempo de menos infinito. Esto es importante porque los tonos son la única forma de onda que puede garantizar la ortogonalidad. Afortunadamente, la respuesta del canal puede ser tratada como finita debido a que los componentes de las múltiples trayectorias decrecen con el paso del tiempo y el canal está limitado en banda. Al agregar una guarda de tiempo, llamada prefijo cíclico, se puede lograr que el canal se comporte como si las formas de onda transmitidas partieran desde menos infinito, asegurando de esta forma la ortogonalidad, la cual previene que exista interferencia entre subportadoras.

El prefijo cíclico es una copia de la última porción del símbolo de datos, la cual es agregada al frente del símbolo durante el intervalo de guarda, como se muestra en la Figura 2. Las múltiples trayectorias ocasionan que los tonos y las réplicas arriben en el receptor con un retardo de esparcimiento. Esto ocasiona que exista una desalineación entre senoidales, las cuales deben ser alineadas. El prefijo cíclico permite que los tonos sean realineados en el receptor, consiguiendo de esta manera la ortogonalidad y eliminando la interferencia intersímbolo.



Estado Actual de LMDS

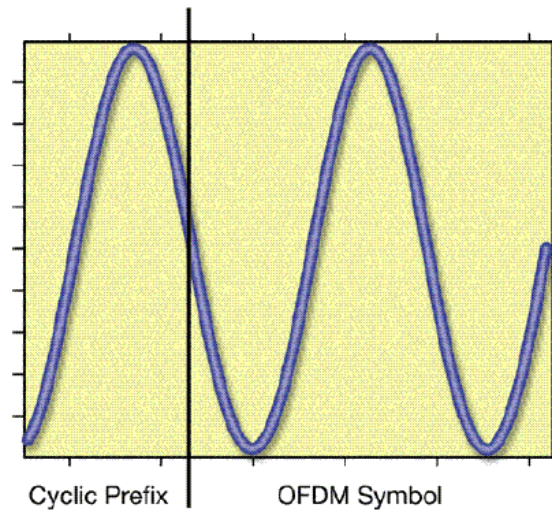


Fig 2. Prefijo Cíclico

La representación de tonos en el dominio de la frecuencia, mostrada en la siguiente figura, resalta la naturaleza ortogonal de los tonos utilizados en los sistemas OFDM.

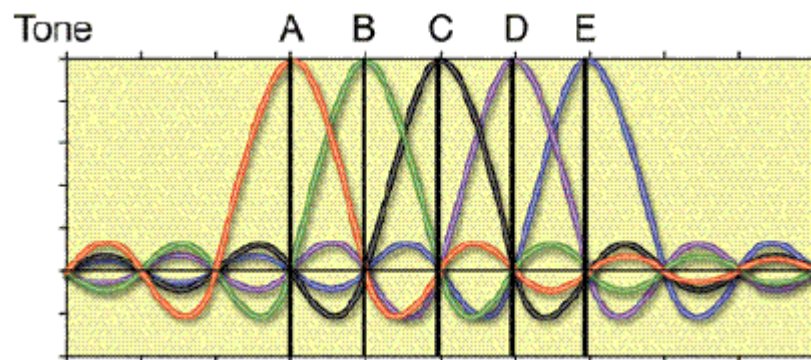


Fig 3. Tonos OFDM



Estado Actual de LMDS

Nótese en la figura que el pico de cada tono corresponde a un nivel de cero, o nulo, para los demás tonos. El resultado es que no existe interferencia entre tonos. Cuando el receptor muestrea a la frecuencia central de cada tono, la única energía presente es la de la señal deseada más cualquier otro tipo de ruido presente en el canal.

Para mantener la ortogonalidad entre tonos es necesario asegurar que el tiempo de símbolo contiene uno o varios ciclos de cada tono senoidal. Esto es un caso común, ya que el sistema es diseñado de tal forma que las frecuencias de los tonos son múltiplos enteros del periodo de símbolo, donde el espacio entre tonos es $1/T$. Visto como senoidales, la Figura 10 muestra tres tonos sobre un solo periodo de símbolo, donde cada tono tiene un número entero de ciclos durante el símbolo.

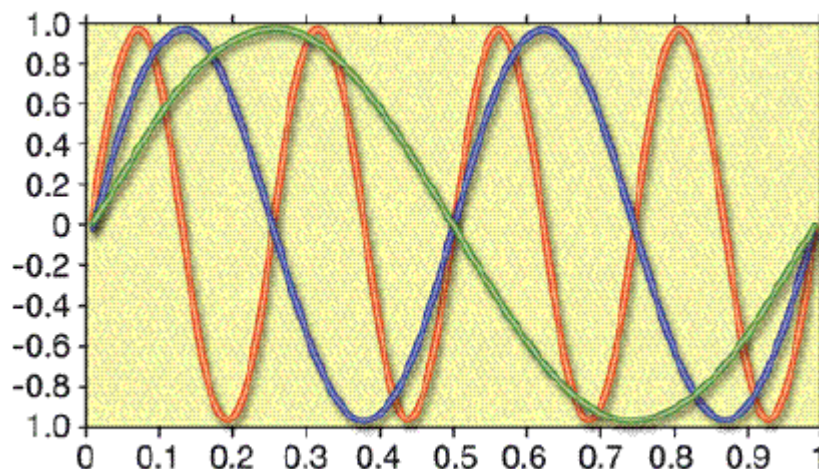


Fig 4. Número entero de periodos senoidales

En OFDM la información se modula dentro de cada tono ajustando la fase, la amplitud o ambas. En su forma más básica, un tono puede estar presente o no para indicar un uno o un cero. Sin embargo, para realizar la modulación, típicamente se utilizan el desplazamiento de fase (PSK) o la modulación por cuadratura de amplitud (QAM).

Un sistema OFDM toma un flujo de datos y lo divide en N flujos paralelos, cada uno a una tasa de $1/N$ de la tasa original. Cada flujo es mapeado en un tono a una frecuencia única y posteriormente es combinado utilizando la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) para producir la forma de onda que será transmitida en el dominio del tiempo.



Por ejemplo, si se utilizara un sistema de 100 tonos, un solo flujo de datos con una tasa de 1Mbps sería convertido en 100 flujos de 10kbps. Al crear flujos paralelos más lentos, el ancho de banda del símbolo de modulación se disminuye efectivamente por un factor de 100 ó, en forma equivalente, la duración del símbolo de modulación se incrementa por un factor de 100. Una selección adecuada de los parámetros del sistema, como el número de tonos y el espaciamiento entre ellos, puede reducir significativamente, o incluso eliminar, la interferencia intersímbolo (ISI), esto debido a que el retardo por esparcimiento, originado por las múltiples trayectorias, representa una porción mucho menor del tiempo de símbolo. Como resultado no se requieren complejos y costosos ecualizadores.

OFDM también puede considerarse como una técnica de acceso múltiple porque un tono o un grupo de tonos pueden ser asignados a distintos usuarios. Múltiples usuarios comparten el ancho de banda de esta manera, dando como resultado un sistema OFDMA. Las asignaciones de ancho de banda son controladas por la capa de acceso y control del medio (MAC), la cual programa la asignación de los recursos en base a la demanda.

Desventajas de OFDM

A continuación se mencionan algunos inconvenientes de los sistemas OFDM.

Prefijo cíclico

Un prefijo cíclico, de por lo menos la longitud de la respuesta del canal, debe ser adjuntado a cada símbolo OFDM para prevenir la interferencia intersímbolo. El prefijo cíclico representa un incremento importante en el encabezado y la única forma de mejorar la eficiencia (reducir la sobrecarga relativa) es incrementar el número de subportadoras.

Control de Frecuencia

OFDM depende de la ortogonalidad entre las subportadoras traslapadas, realizada por el control de frecuencia con un uno por ciento del espaciamiento de la subportadora. Los errores por desfase se traducen en subportadoras que no son ortogonales, resultando en interferencia interportadora y una degradación severa en el desempeño. Los sistemas OFDM son muy sensibles al desfase y al ruido de fase y por ello requerirán componentes de radio costosos. El gran número de subportadoras y el espaciamiento tan reducido entre frecuencias hace que la exactitud de frecuencia requerida sea crítica.



Latencia y procesamiento basado en bloques

El procesamiento de la Transformada Rápida de Fourier para OFDM es realizado en bloques de longitud f , donde f es como igual al número de subportadoras (n). Si se incrementa el número de subportadoras, la longitud del bloque FFT también se incrementa. El procesamiento de bloques impone una longitud mínima del bloque para cada paquete transmitido, resultando en retardos y pérdidas de eficiencia. La latencia en OFDM es alta debido a la pequeña ráfaga que puede ser enviada en un bloque OFDM.

En la Tabla 1 se muestra la latencia y el retardo en OFDM y SC (portadora única, Single Carrier) para un canal con un ancho de banda de 3.5 MHz, una tasa de símbolo de 2.5 MHz para el sistema SC. Un paquete ATM de 48 bytes (384 bits) es transmitido usando diferentes esquemas OFDM y SC, todos con constelaciones 16QAM. Típicamente, las subportadoras OFDM están divididas en bloques de 53 subportadoras (cada una puede llevar un paquete ATM), seguidas por algunas subportadoras para la banda de guarda. Por ejemplo, una celda OFDM de 512 subportadoras (de las cuales 425 contienen información útil) puede transmitir ocho celdas ATM. Sin embargo, el símbolo OFDM no puede ser transmitido hasta que esté completo. Esto significa que si solo una celda ATM está siendo enviada, entonces habrá un retardo efectivo igual a siete tramas ATM para $n = 512$.

| Esquema de Modulación | Número de portadoras (n) | Tasa de símbolos por portadora (kHz) | Longitud del bloque (símbolos) | Latencia (μ s) | Retardo (bits) |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------|
| OFDM | 128 | 19.5 | 128 | 51 | 128 |
| OFDM | 256 | 9.75 | 256 | 103 | 640 |
| OFDM | 512 | 4.88 | 512 | 205 | 1664 |
| OFDM | 1024 | 2.44 | 1024 | 410 | 3712 |
| CS | 1 | 2500 | 96 | 38 | 0 |

Tabla 1. Latencia para OFDM y CS

La transmisión de portadora única es muy eficiente debido a que la longitud del bloque puede reducirse para ajustarse a la trama de datos.

Sincronización

La sincronización para la transmisión OFDM es más complicada en comparación con los sistemas SC y típicamente requiere la recepción de varios símbolos OFDM, cada uno con determinado número de subportadoras dedicadas para tonos piloto.



Esto no lo hace factible para la transmisión punto a multipunto, (especialmente en el enlace de subida) debido a que se requerirán esquemas de sincronización más complicados.

Relación de potencia pico-promedio (PAPR)

Como el número de subportadoras es incrementado, la relación de potencia pico-promedio también se ve incrementada. La gráfica de la Figura 5 muestra la función de densidad acumulada (CDF, Cumulative Density Function) de PAPR para diferentes números de subportadoras n .

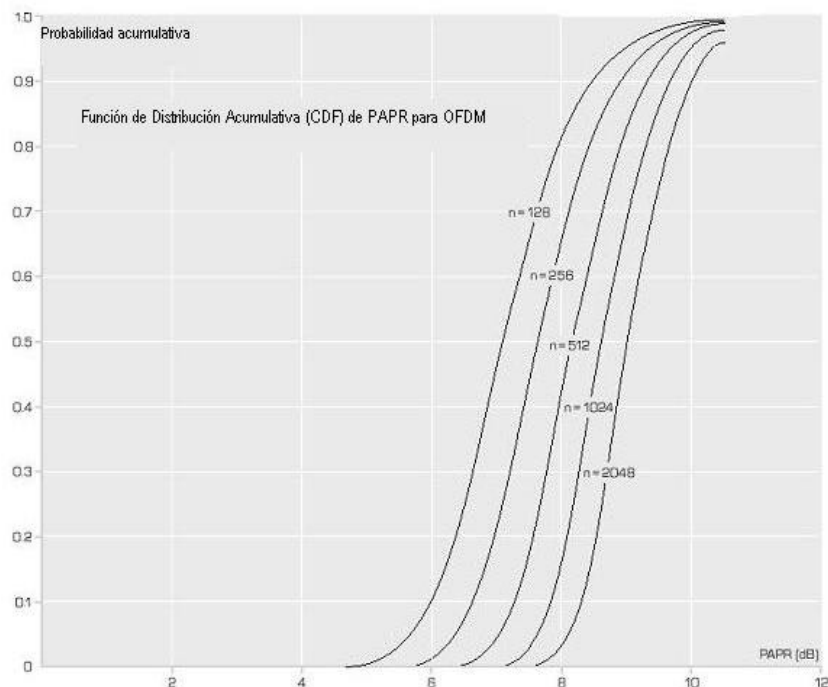


Figura 5. Función de Distribución acumulativa de PAPR para sistemas OFDM

Como se observa en el ejemplo, para OFDM con $n = 512$ subportadoras se tendrá el rango PAPR de 6-9 dB con un promedio de 8 dB.

Es posible reducir esta relación PAPR usando técnicas de codificación para evitar las secuencias de datos con picos altos, aunque esto reducirá la tasa de transmisión útil de datos. Comúnmente, los sistemas OFDM requerirán 4-5 dB más de potencia que un sistema SC.



Costo

Los sistemas OFDM tienen un costo más elevado que los sistemas SC debido a las especificaciones de radio para el control de frecuencia y los requerimientos de linealidad en el amplificador de potencia.

Rendimiento

Cuando la carga debida al prefijo cíclico, al código control-error y a la codificación para reducir la PAPR es considerable, los sistemas OFDM tienen un menor rendimiento que los sistemas SC. La mayor sobrecarga se debe al código control-error que usualmente tiene una tasa de 0.5

En resumen, los sistemas de portadora única (SC) proveen una solución robusta y flexible para las comunicaciones inalámbricas punto-a-multipunto. El tamaño del paquete puede ser ajustado, mejorando así la transmisión tanto para paquetes pequeños como grandes. SC evita el PAPR excesivo, así como los problemas por desfasamiento y ruido asociados con OFDM, permitiendo menores costos del equipo del usuario sin comprometer el desempeño.

OFDM no resulta viable para las comunicaciones punto-a-multipunto ya que el rendimiento del sistema se ve afectado por el uso obligado de la codificación para el control de error. El prefijo cíclico impone una carga adicional y el tamaño fijo del símbolo OFDM causa latencia para paquetes pequeños. La alta relación PAPR requiere de amplificadores lineales, lo que eleva considerablemente el costo de los amplificadores de potencia de los sistemas OFDM. Un costo extra se deberá a los componentes de radio requeridos para hacer frente a la sensibilidad al ruido y al desfasamiento, propiedades de OFDM.

Antenas Múltiples

El uso de antenas múltiples en el transmisor y en el receptor, en combinación con el procesamiento y codificación de las señales, promete proveer la transmisión de datos a altas velocidades mediante un acceso inalámbrico de alta calidad sobre canales propensos al desvanecimiento con la calidad de las transmisiones alámbricas. Nótese que en el caso de LMDS, a diferencia de las redes celulares, el uso de múltiples antenas es posible.

A continuación se mencionan las ventajas del uso de antena múltiples:

- Arreglo de ganancia: antenas múltiples pueden combinar coherentemente las señales para incrementar el valor C/N y mejorar la cobertura. La combinación coherente puede ser empleada tanto en el transmisor como en el receptor y



Estado Actual de LMDS

requiere del conocimiento del canal. Dado que es difícil obtener el conocimiento del canal en el transmisor, es probable que el arreglo de ganancia esté disponible en el receptor.

- **Diversidad en la ganancia:** La diversidad espacial, a través de múltiples antenas, puede ser utilizada para combatir el desvanecimiento y mejorar significativamente la confiabilidad del enlace. La diversidad de ganancia puede obtenerse tanto en el transmisor como en el receptor. Recientemente se han desarrollado códigos de espacio-tiempo que realizan la transmisión de la diversidad de ganancia sin conocer el canal en el transmisor.
- **Supresión de la interferencia:** Las antenas múltiples pueden ser usadas para suprimir el CCI y así incrementar la capacidad celular.
- **Ganancia por multicanalización:** El uso de antenas múltiples en el transmisor y el receptor permite abrir canales paralelos de datos en el mismo ancho de banda, conduciendo al incremento lineal (dependiendo del número de antenas) de la transferencia de datos.

En resumen, el uso de antenas múltiples en el transmisor y el receptor de la BTS y del CPE pueden mejorar la capacidad celular y la confiabilidad del sistema.



CAPÍTULO 5

LMDS en México

Antecedentes

Las telecomunicaciones son uno de los sectores más estratégicos para el desarrollo económico y social de nuestro país. A finales de los años 80s, la incapacidad del monopolio estatal de telefonía (Teléfonos de México, Telmex) para proveer servicios en forma eficiente y con calidad a la población, la intensa competencia en la economía internacional y el ineficiente manejo del sistema nacional satelital detonaron la apertura del sector de las telecomunicaciones en México.

El proceso de privatización de Telmex comenzó en 1987 y terminó en 1994 cuando el gobierno federal se deshizo por completo de su participación en Telmex. La ahora empresa privada, Telmex, contó con 3 años libres de competencia para modernizar y expandir su red.

Los monopolios ejercidos por Teléfonos de México en materia de telefonía de larga distancia y telefonía local terminaron en 1997 y 1999 respectivamente con la entrada de varias compañías transnacionales. La entrada de la competencia en el sector telecomunicaciones de México se tradujo en diversos beneficios para el país y su población, por ejemplo, el número de líneas telefónicas instaladas casi se ha triplicado de 1990 a la fecha, los precios de los servicios se han reducido y la calidad de los mismos ha incrementado, se han generado miles de nuevos empleos y la participación del sector en la economía nacional cada vez es mayor. A pesar de esto, México tiene mucho trabajo por realizar en materia de telecomunicaciones para estar a la par de sus principales socios comerciales.

Panorama de las telecomunicaciones en México

Los principales servicios de telecomunicaciones que se prestan en México son los siguientes:

- Telefonía básica local (alámbrica o inalámbrica)



LMDS en México

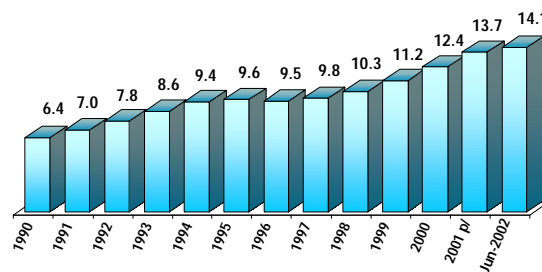
- Telefonía de larga distancia
- Telefonía celular
- Telefonía pública
- Televisión y audio restringidos (por cable, microondas o vía satélite)
- Radiolocalización móvil de personas
- Provisión de enlaces
- Provisión de capacidad
- Radiolocalización y recuperación de vehículos
- Servicios de comunicación personal de banda angosta
- Servicio de radiocomunicación móvil terrestre
- Transmisión de datos
- Trunking
- Videoconferencia
- Servicios vía satélite
- Servicios de valor agregado

Las siguientes estadísticas nos muestran el avance que han tenido hasta la fecha algunos de los principales servicios de telecomunicaciones que se prestan a la población en general en nuestro país.

LÍNEAS EN SERVICIO
1990-2002

| AÑO | MILES DE LÍNEAS |
|-----------------|-----------------|
| 1990 | 5,352.8 |
| 1991 | 6,024.7 |
| 1992 | 6,753.7 |
| 1993 | 7,620.9 |
| 1994 | 8,492.5 |
| 1995 | 8,801.0 |
| 1996 | 8,826.1 |
| 1997 | 9,253.7 |
| 1998 | 9,926.9 |
| 1999 | 10,927.4 |
| 2000 | 12,331.7 |
| 2001 p/ | 13,774.1 |
| SEPTIEMBRE-2002 | 14,622.0 |

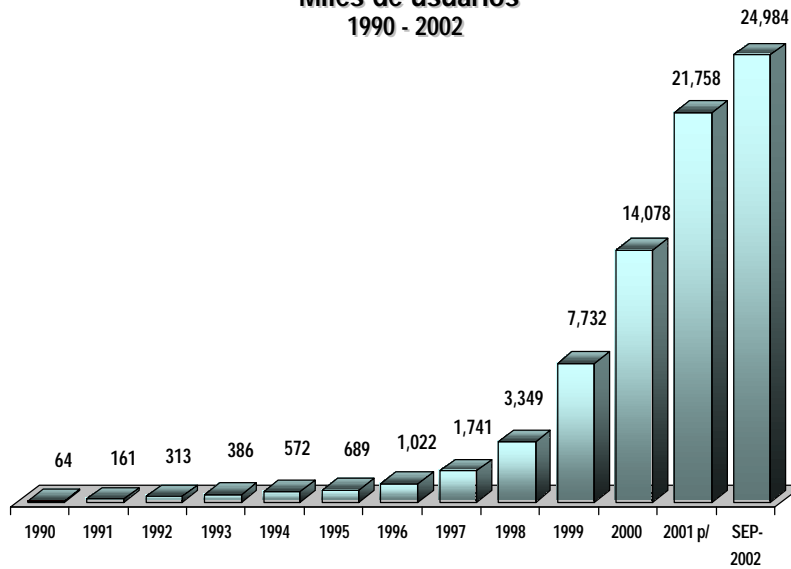
DENSIDAD TELEFÓNICA
LÍNEAS EN SERVICIO POR CADA CIENTO HABITANTES
1990-2002



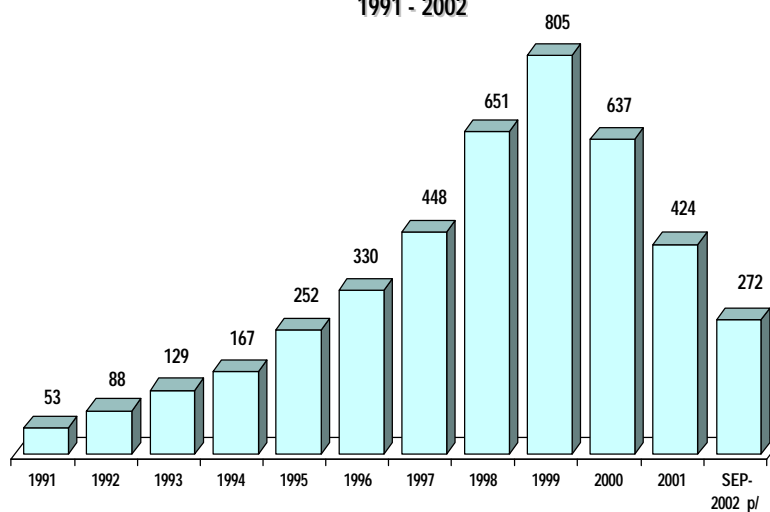


LMDS en México

TELEFONÍA MÓVIL
Miles de usuarios
1990 - 2002



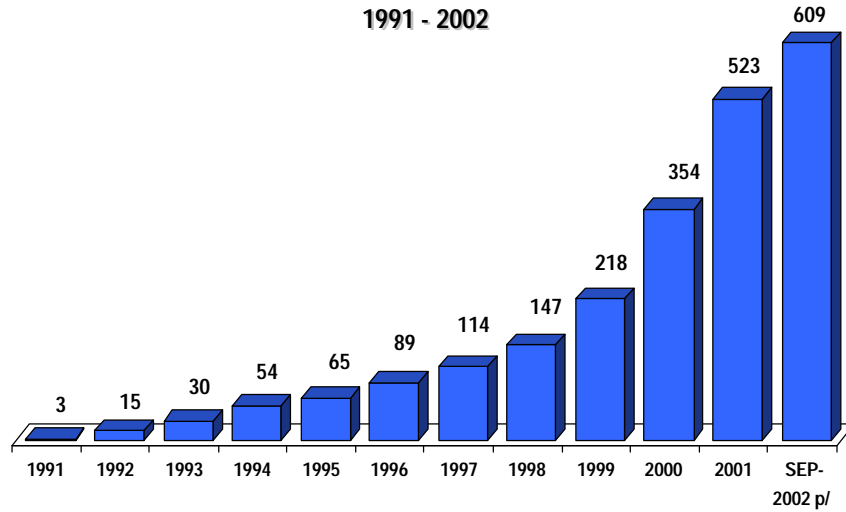
USUARIOS DE RADIOLOCALIZACIÓN MÓVIL DE PERSONAS
-MILES-
1991 - 2002



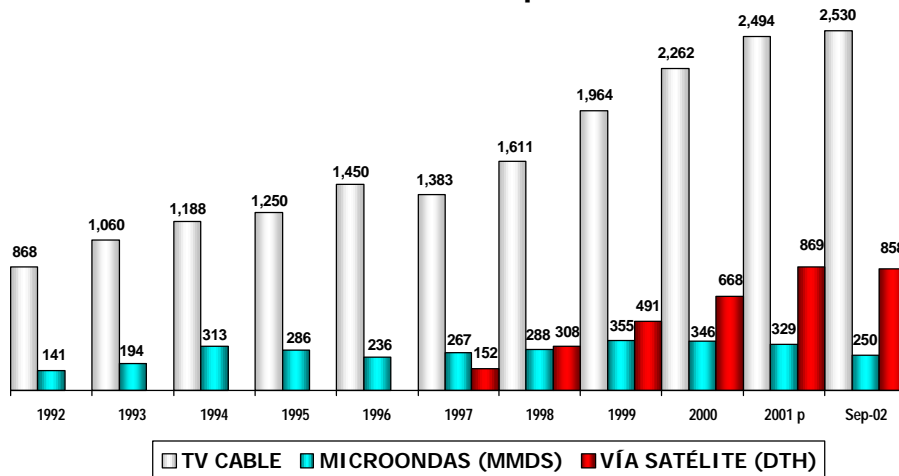


LMDS en México

USUARIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN ESPECIALIZADA DE FLOTILLAS -MILES- 1991 - 2002



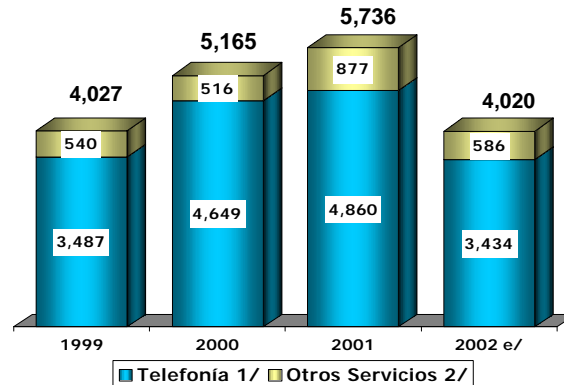
TELEVISIÓN RESTRINGIDA Miles de suscriptores





LMDS en México

INVERSIONES EN LA INDUSTRIA DE TELECOMUNICACIONES
Millones de dólares



Usuarios de Internet

México aún no ha publicado una cifra oficial del número de usuarios de Internet para el año 2002, pero se estima que esta cifra es de alrededor de 6 millones de usuarios.

Como se puede observar, la situación actual de las telecomunicaciones en nuestro país plantea grandes retos para el gobierno y grandes oportunidades de negocio para los operadores de servicios de telecomunicaciones. Los servicios LMDS podrían representar grandes beneficios para el sector ya que existiría una mayor competencia en el mercado, habrían mayores opciones tecnológicas y se podría elevar el nivel de teledensidad del país.

Proceso de licitación de LMDS en México

La primera consulta formal realizada, durante los meses de noviembre y diciembre de 1999, por la Comisión Federal de Telecomunicaciones tuvo como objetivo el conocer el interés del sector en la licitación de las bandas para LMDS así como la disponibilidad del equipo para operar en los rangos de frecuencias entre 28 y 31 GHz. En esta consulta se determinó que la mayoría de las empresas contaban con equipos disponibles para operar con la tecnología LMDS



LMDS en México



y que las bandas de 28 y 31GHz eran las más apropiadas para licitar. El ancho de banda de los bloques a licitar sería determinado por la demanda de equipo en el mercado y la rentabilidad esperada. Se presentaron 3 propuestas para la segmentación de las bandas:

| Opción A | Opción B | Opción C |
|---|--|--|
| Concesión 1: 1150 MHz 27.5-28.35 GHz 29.1-29.25 GHz 31.075-31.225 GHz | Concesión 1: 300 MHz 27.5-27.65 GHz 27.99-28.14 GHz | Concesión 1: 850 MHz 27.5-28.35 GHz |
| Concesión 2: 150 MHz 31.0-31.075 GHz 31.225-31.3 GHz | Concesión 2: 300 MHz 27.65-27.8 GHz 28.14-28.29 GHz | Concesión 2: 300 MHz 29.1-29.25 GHz 31.075-31.225 GHz |
| | Concesión 3: 300 MHz 29.1-29.25 GHz 31.075-31.225 GHz | Concesión 3: 150 MHz 31.0-31.075 GHz 31.225-31.3 GHz |

La segunda consulta formal estuvo basada en las opiniones y puntos de vista de los principales proveedores, operadores, inversionistas, consultores, etc. respecto a la oportunidad, conveniencia y modalidad para llevar a cabo la licitación de frecuencias para LMDS y para pronunciarse sobre las tres diferentes propuestas de segmentación. Después de analizar las opiniones y comentarios vertidos, el Pleno de la Cofetel aprobó una segmentación tentativa de dos bloques de 575 MHz y un tercero de 150 MHz que quedaría como reserva.



LMDS en México



Posteriormente la propuesta fue enviada a la Subsecretaría de Comunicaciones para que se adicionara formalmente al programa de licitaciones del año 2000.

La sección III de la Canieti envió un escrito a la SCT en el que se indicaba que las empresas proveedoras de equipo de telecomunicaciones, afiliadas a esa Cámara, no estaban de acuerdo con la decisión de la Cofetel argumentando que ninguna de las empresas afiliadas contaba con equipo disponible para operar los servicios de LMDS con la segmentación propuesta, además de que los concesionarios de bandas punto a punto y punto a multipunto no han podido recuperar su inversión, estando en desventaja, por lo que solicitaron que se organizara un foro de discusión sobre el tema.

En este foro los principales fabricantes y operadores acordaron posponer la subasta y crear un nuevo foro abierto virtual.

Las principales peticiones de los operadores y proveedores de equipo fueron:

- Otorgar concesiones por regiones.
- Que no exista una canalización obligatoria.
- Que se excluya de la licitación al operador dominante.
- Que se licite el mayor número de bloques posible.
- Que se garantice la existencia de por lo menos tres proveedores de equipo con la posibilidad de realizar la entrega inmediata de los mismos.
- Que la licitación se realice a la brevedad posible.

Este foro abierto se llevó a cabo del 8 de mayo al 14 de julio de 2000. Finalmente, se decidió por mayoría de opinión que se realizara la licitación y que la segmentación fuera la siguiente: dos bloques de 425MHz, uno de 150MHz y uno más de 300MHz, siendo esta propuesta acorde con la presentada por la sección III de la CANIETI. (ver tabla)

| Concesionario A | Concesionario B | Concesionario C | Reserva |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Bloque: 425 MHz | Bloque: 425 MHz | Bloque: 150 MHz | Bloque: 300 MHz |
| 27.5 - 27.7125 GHz | 27.7125 – 27.95 GHz | 31.0 – 31.075 GHz | 29.1 – 29.25 GHz |
| 27.925 – 28.1375 GHz | 28.1375 – 28.35 GHz | 31.225 – 31.3 GHz | 31.075 – 31.225 GHz |



LMDS en México

Actualmente, el proceso de licitación de estas bandas se encuentra suspendido. De hecho, el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 publicado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes no contempla una próxima subasta para estas frecuencias además, el grupo de trabajo creado para atender este tema no ha tenido actividad desde hace ya más de dos años. Se prevee que en el año 2003 se realizará otra consulta para determinar si aún existe interés por parte del sector para que se realice la licitación de estas bandas.

La experiencia de otros países al implementar nuevas tecnologías es de gran importancia, ya que nos permitirá tomar mejores decisiones en cuanto a tecnologías, mercados y políticas regulatorias.

LMDS en EU

En los Estados Unidos las subastas de concesiones, organizadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission, FCC), para explotar las frecuencias destinadas a los servicios locales de distribución multipunto (LMDS) fueron realizadas en dos etapas. La primera comenzó el 18 de febrero de 1998 y terminó el 25 de marzo del mismo año. La segunda se llevó a cabo entre el 27 de abril y el 12 de mayo de 1999.

La razón por la cual se realizaron las subastas en dos etapas fue que la primera no tuvo el éxito esperado y fue esta la segunda etapa que se lograron vender todas las concesiones.

Para la subasta se dividió el territorio de los Estados Unidos en 493 Áreas Básicas de Servicio, cada una de las cuales contaría con dos concesiones, una para el bloque A y otra para el bloque B:

| Bloque A | Bloque B |
|---|--|
| 27.500 a 28.350 GHz 29.100 a 29.250 GHz 31.075 a 31.225 GHz | 31.000 a 31.075 GHz 31.225 a 31.300 GHz |
| Total: 1,150 MHz | Total: 150 MHz |

La subasta tuvo dos características muy importantes. La primera fue que las frecuencias destinadas a LMDS no tienen un uso determinado, pueden utilizarse



LMDS en México



para prestar todo tipo de servicio de telecomunicaciones. La segunda fue la restricción que prohibía a todos los operadores telefónicos y de televisión por cable obtener concesiones para el uso de estas frecuencias (dentro de sus zonas de cobertura) por un periodo de tres años, el cual concluyó el 30 de junio de 2000.

El monto que un participante decide colocar en una concesión para explotar las bandas de LMDS está basado en las ganancias que se estima obtener de la concesión. Para el caso de un operador con poder sustancial dentro de su área de cobertura, este monto aumentará dependiendo de las pérdidas que se tendrían al no obtener la concesión. Como consecuencia de esto, la restricción antes mencionada impide que los ILECs ganen las subastas, fomenta la competencia mediante la entrada de nuevos operadores y brinda mayores beneficios a todos los usuarios. A pesar de estos beneficios, esta restricción fue muy criticada ya que impedía que los operadores que contaban con los suficientes recursos técnicos y financieros pudieran expandirse hacia otros nuevos mercados y ofrecieran una gama más amplia de servicios, además de que la disponibilidad de otras tecnologías inalámbricas fijas hacía casi imposible que un operador monopolizara el mercado.

El levantamiento de la restricción el 30 de junio de 2000 llegó demasiado tarde. Actualmente, la viabilidad de LMDS en los Estados Unidos es muy cuestionable, el servicio no ha sido provisto en forma masiva por las siguientes razones:

- a) El mercado de las telecomunicaciones no ha aceptado a LMDS como una tecnología crítica.
- b) Como los grandes operadores fueron excluidos de la subasta, los grandes fabricantes de equipo no destinaron suficientes recursos para el desarrollo de los equipos LMDS, encareciendo los costos de infraestructura.
- c) Hay una gran desconfianza en cuanto a la confiabilidad de los enlaces en caso de existir malas condiciones atmosféricas.
- d) LMDS es más adecuado para servir a grandes negocios y áreas urbanas densamente pobladas, las cuales ya son atendidas por otras tecnologías de banda ancha.
- e) LMDS no ofrece servicios nuevos.

Además de todo esto, tres de los principales ganadores de concesiones LMDS (Adelphia Business Communications, Winstar Communications y Teligent) se han



LMDS en México



declarado en banca rota. Estas compañías se endeudaron excesivamente con la finalidad de instalar rápidamente sus redes, desafortunadamente el mercado no respondió. XO Communications, compañía que posee la mayor cantidad de concesiones para explotar LMDS, lucha por no seguir el mismo camino que sus competidores. Aún no queda claro si la falla en la provisión de servicios LMDS es resultado del mercado de las telecomunicaciones o de una política regulatoria restrictiva.

Estimación de costos de LMDS para México

Utilicemos los resultados de las subastas para PCS, realizadas en México y en Estados Unidos en 1998, para obtener un factor de comparación EU/México.

| | México | Estados Unidos |
|--------------------------------------|---------------|----------------|
| Población (1998) | 91,120,433 | 248,283,296 |
| MHz subastados | 120 | 120 |
| Posturas (\$USD) | 487,431,973 | 7,034,240,010 |
| Precio por MHz por habitante (\$USD) | \$0.044578 | \$0.236096 |
| Factor de comparación EU/México | 5.2963 | |

Tomando en cuenta las ganancias totales de la subasta de LMDS realizada entre el 18 de febrero y el 25 de marzo de 1998 tenemos:

Ganancia neta(\$USD): \$578,749,385
Población: 248,283,296 habitantes
MHz subastados: 1300 MHz

El precio por habitante por MHz fue de USD\$0.001793



LMDS en México

Con este valor y el factor de comparación EU/México obtenido anteriormente obtenemos el precio por habitante por MHz en México:

$$\text{Valor del índice ajustado para México} = \text{USD}\$0.001793/5.2963 = \text{USD}\$0.0003385$$

$$\text{Precio estimado} = \text{Población} * \text{valor del índice ajustado para México} * \text{MHz subastados}$$

| Región | Población | MHz subastados | Precio Estimado (\$USD) |
|--------|------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 2,616,350 | 1000 | 885,634.475 |
| 2 | 4,375,593 | 1000 | 1,481,138.23 |
| 3 | 4,978,464 | 1000 | 1,685,210.064 |
| 4 | 7,493,285 | 1000 | 2,536,476.9725 |
| 5 | 8,256,749 | 1000 | 2,794,909.5365 |
| 6 | 10,934,908 | 1000 | 3,701,466.358 |
| 7 | 10,339,977 | 1000 | 3,500,082.2145 |
| 8 | 18,382,181 | 1000 | 6,222,368.2685 |
| 9 | 23,742,926 | 1000 | 8,036,980.451 |

Asignación de frecuencias LMDS en otros países del mundo (GHz)

| País | Frecuencias asignadas |
|---------------|---|
| Canadá | 25.35 – 28.35 (espectro total asignado al servicio) 27.35 – 28.35 (actualmente en uso) |
| Corea | 25.5 – 27.5 (sentido descendente) 24.25 – 24.75 (sentido ascendente) |
| Europa | 40.5 – 42.5 |
| Nueva Zelanda | 25.25 – 31.30 |
| España | 28.25 – 28.75 (sentido descendente) 30.85 – 31.15 (sentido ascendente) |



Tecnologías que competirán con LMDS por el mercado de banda ancha

Existen básicamente dos grupos de tecnologías para el acceso fijo de banda ancha: alámbricas e inalámbricas.

A continuación se describen las características más importantes de ellas:

Tecnologías Alámbricas

XDSL

xDSL es el término utilizado para describir varios tipos de tecnologías de línea digital de suscriptor. Cada una de estas variantes tienen la misma premisa: convertir a la línea de acceso, el par de cobre, en una línea para datos de alta velocidad permitiendo que se ofrezcan una serie de nuevos servicios con la infraestructura existente. La tecnología DSL involucra distintos métodos de modulación que mejoran el throughput de datos de las existentes líneas de acceso en el bucle local.

La elección del tipo de tecnología DSL a utilizar depende totalmente de la aplicación o del servicio que se desee proporcionar (ver tabla).

| Tecnología | Velocidad al usuario (Mbps) | Velocidad hacia la red (Mbps) | Distancia (km) | # pares utilizados |
|------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| HDSL | 2 Mbps | 2Mbps | 5.5km | 1,2,3 |
| SDSL | 128kbps-2Mbps | 128kbps-2Mbps | 5.5km | 1 |
| ADSL | 1.5Mbps-9Mbps | 64kbps-640kbps | 1.8km-5.5km | 1 |
| RADSL | 1Mbps-12Mbps | 128kbps-1Mbps | 1.8km-5.5km | 1 |
| VDSL | 13Mbps 26Mbps 51Mbps | 13Mbps 26Mbps 51Mbps | 1300m 900m 300m | 1 |

Tabla. xDSL



Powerline Communications

Es una nueva tecnología que aprovecha la red de alimentación eléctrica para proveer servicios de voz, datos y video de alta velocidad.

| Máximo ancho de banda por usuario (MHz) | Velocidad (Mbps) | | Distancia máxima (m) |
|---|------------------|--------|----------------------|
| | Máxima | Mínima | |
| 2.4 | 1.5 | 0.75 | 250 |
| 4.8 | 3000 | 1.5 | 180 |
| 8.4 | 4.5 | 2.25 | 100 |
| 10.8 | 4.5 | 2.25 | 100 |

ISDN

La red digital de servicios integrados es una red propuesta y diseñada por las principales compañías telefónicas en conjunto con la CCITT, con la intención de integrar servicios de voz, datos, video y fax en una misma red.

Velocidades de transmisión (ISDN):

Desde 64kbps hasta 1920kbps

Velocidades de transmisión (BISDN):

Desde 32.768Mbps hasta 138.24Mbps

Redes híbridas de fibra óptica y cable coaxial (HFC)

En una red HFC el centro de recepción y control recibe señales de televisión, paquetes de Internet y telefonía y las envía a través de anillos de fibra óptica hasta los centros de distribución. Los centros de distribución se encargan de transmitir estas señales hasta los nodos ubicados cerca de zonas residenciales y comerciales. Los nodos convierten las señales ópticas en señales eléctricas y las distribuyen a través de los cables coaxiales hasta los hogares y negocios de los clientes donde las unidades de interfaz de red entregan las señales a los dispositivos terminales (televisión, computadora, teléfono).

Velocidades de transmisión:

Sentido descendente: 27/38 Mbps (64QAM/256QAM)

Sentido ascendente: 5.12/10.24 Mbps (QPSK/16QAM)



Tecnologías Inalámbricas

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)

Es un servicio de radiodifusión (broadcast) y comunicaciones que opera en la porción de frecuencias ultra altas (UHF) del espectro radioeléctrico entre los 2.1 y 2.7 GHz. Su principal aplicación son los servicios de televisión y audio restringidos aunque actualmente se ha encontrado que tiene un gran potencial para la provisión de servicios bidireccionales como la transmisión de datos, acceso a Internet de alta velocidad, telefonía fija y fax.

- Alcance típico: radio de 50 kilómetros.
- Ancho de banda disponible para el servicio: 200 MHz
- Velocidad de transmisión datos: de 128 kbps hasta 10Mbps.

Sistemas Ópticos Inalámbricos

Estos sistemas están compuestos por lasers infrarrojos de baja potencia que transportan datos por medio de la luz a través del espacio libre. Es indispensable contar con línea de vista entre el transmisor y el receptor.

- Arquitectura: punto a punto, punto a multipunto y de malla.
- Alcance: punto a punto, de 2 a 4 km; punto a multipunto, de 1 a 2 km;
- malla, de 200 a 450 metros.
- Velocidad de transmisión de datos: punto a punto y punto a multipunto, de 155 Mbps hasta 10 Gbps; malla, 622 Mbps.
- Frecuencias de operación: 700 – 1550 nm

Servicios satelitales de banda ancha

Los servicios satelitales de banda ancha son proporcionados por una red regional de satélites geoestacionarios que operan en la banda Ka del espectro radioeléctrico.

Velocidades de transmisión:

Sentido descendente: hasta 300 Mbps.

Sentido ascendente: de 16 kbps hasta 16 Mbps.



Conclusiones

Por otra parte, México tiene frente de sí un gran La industria de las telecomunicaciones está pasando por una fuerte crisis, generada principalmente por la actual recesión económica mundial. En México, esta situación ha ocasionado que las inversiones en el sector de las telecomunicaciones pasaran de 5,736 millones de dólares durante el año 2001 a 4,020 millones de dólares en el 2002, esto es una reducción del 30 por ciento en un solo año. Aunada a esta difícil situación económica (la cual es poco probable que mejore en un corto plazo), se encuentra una gran incertidumbre jurídica generada por la falta de una nueva Ley Federal de Telecomunicaciones que contemple nuevas tecnologías y servicios, que fomente la sana competencia, la inversión y la cobertura social.

reto: la teledensidad, que es el principal indicador de la situación que guardan las telecomunicaciones en nuestro país y que representa el número de líneas telefónicas en servicio por cada 100 habitantes, a junio de 2002, es de 15 (14.622). Esta situación representa una gran oportunidad de negocios para los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones, ya que existe un amplio mercado que aún no ha sido atendido y que requiere contar con los servicios básicos. Tanto el gobierno como la iniciativa privada deben trabajar arduamente para lograr que la teledensidad alcance, por lo menos, los niveles con que cuentan países con economías similares a la nuestra como lo son, por ejemplo, Brasil (22.2), Argentina (22) o Chile (24.1). Los sistemas LMDS, con su gran ancho de banda, relativa facilidad y rapidez de instalación y acceso directo al usuario podrían convertirse en un importante detonante de la teledensidad en nuestro país. Esto siempre y cuando las políticas regulatorias y los proyectos de instalación, operación y explotación de los servicios sean adecuados y estén cuidadosamente planeados.

El futuro de LMDS en México es incierto. En un principio, la licitación se retrasó porque se deseaba que la tecnología madurara lo suficiente y que los equipos estuvieran completamente probados y que tuvieran una disponibilidad inmediata, de tal forma que se eviten experiencias pasadas en las cuales, una vez licitadas las frecuencias, los fabricantes de equipo no cumplían con la entrega puntual de los equipos, retrasando de esta forma los proyectos y ocasionando fuertes pérdidas a los concesionarios.

Actualmente los principales factores que han detenido la licitación de las bandas LMDS son:



Conclusiones

1- La recesión económica mundial ha obligado a todas las empresas de telecomunicaciones a recortar significativamente su plantilla laboral y a suspender diversos proyectos por tiempo indefinido. La gran necesidad de los operadores por contar con una mayor cantidad de espectro radioeléctrico, podría ocasionar que estas frecuencias alcancen precios demasiado altos, generándole a las empresas un mayor endeudamiento, que afectaría la operación de sus actuales servicios y pondría en peligro su rentabilidad.

2- La quiebra de la gran mayoría de los operadores de sistemas LMDS en los Estados Unidos obligó a que varios de los principales fabricantes de equipos para LMDS disminuyeran su producción o la cesaran en forma definitiva por considerarla económicamente inviable. Esto ha ocasionado que los precios de los equipos sean elevados y no puedan estar al alcance del mercado residencial.

3- A pesar de que existen casos de éxito de los sistemas LMDS en países con altos niveles de precipitación pluvial, como es el caso de Filipinas, existe desconfianza en cuanto al desempeño y la confiabilidad que pudieran tener estos sistemas en algunas regiones de nuestro país.

Si el gobierno de México y los principales representantes de la industria de las telecomunicaciones deciden llevar a cabo la licitación de las bandas de frecuencia para LMDS, consideramos necesario que se tomen en consideración los siguientes puntos:

1- Todos los interesados en participar en la subasta de frecuencias para los servicios LMDS deben definir perfectamente sus planes de negocios, de tal forma que puedan cumplir con todos sus compromisos. En diversas ocasiones se ha cometido el grave error de subestimar la barrera para entrar al mercado, lo cual ha llevado a muchos operadores al borde de la banca rota. Debido a que a través de los sistemas LMDS se pueden ofrecer una amplia gama de servicios, es fácil cometer el error de querer convertirse en un proveedor de servicios "todo en uno". Se deben ignorar las tendencias o "modas" tecnológicas y proceder con cautela, uno de los más grandes retos que enfrentarán los futuros concesionarios será escoger el equipo y la tecnología más adecuada a sus necesidades. Otro problema relacionado con esta situación es que los fabricantes de equipo no saben con certeza para qué servicio será destinado el equipo que deben producir por lo que tardarán más tiempo en lanzarlo al mercado. Lo preferible, en un principio, será enfocarse en un solo servicio y una vez que se tenga bien caracterizado, considerar la posibilidad de ofrecer nuevos servicios.

2- Con la finalidad de que los servicios LMDS sean prestados en todo el territorio nacional, las frecuencias deberían de ser licitadas por regiones. Dando la



Conclusiones

libertad al concesionario de ceder a pequeños operadores algunas zonas de la región que no resultaran atractivas para ser explotadas en forma inmediata. En este caso se sugiere emplear las nueve regiones en que se dividió al país para la prestación de servicios personales de comunicación (PCS).

3- Al comparar las propuestas de segmentación de bandas de frecuencia para los servicios LMDS podemos observar que la más conveniente para el país es la siguiente:

| Concesionario A | Concesionario B | Concesionario C | Reserva |
|--|--|--|---|
| Bloque: 425 MHz 27.5 - 27.7125 GHz 27.925 - 28.1375 GHz | Bloque: 425 MHz 27.7125 - 27.95 GHz 28.1375 - 28.35 GHz | Bloque: 150 MHz 31.0 - 31.075 GHz 31.225 - 31.3 GHz | Bloque: 300 MHz 29.1 - 29.25 GHz 31.075 - 31.225 GHz |

Esta segmentación fomenta la competencia en el sector al permitir la entrada de tres operadores, dos de los cuales contarán con un ancho de banda bastante amplio (425MHz) y un tercero que tendrá un ancho de banda menor (150MHz), el cual podría servir para atender áreas con una menor demanda de servicio. El bloque de reserva podría ser asignado en segmentos de 25MHz, siempre y cuando la demanda de la red del concesionario justifique este incremento de capacidad, dándole prioridad al operador con menor ancho de banda.

4- Se debe de garantizar la existencia de por lo menos tres proveedores de equipo, los cuales deberán de estar en la posibilidad de entregar los equipos en forma inmediata. Considerando que la segmentación de bandas destinadas a servicios LMDS en nuestro país será muy distinta a las que han adoptado los Estados Unidos y Canadá, los fabricantes tendrán que realizar, con la debida anticipación, los ajustes correspondientes a sus equipos. En caso de que el proveedor seleccionado no cumpla con la disponibilidad y con los plazos de entrega pactados, éstos deberán de ser acreedores a fuertes sanciones económicas.



Conclusiones

5- La licitación no debe realizarse con fines de especulación. Como se mencionó anteriormente LMDS podría ser un detonante de la teledensidad en México, razón por la cual se debe fijar un plazo corto, pero razonable, para que los concesionarios inicien operaciones.

6- El concesionario podría contar con total libertad para implementar el tipo de canalización que más se adapte a sus necesidades y a sus tecnologías.

7- Sugerimos excluir de la licitación al operador dominante, lo anterior con el objeto de crear un equilibrio entre su infraestructura de acceso y la de sus competidores.

8- El gobierno debe fijar compromisos mínimos de cobertura, con carácter social, que permitan que las poblaciones más necesitadas cuenten con servicios básicos de telecomunicaciones. Los concesionarios deben de entender que las principales ciudades de México (Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey) se encuentran saturadas de ofertas de servicios, por lo que tendrán que fijar sus objetivos hacia otras ciudades que no cuenten con una infraestructura tan amplia. El gobierno debe también de crear políticas que promuevan y fomenten la implementación de servicios de banda ancha porque gracias a éstos se podrá mejorar considerablemente el nivel de vida de los mexicanos, ya que a través de ellos se pueden prestar servicios como la tele educación, telesalud, teletrabajo, e-gobierno, etc.

9- El crecimiento de LMDS dependerá básicamente del precio al que se puedan ofrecer sus servicios y de su desempeño al compararse con otras tecnologías existentes en la misma área que se desee atender. Por ejemplo, si una zona proyectada cuenta con infraestructura de fibra óptica instalada es casi seguro que los posibles clientes no opten por contratar servicios mediante LMDS. De hecho, LMDS funcionará como una tecnología emergente, por lo tanto tendrá éxito en zonas que no cuenten con servicios de banda ancha pero se verá obligada a ir migrando conforme avance la oferta de servicios a través de fibra óptica en el territorio nacional. Aunque cabe mencionar que toda vez que la demanda por un mayor ancho de banda continúe aumentando, siempre habrá suficiente mercado para los operadores.



Conclusiones

10- Han pasado ya algunos años desde que se consideró la posibilidad de implementar servicios LMDS en nuestro país y a la fecha no se ha tomado una decisión definitiva. De no realizarse la licitación de frecuencias para LMDS en un corto plazo, surgirán nuevas tecnologías que proveerán los mismos servicios en forma más eficiente y económica, de tal forma que el potencial que algún día tuvo LMDS se verá totalmente desperdiciado.

A partir de la investigación realizada para la creación de este trabajo, concluimos que no es conveniente que se lleve a cabo la licitación de frecuencias para servicios LMDS en México por la siguiente razón: El mayor beneficio que podría aportar LMDS a nuestro país es el otorgarle la posibilidad a los actuales operadores que compiten contra Telmex de crear, en forma rápida y sencilla, una red de acceso de banda ancha con tecnología de punta que atendería las necesidades de comunicación de la población. Desafortunadamente, debido a la actual situación económica por la que pasa nuestro país y a que el mercado residencial representa una inversión de muy alto riesgo, lo más probable será que LMDS sea enfocado hacia las medianas y grandes empresas, muchas de las cuales ya son atendidas por otras tecnologías. De esta forma, el gran potencial de LMDS sería desaprovechado.

Aunada a esta situación, creemos que el auge de LMDS ha disminuido considerablemente debido a que esta tecnología no ha cumplido con las expectativas generadas. Lo más conveniente en este momento sería esperar una nueva tecnología que sea más económica y que tenga un mejor desempeño.



Siglas y Abreviaturas

- 3G** – Tercera Generación de Telefonía Móvil
AM – Modulación de Amplitud
ASK – Modulación por Desplazamiento de Amplitud (Amplitude Shift Keying)
AT&T – American Telephone and Telegraph
ATM – Modo de Transferencia Asíncrona (Asynchronous Transfer Mode)
BER – Tasa de Error de Bit (Bit Error Rate)
BISDN – ISDN de Banda Ancha (Broadband ISDN)
C/I – Relación Portadora a Interferencia (Carrier to Interference)
CANIETI – Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones e Informática
CCITT – International Telephone and Telegraph Consultative Committee
CDMA - Acceso Múltiple por División de Código (Code Division Multiple Access)
CNR – Relación Portadora a Ruido (Carrier to Noise Relation)
DAVIC – Consejo de Audio y Video Digital (Digital Audio and Video Council)
DSL – Línea Digital de Suscriptor (Digital Subscriber Line)
DVB – Radiodifusión de Video Digital (Digital Video Broadcasting)
ETSI – Instituto Europeo de Estandarización de las Telecomunicaciones (European Telecommunications Standardization Institute)
FCC – Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission)
FDD – Duplexaje por División de Frecuencia (Frequency Division Duplexing)
FDMA – Acceso Múltiple por División de Frecuencia (Frequency Division Multiple Access)
FEC – Corrección de Errores hacia delante (Forward Error Correction)
FET – Transistor de Efecto de Campo (Field Effect Transistor)
FM – Modulación de Frecuencia
FRAU – Unidad Fija de Acceso de Radio (Fixed Radio Access Unit)
FSK – Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (Frequency Shift Keying)
FWA – Acceso Inalámbrico Fijo (Fixed Wireless Access)
FWPMP – Punto a Multipunto Inalámbrico Fijo (Fixed Wireless Point to Multipoint)
HFC – Redes Híbridas de Fibra Óptica y Cable Coaxial (Hybrid Fiber Coax)
IEEE - Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Institute of Electrical and Electronic Engineering)
IF – Frecuencias Intermedias (Intermediate Frequencies)
ILEC – Operador Incumbente (Incumbent Local Exchange Carrier)



Siglas y Abreviaturas

IMD – Distorsión por Intermodulación (InterModulation Distorsion)
IP – Protocolo de Internet (Internet Protocol)
IP3 – Intersección de Tercer Orden
ISDN – Red Digital de Servicios Integrados (Integrated Services Digital Network)
LAN – Red de Área Local (Local Area Network)
LMCS – Servicio de Comunicaciones Local Multipunto (Local Multipoint Communication Service)
LMDS – Servicio de Distribución Local Multipunto (Local Multipoint Distribution Service)
MMDS – Servicio de Distribución Multicanal Multipunto (Multichannel Multipoint Distribution Service)
NF – Factor de Ruido (Noise Factor)
NIU – Unidad de Interfaz de la Red (Network Interface Unit)
NOC – Centro de Operaciones de la Red (Network Operating Center)
OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PCS – Sistemas de Comunicación Personal (Personal Communication Services)
PIRE – Potencia Isotrópicamente Radiada Efectiva (Effective Isotropic Radiated Power)
PM – Modulación de Fase (Phase Modulation)
PSK – Modulación por Desplazamiento de Fase (Phase Shift Keying)
QAM – Modulación de Amplitud Cuaternaria (Quaternary Amplitude Modulation)
QoS – Calidad de Servicio (Quality of Service)
QPSK – Desplazamiento Cuaternario de Fase (Quaternary Phase Shift Keying)
RF – Radio Frecuencia
RFA – Acceso Fijo por Radio (Radio Fixed Access)
rms – Raíz Media Cuadrática (Root Mean Square)
SCT – Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SF – Factor de Forma (Shape Factor)
SFDR – Spurious Free Dynamic Range (Rango Dinámico Libre de Espurias)
SNMP – Protocolo de Administración Simple de la Red (Simple Network Managing Protocol)
SNR – Relación Señal a Ruido (Signal to Noise Ratio)
TBJ – Transistor Bipolar de Junción (Bipolar Junction Transistor)
TDD – Duplexaje por División de Tiempo (Time Division Duplexing)
TDM – Multiplexión por División de Tiempo (Time Division Multiplexing)
TDMA – Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access)
THD – Distorsión Armónica Total (Total Harmonic Distorsion)
UHF – Frecuencias Ultra Altas (Ultra High Frequency)



Siglas y Abreviaturas

UIT- Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union)

VHF – Frecuencias Muy Altas (Very High Frequency)

WLL – Bucle Local Inalámbrico (Wireless Local Loop)



Bibliografía

LMDS

Clint Smith

Mc Graw-Hill

1ª ed., Estados Unidos, 2000

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

Wayne Tomasi

Ed. Prentice Hall

2ª ed., México, 1996

The Essential Guide to Wireless Communication Application

Andy Dornan

Ed. Prentice Hall

1ª ed., Estados Unidos, 2001

The Essential Guide to Telecommunications

Annabel Z. Dodd

Ed. Prentice Hall

2ª ed., Estados Unidos, 2001

Electrónica: Teoría de Circuitos

Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky

Ed. Prentice Hall

6ª ed., México, 1996

Telecommunications

Warren Hioki

Ed. Prentice Hall

3ª ed., Estados Unidos, 2000



Bibliografía



Tecnología LMDS: Aplicaciones y Casos de Negocio

Asercom
México, 1998

Communications Markets in Mexico 2003 Edition

Gabriela Baez
Pyramid Research
Junio, 2003

OFDM for Mobile Data Communications

International Engineering Consortium

Revistas

Wireless Internet over LMDS: Architecture and Experimental Implementation

Petri Mähönen, Tommi Saarinen y Zach Shelby
IEEE Communications Magazine
Mayo, 2001

Frequency Reuse and System Deployment in Local Multipoint Distribution Service

Vincenzio I. Roman
IEEE Personal Communications
Diciembre, 1999

Analysis and Modeling of Local Multipoint Distribution Service (LMDS) Channel

K V Ravi y P Soma
Global Telecommunications Conference
Globecom 1999

High Speed Data

Scientific American
Octubre, 1999



Bibliografía

LMDS Standards Architectural Issues

Jeff Foerster, Glen Sater y Arun Arunachalam
IEEE, 2000

Communications Markets in México

Pyramid Research
2001

Sector Telecomunicaciones: Evolución 1990-2000 y Perspectivas 2001

Comisión Federal de Telecomunicaciones
Mayo, 2001

El Panorama en México

Alejandro Torres Durán
Netarroba, 2001

LMDS Systems: A possible solution for wireless ATM access networks

B. Cornaglia, R. Santaniello, E. Leonardi, R. Lo Cigno, M. Meo, F. Neri, D. Saracino
IEEE, 1998

Some Design Issues in Local Multipoint Distribution Systems

Hikmet Sari
IEEE, 1998

Study of the Local Multipoint Distribution Service Radio Channel

Peter B. Papazian, George A. Hufford, Robert J. Achatz, Randy Hoffman
IEEE Transactions on Broadcasting vol. 43, no. 2, junio 1997

Modeling and Analysis of Time Varying Radio Propagation Channel for LMDS

P. Soma, Y. W. M. Chia y L.C. Ong
IEEE, 2000

Simulations of Channel Capacity and Frequency Reuse in Multipoint LMDS Systems

Harry R. Anderson
IEEE, 1999



Bibliografía

LMDS in the Broadband Local Loop – Alternatives and Issues

Aftab Ahmad
IEEE, 1998

Optimal Hub Deployment for 28GHz LMDS Systems

Douglas A. Gray
IEEE, 1997

Millimeter Radio Access to Multimedia Services Via LMDS

G.M. Stamatelos, D.D. Falconer
IEEE, 1996

Customer Premise Antenna Design for LMDS Applications

J. Brett Erwin, Marisa Mc Coy
IEEE, 2000

LMDS From High Altitude Aeronautical Platforms

D. Grace, N.E. Daly, T.C. Tozer, A.G. Burr
IEEE, 1999

Local Multipoint Distribution Services (LMDS) System Concepts and Implementation

J. Leland Langston
IEEE, 1997

Temporal Variations Characterization for Fixed Wireless at 29.5 GHz

N. Naz, D.D. Falconer
IEEE, 2000

Nortel Networks – Reunion (LMDS)

Nortel Networks
Abril, 1999

LMDS Standards Architectural Issues

Jeff Foerster, Glen Sater y Arun Arunachalam
IEEE, 2000



Bibliografía

Providing Effective Internet Services in the MMDS, LMDS MVDS Environment

I Frigui y J Schellenberg
IEEE, 1997

LMDS in the Broadband Local Loop – Alternatives and Issues

Aftab Ahmad
IEEE, 1998

Design and Manufacturing of an LMDS CPE Receiver

S. Doyle, N. Jain, A. Eskandrian, F. Kolak, J. McKenna, S. Brown, Z. Bogan
IEEE, 1999

Local Multipoint Distribution System: Wireless Wonder or Broadband burst?

George Leopold y Brian Santo
IEEE, 1998

LMDS Radio Channel Obstructed by Foliage

Akihiro Kajiwara
IEEE, 2000

Multipath Propagation And LOS Interference Studies for LMDS Architecture

A Hayn, R. Bose, R. Jakoby
IEEE, 2001

Seasonal Variability of a Local Multi-Point Distribution Service Radio Channel

Peter Papazian, Yeh Lo
IEEE, 1998

Capacity Effects on Terrestrial Broadband Wireless Access Networks, Operating in the LMDS Frequency Band, During Rainfall Conditions

N. E. Daly, T.C. Tozer, D.A. Pearce, D. Grace, A. G. Burr
IEEE, 2000



Bibliografía

Impact of Vegetation On The Performance of 28GHz LMDS Transmission

M. Chavero, V. Polo, F. Ramos, J. Marti
IEEE, 1999

Telephony Solution for LMDS

Derek Lam, Lynn Plouse, Aly. Elrefaie
IEEE, 1998

A New Upstream Channel Structure for Asymmetric LMDS with CDMA

ByungLok Chio, HyungRae Lim, JaeChul Song
IEEE, 2000

An Overview of Broadband Access Technologies

Maurice Gagnaire
IEEE, 1997

Modeling of Local Multipoint Distribution Service (LMDS) Channel at 27.4

GHz Millimeterwave Bands

K. V. Ravi, P Soma
IEEE, 1999

Broadband Access: The Last Mile

Leon Cloetens
IEEE, 2001

A Broadband Wireless Access System at 28GHz

Douglas A. Gray
IEEE, 1997

Spectrum Allocation for Fixed Wireless Access Technologies in the Americas

Hector Salgado
IEEE, 1998



Bibliografía



Páginas Web consultadas

Plan Sectorial 2001-2006

Secretaría de Comunicaciones y Transportes

<http://www.sct.gob.mx>

Area General de Ingeniería y Tecnología de la Cofetel

<http://www.agitec.gob.mx>

Local Multipoint Distribution System (LMDS) Tutorial

<http://www.iec.org/tutorials/lmds.html>

Evolium – LMDS

<http://www.alcatel.com>

Fibeair

<http://www.ceragon.com>

An Introduction to Fixed Broadband Wireless Technology

<http://www.hybrid.com/info/primer.htm>

LMCS Allocations: The New Zealand Case

<http://indranet.co.nz/FiveRings/Earth/NewZealand.asp>

Solving the non line-of-sight issue

<http://www.broadbandsolution.com>

Millimeter-wave-Massive Bandwith in the First Mile

Douglas Lockie

www.broadbandsolution.com

Local Multipoint Distribution Services (LMDS)

<http://www.ipcf.org>

The Madrid Multi-Access LMDS (28-31 GHz) Trial System

<http://www.cableaml.com/madridtrialsysem.html>



Bibliografía

Federal Communications Commission

<http://wireless.fcc.gov>

What is LMDS?

<http://nwest.nist.gov/lmds.html>

Rules and Policies for LMDS

<http://www.ntia.doc.gov>

Brief History of Wireless Communications

<http://wireless.ece.ufl.edu/~jshea/ee16509/misc/history.html>

How LMDS work

<http://www.biz.uiowa.edu>

What 's the Frequency – A Look at Wireless Spectrum

Robert Gemmell

<http://www.broadbandsolution.com>

Andrew Corporation

<http://www.andrew.com>

Centerpoint Broadband Technologies Inc.

<http://www.centerpoint.com>

Ceragon Networks Inc.

<http://www.ceragon.com>

DMC Stratex Networks

<http://www.dmcstratexnetworks.com>

Endwave Corporation

<http://www.endwave.com>

Ensemble Communications

<http://www.ensemblecom.com>

Ericsson

<http://www.ericsson.com>



Bibliografía

Galleon Wireless Inc. / Belstar

<http://www.galleonwireless.com>

Harris Communications

<http://www.microwave.harris.com>

Harmonic Data Systems Ltd

<http://www.harmonicdata.com>

Hughes Network Systems

<http://www.aireach.com>

Lucent Technologies / Hewlett Packard

<http://www.lucent.com/wirelessnet>

mm-Tech Inc

<http://www.mm-tech.com>

MM Radiolink Ltd.

<http://www.radiolink.phillips.com>

Netro Corporation

<http://www.netro-corp.com>

P-Com Inc

<http://www.p-com.com>

Provigent Inc

<http://www.provigent.com>

Remec Magnum Incorporated

<http://www.remecmagnum.com>

Siemens

<http://www.icn.siemens.com>

Sierra Digital Communications

<http://www.sierra-digital.com>



Bibliografía

SpectraPoint Wireless LLC

<http://www.spectrapoint.com>

Synoptel

<http://www.synoptel.com>

Telaxis Communications

<http://www.telaxiscom.com>

Triton Network Systems Inc.

<http://www.triton-network.com>

VYYO

<http://www.vyyo.com>

Wavecom Electronics Inc.

<http://www.wavecom.ca>

Win Net

<http://www.winnetmcs.com>

International Outlook – Broadband in Mexico

<http://www.broadbandsolution.com>

Local Multipoint Distribution Service

<http://www-mm-tech.com/lmds.htm>

What are the advantages of CDMA?

<http://www.cdmatech.com>

Introduction to CDMA

<http://www.amug.org/~ahmrphd/Intro.html>

Digital Wireless Basics: Radio Principles, Cellular defined

<http://www.privateline.com/PCS/HowPCSworks.htm>

Targeting your Markets

<http://www.americasnetworks.com>



Bibliografía

What will LMDS hatch?

<http://www.internettelephony.com>

LMDS FAQs

<http://www.lmdswireless.com/faq.html>

Access Schemes

<http://www.umtsworld.com/technology/cdmabasics.htm>

Talk Radio

<http://www.americasnetworks.com>

TDD vs FDD

<http://www.americasnetworks.com>

PMP in the metro Market

<http://www.americasnetworks.com>

MMDS

<http://www.lightreading.com>

Hybrid Fiber coaxial Network

<http://www.searchnetworking.com>

FTTC (Fiber To The Curb)

<http://iroi.seu.edu.cn/books/whatis/fttc.htm>

Fibre to the

<http://iroi.seu.edu.cn/books/whatis/fttx.htm>

Optical Wireless

<http://www.lightreading.com>

Powerline Communications

<http://www.plcforum.org>

LMDS – Poised to deliver, keeping the promise

<http://www.americasnetworks.com>



Bibliografía

TDMA

<http://www.iec.org>

The Wireless World

<http://www.telecoms-mag.com>

LMDS Technology

<http://www.uht.com.ua>

Broadband Wireless Systems and Components – An Overview

Djuradj Budimir, Bratislav Milovanovic, Vladan Stankovic
IEEE, 1999

OFDM Forum

<http://www.ofdm-forum.com>

LMCS: A Sought After Radio Spectrum Resource

<http://strategis.ic.gc.ca>

A Detailed Analysis of MMDS and LMDS

H. David Graves
IEEE, 1999

Wireless Broadband Communications: Some Research Activities in Singapore

Kee Chaing Chua
IEEE, 1999

