

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL
MULTIPUNTO**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRONICO

PRESENTADO POR:

ALDO MARX NOLASCO ANGELES

**PROMOCIÓN
2000 - I**

**LIMA – PERÚ
2005**

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN LOCAL MULTIPUNTO

*El presente trabajo esta dedicado a:
Mis padres, Jesús y Ulda, por el cariño,
esfuerzo y sacrificio
que han puesto en mi,
Mi Hermano, Vilner, por el inmenso apoyo
brindado en mi carrera,
y que ahora desde el cielo,
sigue iluminándonos a toda mi familia,
Mi sobrino, fuente de alegría
y felicidad .*

SUMARIO

El presente trabajo ha sido desarrollado para dar a conocer de una manera más detallada los sistemas de Acceso Inalámbricos Fijos (Fixed Wireless Access) de banda ancha conocidos como LMDS.

En los capítulos I y II se trata los conceptos del sistema LMDS, asimismo se da una descripción de los aspectos generales del sistema, también se describe como se realiza la planificación celular de este sistema.

En el capítulo III se refiere a como esta conformado la arquitectura de una red LMDS, indicándose cuales son las partes que la conforman, los tipos de enlaces y accesos inalámbricos.

El capítulo IV trata de cuales son los criterios que se deben tener en cuenta para diseñar una red LMDS, es decir, que consideraciones hay que tener para diseñar las celdas, como influye la atenuación causada por la lluvia, que características tendrán el acceso entre la estación base y el CPE, además de optimizar el rehusado de las frecuencias.

El capítulo V trata de los mercados de negocios, que aplicaciones se puede brindar con este sistema y hacia donde esta dirigido.

INDICE

PROLOGO

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

| | |
|---|----|
| 1.1 Conceptos | 3 |
| 1.2 Bandas de operación | 5 |
| 1.3 Normalización de la Tecnología LMDS | 6 |
| 1.3.1 Estándar IEEE 802.16 | 6 |
| 1.3.2 Hiperaccess | 10 |
| 1.4 Aspectos Generales | 11 |

CAPITULO II

PLANIFICACIÓN CELULAR

| | |
|---|----|
| 2.1 Planificación celular | 17 |
| 2.2 Despliegue y factores a tenerse en cuenta en un sistema inalámbrico | 19 |

CAPITULO III

ARQUITECTURA DE LA RED

| | |
|--|----|
| 3.1 Arquitectura de la red | 26 |
| 3.2 Partes de una arquitectura del Sistema de Distribución Local | |
| Multipunto (LMDS) | 27 |

| | |
|--|----|
| 3.2.1 Centro de Operaciones de Red (Network Operation Center – NOC) | 27 |
| 3.2.2 La Estación Base | 29 |
| 3.2.3 Equipamiento de Cliente (Customer Premises Equipment – CPE) | 33 |
| 3.3 Enlaces y accesos inalámbricos | 34 |
| CAPITULO IV | |
| CRITERIOS PARA EL DISEÑO | |
| 4.1 Diseño de las celdas | 39 |
| 4.1.1 Calidad de servicio | 39 |
| 4.1.2 Balance del enlace | 40 |
| 4.1.3 Selección del tamaño de la celda | 40 |
| 4.2 Atenuaciones causadas por lluvias | 41 |
| 4.3 Canalización Estación Base – Equipo del Cliente (BS – CPE) | 46 |
| 4.4 Optimización de rehusos de frecuencias | 48 |
| CAPITULO V | |
| MERCADOS DE NEGOCIOS | |
| 5.1 Servicios típicos | 50 |
| 5.1.1 Aplicaciones | 51 |
| 5.2 Mercados para el Sistema de Distribución Local Multipunto - LMDS | 55 |
| 5.3 Caso practico de un Sistema LMDS | 57 |
| 5.3.1 Elementos | 58 |
| 5.3.2 Cobertura de la Estación Base | 59 |
| 5.3.3 Multiplexación y Modulación | 61 |
| CONCLUSIONES | 64 |
| BIBLIOGRAFÍA | 66 |

PROLOGO

En la evolución actual de las telecomunicaciones cada vez será más indispensable contar con buenas conexiones para poder disfrutar de los más recientes servicios y avances tecnológicos. Esta necesidad ya la observamos en la actualidad cuando navegamos por internet y comprobamos que nuestra velocidad de conexión se encuentra muy lejos de lo que deseáramos.

Poco a poco esta limitación debería irse solucionando gracias a las nuevas tecnologías como por ejemplo el ADSL, pero sobretodo gracias a la actual y lenta expansión de las redes cableadas. Y es que la fibra óptica nos proporciona varios servicios como telefonía, conexión a internet, televisión digital e incluso multimedia, producto de su gran ancho de banda.

Pero existen zonas en las que por sus características geográficas, o porque necesitan una implementación del servicio en forma rápida o bien por su lejanía respecto a otros núcleos donde se encuentra la concentración de usuarios potenciales

(demanda), las compañías de telecomunicaciones no le dan prioridad a la realización de un cableado de comunicación. Es entonces en estos casos cuando deben plantearse otras soluciones alternativas que permitan la viabilidad y la consecución del proyecto. Una de las alternativas es la implementación del sistema LMDS procedente de las siglas Local Multipoint Distribution System.

Es por esto que el presente trabajo tiene el propósito de dar a conocer los conceptos de esta tecnología, así como la planificación de este sistema celular, las partes que contiene la arquitectura de la red, los criterios que se deben tener en cuenta para diseñar una red de este tipo y cuales son los mercados hacia donde esta dirigido esta tecnología.

Durante el desarrollo del presente Informe de Suficiencia, se ha tenido la limitación de no conseguir un caso práctico de la implementación del sistema LMDS en el Perú, debido a razones de seguridad y protección que el operador de este sistema tiene sobre su información.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

1.1 CONCEPTOS

El Sistema de Distribución Local Multipunto (LMDS) es un sistema de comunicación punto – multipunto inalámbrico para transmisión sobre banda ancha, y además nos permite transmitir servicios de voz, datos, internet y video en las frecuencias de los 25 GHz en adelante dependiendo de la licencia del país. Estos sistemas responden a una necesidad concreta: la de atender los requerimientos del mercado con implementación rápida, coberturas de áreas de concentración empresarial y comercial, como competencia o alternativa de los tradicionales sistemas con cableado tal como se muestra en la figura 1.1.

El acrónimo de LMDS se proviene de lo siguiente:

- **L (local)**.- indica que las características de propagación de la señal en este rango de frecuencias limitan el área de cobertura de una sola

celda. Según pruebas llevadas a cabo en áreas metropolitanas, el radio de una celda LMDS varia entre 1 y 5 Km. dependiendo de la banda de frecuencia.

- **M (Multipunto).**- Indica que las señales son transmitidas punto-multipunto en la dirección de la estación base hacia el abonado; y el camino de retorno del abonado a la estación base es una transmisión punto a punto.
- **D (Distribución).**- Esto se refiere a la distribución de la señal, las cuales pueden consistir de tráficos simultáneos de voz, datos, internet y video.
- **S (Servicio).**- implica la naturaleza del servicio relacionado entre el operador y el abonado; los servicios ofrecidos a través de una red LMDS son enteramente dependientes del negocio del operador.

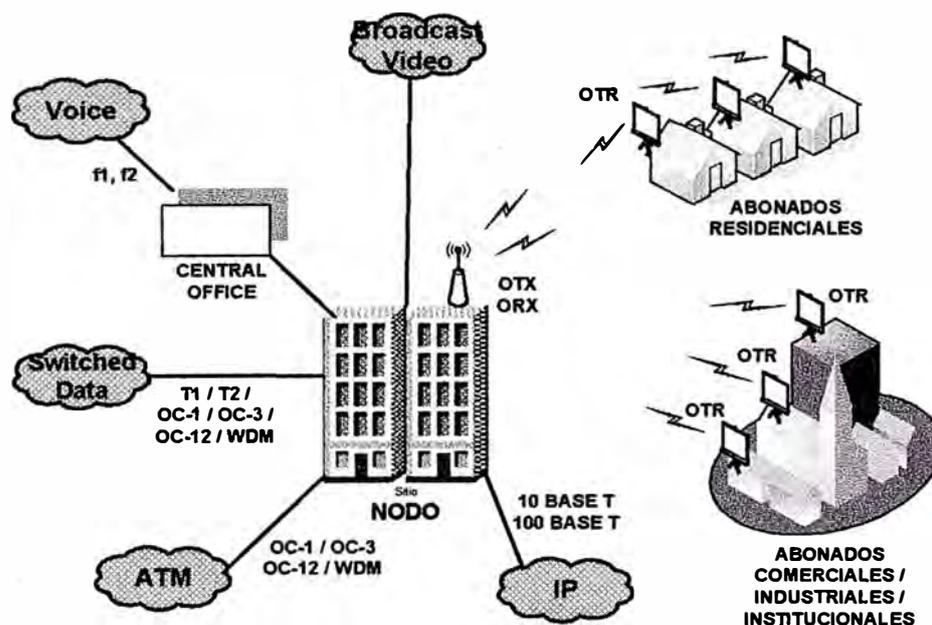


Figura 1.1: Sistema LMDS.

Básicamente la tecnología LMDS sirve de complemento al cable en aquellas zonas donde por sus características hacen desaconsejable la implementación del cable, LMDS tiene unas prestaciones similares a las del cable a un coste inferior y una mayor accesibilidad.

Las redes inalámbricas fijas punto a punto han sido desarrolladas comúnmente para ofrecer enlaces dedicados de alta velocidad entre nodos de alta densidad en una red. Recientes avances en una tecnología punto-multipunto ofrecen servicios con un método que puede proporcionar acceso local de alta capacidad que es menos costoso que una solución cableada, más rápida de implementar que hacerlo en forma cableada y además pueden ofrecer una combinación de aplicaciones. Es más, LMDS provee una efectiva solución para la última milla (last-mile) para el proveedor del servicio.

1.2 BANDAS DE OPERACIÓN

Como resultado de las características de propagación de las señales en este rango de frecuencias, los sistemas LMDS utilizan arquitectura de red basada en celdas, por lo cual los servicios que provee son fijos y no móviles. En los Estados Unidos, un ancho de banda de 1.3 MHz (27.5 – 28.35 GHz, 29.1 – 29.25 GHz, 31.075 – 31.225 GHz, 31 – 31.075 GHz, y 31.225 – 31.3 GHz) ha sido reservado para transmitir servicios de banda ancha punto - punto o punto – multipunto basado en LMDS, tanto para abonados comerciales como residenciales.

A continuación se presenta la tabla 1.1 donde se indica las bandas de operación sobre las que trabaja LMDS desde los 24 hasta 42 GHz.

| LUGAR | BANDAS |
|--------------|--------------------------|
| VENEZUELA | 24, 25, 26, 28 y 29 GHz. |
| EEUU | 24, 28 y 31 GHz. |
| CANADA | 26 - 28 GHz. |
| EUROPA | 28 y 42 GHz. |
| PERU | 25, 26, y 38 GHz. |

Tabla 1.1: Frecuencias desde 24 hasta 42 GHz.

Los operadores que brindan el sistema LMDS en el Perú son:

- COMSAT DEL PERU S.A.: 25/26 GHz.
- DIVEO (fusionada con Americatel Peru): 38 GHz.

1.3 NORMALIZACION DE LA TECNOLOGIA LMDS

En el año 2002 se publicarán dos estándares para las redes LMDS: el estándar 802.16, desarrollado por el IEEE, e Hiperaccess, desarrollado por ETSI.

1.3.1 ESTANDAR IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.16 WirelessMAN (Air Interface for Fixed Broadband Wireless

Access Systems) define los niveles físico y de acceso al medio, MAC (Control de Acceso al Medio) para un acceso inalámbrico de banda ancha. El estándar 802.16 admite dos métodos de duplexión: en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo. En el primer caso se utilizan dos portadoras diferentes, una para el enlace ascendente y otra para el descendente, ambas de 28 MHz, mientras que en el segundo caso, ambos enlaces comparten una única portadora, con una anchura de canal igualmente de 28 MHz.

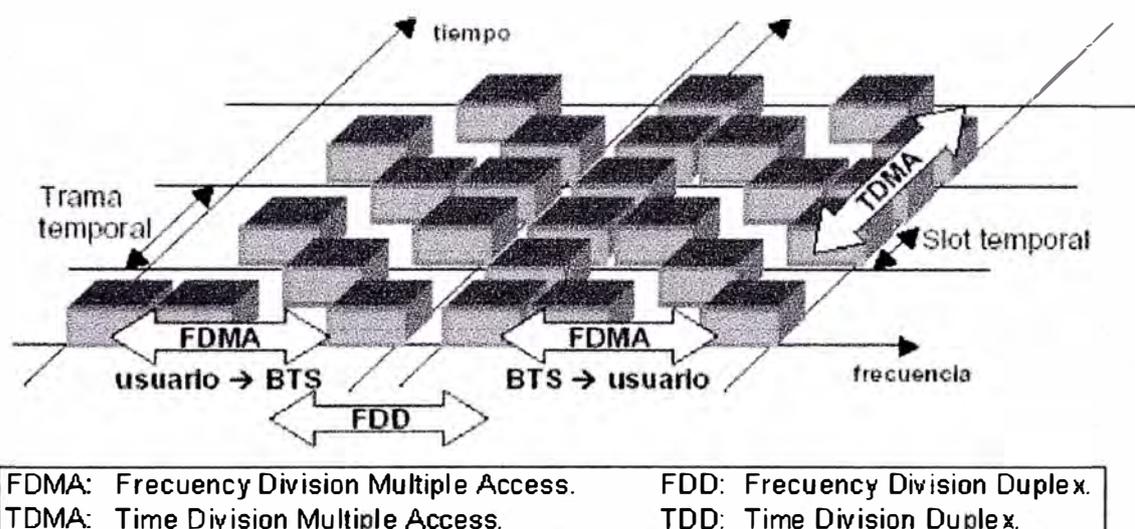


Figura 1.2: Esquemas de multiplexación de los sistemas de comunicaciones.

Para el caso de FDM (Frecuencia Division Multiplexing), y para facilitar el abaratamiento de los equipos terminales, se contempla el caso de terminales semidúplex (que no pueden transmitir y recibir simultáneamente), no así para la estación base, que necesariamente debe presentar un comportamiento dúplex. El sistema contempla un esquema flexible de transmisión, con modulación y codificación adaptativas en función de las condiciones de enlace que cada terminal

ve de forma independiente. Esto significa que un terminal próximo a la estación base, con unas buenas condiciones de transmisión, no se va a ver afectado por un terminal mucho más alejado, para el que las condiciones de transmisión no van a ser tan óptimas.

Puesto que el sistema es punto a multipunto, el sistema incorpora un mecanismo de acceso múltiple al enlace ascendente (el compartido por todas las estaciones terminales). El esquema utilizado es TDMA (Time Division Multiple Access). La organización de dicho enlace ascendente viene determinado por la estación base, que lo propaga a todas las estaciones terminales mediante el enlace descendente. Por el contrario, al enlace descendente sólo accede la estación base, por lo que no es necesario ningún mecanismo de acceso múltiple. El enlace descendente se organiza en un esquema TDM (Time Division Multiplexing), agrupando los mensajes dirigidos a terminales con el mismo esquema de transmisión. La organización de dicho enlace descendente se propaga en la misma trama, utilizando el esquema de transmisión más robusto (el apto para las peores condiciones de transmisión), de forma que todos los terminales puedan acceder a dicha estructura.

La capa de control de acceso al medio incorpora los mecanismos necesarios para el acceso compartido al enlace ascendente, incluyendo mecanismos de resolución de contiendas en aquellas situaciones previstas en la norma: el registro de los equipos terminales y la respuesta a un sondeo de difusión. El MAC es orientado a conexión, de forma que cada comunicación establecida entre la estación base y un equipo terminal lo hace por una conexión determinada. Además, en el momento en que un

equipo terminal se registra en la estación base, está establece una serie de conexiones predefinidas, que permiten tanto la gestión del equipo terminal, como la solicitud de anchura de banda por parte de éste. Incorpora también mecanismos de control de la calidad de servicio, permitiendo asignar anchura de banda a los equipos terminales en función de las necesidades de los abonados que conectan. El estándar tiene definidos cuatro métodos de solicitud de reserva de anchura de banda, para cuatro tipos de servicio diferentes:

- **Servicio garantizado no solicitado:** la estación base asigna periódicamente espacio disponible en el enlace ascendente para cada conexión de este tipo que se haya establecido.
- **Servicio con sondeo en tiempo real:** diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generan paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempo constantes.
- **Servicio con sondeo en tiempo diferido:** diseñado para el soporte de conexiones que no presenta requisitos de tiempo real.
- **Servicio mejor esfuerzo:** pensado para el tráfico de este tipo, como podría ser el acceso a Internet.

IEEE ha publicado otro estándar, el 802.16., que contempla prácticas recomendadas para la coexistencia de sistemas fijos de acceso inalámbrico de banda ancha. El grupo de trabajo 802.16 sigue desarrollando trabajos en el entorno de las redes de acceso inalámbrico.

Actualmente tiene abiertas varias líneas de trabajo:

- **La 802.16a**, que pretende extender el ámbito de aplicación del estándar 802.16 para que también incorpore las bandas (con y sin licencia) de 2 a 11 GHz.
- **La 802.16c**, para facilitar las especificaciones de interoperabilidad.
- **La 802.16.2a**, que incorpora las bandas de 2 a 11 GHz, así como los sistemas punto a punto.
- En marzo de 2002 se creó un grupo de estudio para el acceso móvil inalámbrico de banda ancha (MBWA).

1.3.2 HIPERACCESS

HIPERACCESS (High Performance Radio Access) es la denominación del proyecto que la ETSI está desarrollando, bajo el auspicio del Broadband Radio Access Networks ETSI Project (EP-BRAN), en el campo del acceso fijo inalámbrico. En el 2003 fueron publicados los estándares correspondientes al nivel físico (ETSITR 101 999) y al nivel de control de enlace (ETSI TR 102 000) y a finales del 2002 se publicó la especificación de la capa de convergencia para el soporte de diferentes tipos de redes (IP, ATM,...). El estándar se centra en sistemas punto a multipunto bajo licencia, en frecuencias por encima de los 11 GHz, haciendo especial hincapié en las bandas de frecuencia candidatas para la prestación del servicio de Acceso Fijo Inalámbrico (26/28 GHz, 32 GHz y 40 GHz).

1.4 ASPECTOS GENERALES

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

Básicamente, LMDS es una tecnología de comunicaciones inalámbricas de banda ancha que se inscribe en el marco de los multimedia y se basa en una concepción celular. De acuerdo con esta filosofía, estos sistemas utilizan estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir, de forma que en torno a cada una de ellas se agrupa un cierto número de usuarios, generando así de una manera natural una estructura basada en celdas, también llamadas áreas de servicio, donde cada celda tienen un radio de aproximadamente 4 kilómetros, pudiendo variar dentro

de un intervalo en torno a los 2-7 Km. y como indica la primera sigla de su nombre (L=Local), la transmisión tiene lugar en términos de distancias cortas.

En LMDS cuando se establece una transmisión, esa “llamada” no puede transferirse desde una celda a otra como ocurre en el caso de la telefonía celular convencional; es por eso que LMDS se inscribe en el contexto de las comunicaciones fijas. En definitiva, el sistema LMDS se puede contemplar como un conjunto de estaciones base (conocidas como hubs) interconectadas entre sí y emplazamientos de usuario, donde las señales son de alta frecuencia (en la banda Ka) y donde el transporte de esas señales tiene lugar en los dos sentidos desde/hacia un único punto (el hub) hacia/desde múltiples puntos (los emplazamientos de usuario), siempre en base a distancias cortas. En consecuencia, la distancia entre la estación base y el emplazamiento de usuario viene limitada por la elevada frecuencia de la señal y por la estructura punto-multipunto, lo cual genera una estructura basada en celdas.

El carácter innovador fundamental de la tecnología LMDS consiste en que trabaja en el margen superior del espectro electromagnético, en la banda Ka de 28 GHz, concretamente en el intervalo 27.5 – 29.5 GHz, y en la banda de 31 GHz. utilizada habitualmente para control de tráfico y vigilancia meteorológica, concretamente en el intervalo 31.0 – 31.3 GHz.

La utilización de las bandas de frecuencia más elevadas del espectro han tenido lugar tradicionalmente en el ámbito de sectores muy especializados, como defensa, y en particular el sector espacial, debido sobre todo a la complejidad de los sistemas

electrónicos involucrados, especialmente de los semiconductores, con importantes repeticiones en los costos. En consecuencia, la utilización de estas bandas, de frecuencia se ha visto reducida a estos sectores considerados de importancia estratégica por los gobiernos. Sin embargo, los rápidos avances en tecnología de semiconductores, han propiciado que los costos disminuyan considerablemente hasta el punto de que la integración de las comunicaciones espaciales en el sector ha pasado a constituir un proyecto viable y consolidado en todos sus aspectos.

El paso siguiente viene dado por la utilización de estas frecuencias elevadas, y es aquí donde LMDS aparece como una de las primeras actuaciones. En efecto, las frecuencias correspondientes a la banda Ka se utilizan en el contexto de las comunicaciones por satélite, la innovación que conlleva LMDS se basa en su utilización en las comunicaciones terrestres.

Las señales de elevada frecuencia se han considerado siempre inadecuadas para las comunicaciones terrestres debido a que experimentan reflexiones cuando encuentran obstáculos (árboles, edificios, etc) en su camino de propagación, originando lo que se conoce como zonas de sombra a las que no llega la señal; en cambio, como las frecuencias bajas atraviesan fácilmente estos obstáculos, han constituido tradicionalmente las frecuencias de elección para este tipo de comunicaciones. Sin embargo, como las frecuencias altas del espectro ofrecen importantes ventajas fundamentalmente en términos de ancho de banda y bajo nivel de saturación del espectro, se está generando un gran interés en extender su aplicación desde el ámbito

de las comunicaciones espaciales hacia el ámbito terrestre, siendo LMDS uno de los resultados tangibles en esta línea de actuación.

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

Esta exigencia genera inevitablemente la aparición de zonas de sombra hasta el extremo de que en una zona urbana la sombra pueda llegar a afectar a un 40 por ciento de los usuarios que existen en una celda. Para tratar de optimizar la solución a este problema se utilizan estrategias basadas en el solapamiento de celda, de forma que las zonas resultantes de la intersección de esas células puedan tener acceso a más de una estación base y así disminuir la probabilidad de que se produzcan rupturas de la línea de vista. La eficacia de este método viene dada en términos del porcentaje de usuarios de la celda a los que la señal les llega o la emiten sin problemas y que se estima en torno a un 85-90 por ciento. Otro métodos para tratar de disminuir el nivel de sombra en una determinada zona se basan en la utilización de reflectores y amplificadores.

Debido a que las moléculas de agua afectan el comportamiento de las señales de frecuencia elevada en términos de transferencia de parte de la energía de la señal a la molécula de agua, lo que produce un efecto de degradación de la señal conocido como **“rain fade”**, la lluvia constituye en principio un problema para LMDS ya que provoca la pérdida de la potencia de las señales. Esto se soluciona básicamente aumentando la potencia de transmisión, reduciendo el tamaño de la célula o mediante ambos métodos a la vez. En el primer caso, se utilizan normalmente sistemas de potencia variable que, asociados a equipos de detección de lluvia, aumentan la potencia de transmisión de forma automática cuando se produce la lluvia y disminuyen cuando deja de llover; cuando la optimización en la variación de potencia no resulta suficiente, se disminuye el tamaño de la celda para conseguir más potencia. De hecho, en celda con radio menor de 8 Km. el “rain fade” no aparece. En líneas generales, en áreas geográficas con niveles de lluvia medios e incluso elevados se han conseguido niveles de fiabilidad del orden del 99.99 por ciento. Otros agentes meteorológicos, como la nieve o el hielo, no introducen ningún tipo de deterioro en la señal.

La comunicación en LMDS se establece de acuerdo al concepto de radiodifusión, en concreto punto-multipunto donde las señales viajan desde o hacia la estación central hacia o desde los diferentes puntos de recepción (hogares y oficinas) diseminados por toda la celda. La particularidad aparece aquí, en que la comunicación se puede establecer en los dos sentidos simultáneamente (two-way) desde la estación central a los diferentes puntos de emplazamiento de usuario y viceversa. Esto es posible gracias a la tecnología digital, que ha sido en realidad lo que ha conferido toda la

importante potencia tecnológica y estratégica que presenta los sistemas LMDS actuales, a los que se ha dado en llamar LMDS de segunda generación para distinguirlos de los primeros desarrollos que utilizaban tecnología analógica y un esquema de modulación FM.

La tecnología LMDS utiliza el método de modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) que permite reducir las interferencias y aumentar casi hasta el cien por cien la reutilización del espectro. El ancho de banda conseguido gracias a estas características se acerca a 1 Gbps. Por otro lado, en lo que respecta a l contexto de protocolos, LMDS aparece como un sistema especialmente neutro, lo cual aumenta su potencial integrador y así puede trabajar en entornos ATM, TCP/IP y MPEG-2, es decir, permite el acceso con convergencia de servicios.

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

CAPITULO II

PLANIFICACIÓN CELULAR

2.1 PLANIFICACION CELULAR

Los sistemas fijos de acceso radio punto a multipunto (FWA) constituyen una forma rápida y flexible respecto a las soluciones basadas en cable para proporcionar servicios digitales de banda ancha. Las nuevas licencias concedidas recientemente en las bandas de 3.4 a 3.6 GHz permitirá acceder a los usuarios a través del llamado bucle local inalámbrico WLL (Wireless Local Loop) para aplicaciones IP inalámbricas, en Lima existen operadores con LMDS en las bandas de 10, 25 y 38 GHz. Entre las distintas soluciones de acceso inalámbrico destacan los sistemas FWA (Fixed Wireless Access) y LMDS/MVDS (Local Multipoint Distribution Service / Microwave Video Distribution System). Los primeros están pensados principalmente para frecuencias milimétricas, como pueden ser los sistemas LMDS, para la cual la situación es más crítica a estas frecuencias tan elevadas.

A estas frecuencias tan elevadas no existe prácticamente difracción y cualquier pequeño obstáculo provoca la reflexión del haz, por lo que estos sistemas necesitan diseñarse con visión directa entre las antenas (Line of Sight - LoS). En general, los valores de atenuación causados por la vegetación oscilan en torno a los 10 – 20 dB. Para aumentar el porcentaje de abonados que pueden ser cubiertos se emplean torres y edificios elevados donde se sitúan las antenas, así como repetidores secundarios de baja potencia para alimentar zonas inaccesibles.

Adicionalmente a los efectos del bloqueo del haz, el solapamiento entre celdas o la redundancia del sistema, también afectan a la calidad de servicio. El solapamiento entre celdas es un factor de diseño importante de tal forma que se garantice que un abonado situado cerca del borde de la celda pueda recibir servicios de múltiples direcciones. Un valor típico de solapamiento es el 15 por ciento, el cual puede variar dependiendo de la densidad de la población y de la obstrucción causada por grandes edificios. Finalmente, para minimizar el tiempo de caída del sistema en caso de fallo o degradación del equipamiento, pueden utilizarse transmisores, receptores y antenas de reserva (redundancia de equipos). Cuando el sistema de gestión detecta un fallo en un determinado equipo se conmuta el equipo de reserva en unos pocos microsegundos. Los transmisores y receptores digitales de banda ancha poseen tarjetas de monitorización cuya función es medir parámetros tales como potencia de salida, temperatura, frecuencia del oscilador local, etc. Todos estos valores analógicos se digitalizan y se transmiten hacia el centro de control de red, el cual se encarga de comprobar los márgenes de funcionamiento y conmutar el equipamiento redundante en caso de fallo.

La disponibilidad de la red o fiabilidad suele medirse por medio del porcentaje de tiempo que el sistema funciona correctamente. Algunos valores que son típicos oscilan entre el 99.9% y el 99.999%. Adicionalmente, para aumentar este porcentaje pueden emplearse técnicas de diversidad. Las técnicas de diversidad pueden realizarse en el dominio espacial, frecuencial o por polarización emplean 2 receptores. La idea se basa en proporcionar diferentes servicios con convergencia tales como telefonía, acceso a internet, videoconferencia o interconexión de redes privadas. En cambio, los MVDS surgen para facilitar el despliegue de las redes de los operadores de cable y permiten servicios digitales bidireccionales de video y datos en las bandas 27.5 a 29.5 GHz ó 40.5 a 42.5 GHz. En todos ellos, la arquitectura del sistema consiste en una serie de estaciones base interconectadas entre si y con el centro de control de red por medio de cable o radioenlaces, las cuales dan servicio a una serie de abonados fijos distribuidos por el interior de celdas de radio variable.

2.2 DESPLIEGUE Y FACTORES A TENERSE EN CUENTA EN UN SISTEMA INALÁMBRICO

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

emplazamiento de estaciones base, reutilización de frecuencias, coste del sistema, etc.

Las prestaciones de un sistema de distribución de video punto a multipunto se miden por medio del porcentaje de abonados que poseen un nivel de señal adecuado para alcanzar una calidad de imagen excelente. En el caso de una gran área metropolitana, el factor clave en la penetración del sistema lo constituye la vegetación existente. Si el haz del radioenlace se obstruye por árboles o vegetación, el impacto sobre el nivel de la señal es significativo, por lo que es posible que ocurra un desvanecimiento de la señal simultáneamente en todas las posibles rutas para cortar el enlace. De este modo, suponiendo que disponemos de receptores diferentes con una fiabilidad o disponibilidad de servicio del 99.9%, la calidad resultante empleando diversidad llegaría hasta el 99.999%.

El balance de potencias se utiliza para calcular la distancia máxima de la estación base a la que debe situarse un usuario para mantener una determinada calidad de la señal. Los parámetros de calidad que se utilizan en el balance de potencias son la relación portadora a ruido (Carrier to Noise Ratio - CNR), los niveles de distorsión de tercer orden (Composite Triple Beat - CTB) y la relación portadora a interferencia (Carrier to Interference Ratio - CIR), que permitan garantizar el valor objetivo de la tasa de error de bit (Bit Error Ratio – BER).

La CNR global del sistema se relaciona directamente con la tasa de errores binarios (Bit Error Ratio - BER) en recepción. Suponiendo la presencia de ruido blanco

gaussiano y las figuras de ruido asociadas a cada componente, el BER se calcula a partir de un modelo teórico basado en el esquema de modulación empleado y el algoritmo utilizado para la corrección de errores. Generalmente se emplean técnicas de corrección de errores en recepción (Forward Error Correction - FEC) basadas en códigos convolucionales y Red Salomón. Por otro lado, el nivel de distorsión acumulado a lo largo del sistema debe mantenerse en unos niveles aceptables para realizar la correcta demodulación en el receptor. Los productos de intermodulación generados en transmisores, amplificadores y convertidores de frecuencia dependen de la potencia de portadora, del número de canales y del punto de intercepción de tercer orden del dispositivo. Normalmente se tienen valores de CTB (potencia de intermodulación de tercer orden respecto a potencia de portadora) de unos 35 dB.

Asimismo, otro importante parámetro que se debe considerar en sistemas inalámbricos punto a multipunto es la C/I , dado que se trata de sistemas celulares sujetos a interferencias. Cuando se produce una disminución de C/I produce una degradación de la CNR del sistema, conduciendo finalmente a un aumento del BER.

El tamaño máximo de la celda se encuentra directamente relacionado con la calidad de servicio exigida y puede calcularse por medio del balance de potencias. El tamaño de celda puede variar dentro de la zona de cobertura debido al tipo de antena utilizado, a su altura, a las pérdidas por vegetación, al esquema de modulación empleado y a otros efectos. En el caso de la banda de 26 GHz y en ciudades con intensidad pluviométrica los radios típicos de celda oscilan entre 2-4 Km, mientras que la banda de 3.5 GHz proporciona alcances de 15-20 Km. No obstante, el tipo de

área (urbana, suburbana o rural) condiciona enormemente el tamaño de la celda por cuestiones de tráfico. A pesar de que los distintos abonados pueden disponer de un nivel de señal suficiente, el ancho de banda disponible es un recurso compartido. De este modo, en el caso de las zonas con alta densidad de usuarios o grandes consumos de ancho de banda (edificios de empresas), no se puede garantizar una cierta calidad de servicio y es necesario reducir el radio de las celdas (en algunos casos hasta los 500 m).

El coste total del sistema depende de una serie de factores: balance de potencias, tamaño de celda, solapamiento entre celdas, número de celdas, capacidad de tráfico, número de sectores por celda y coste por celda. La sectorización de las celdas se realiza por cuestiones de tráfico, ya que permite la reutilización de frecuencias y por lo tanto aprovechar eficientemente el ancho de banda disponible. En general, el coste del sistema depende del número de celdas necesarias para satisfacer todo el área de cobertura. El coste de los equipos de radiofrecuencia (transmisores, receptores y antenas) se ve reflejado en cada uno de los sectores de la celda, mientras que el coste del equipamiento interno de la estación base depende de la capacidad de tráfico requerida. Durante el diseño del sistema los operadores de red suelen utilizar herramientas y software informático para optimizar costes.

La utilización de antenas omnidireccionales en la estación base da lugar a múltiples interferencias en las celdas vecinas, las cuales pueden evitarse empleando frecuencias distintas. Pero dado que se desaprovecha la capacidad de tráfico, suelen emplearse técnicas de reutilización de frecuencias para volver a utilizar el espectro

en celdas suficientemente alejadas de forma similar a como se realiza en los sistemas de telefonía móvil celular. Adicionalmente, en el interior de una misma celda también se emplea sectorización tanto para aumentar la directividad de las antenas como para independizar el tráfico de un grupo de usuarios.

Por los motivos de interferencia anteriormente mencionados, es necesario un aislamiento entre sectores adyacentes, lo cual se realiza empleando frecuencias distintas o mediante polarizaciones distintas. De este modo, se llegaría a un esquema de planificación celular como el mostrado en la figura 2.1. En un principio, hemos supuesto un sistema que emplea únicamente polarización vertical. En este tipo de sistemas se escoge una geometría de las celdas cuadradas para cubrir una determinada área de cobertura, de donde se desprende que existirá solapamiento entre las celdas vecinas si las antenas radian uniformemente en el interior del ancho de haz. En la figura 2.1 se observa que existen celdas de dos tipos A y B uniformemente distribuidas a lo largo de toda la zona de cobertura. Las celdas de tipo A trabajan a frecuencias F_1 y F_3 , mientras que las celdas de tipo B trabajan a frecuencias F_2 y F_4 . Al lado de cada celda de tipo A existe una celda de tipo B para evitar interferencias perjudiciales, y a su vez, la orientación de los sectores en las celdas de tipo A situadas diagonalmente es distinta por idéntico motivo. En este esquema de planificación, no obstante, la reutilización de frecuencias que se consigue es del 100 por ciento.

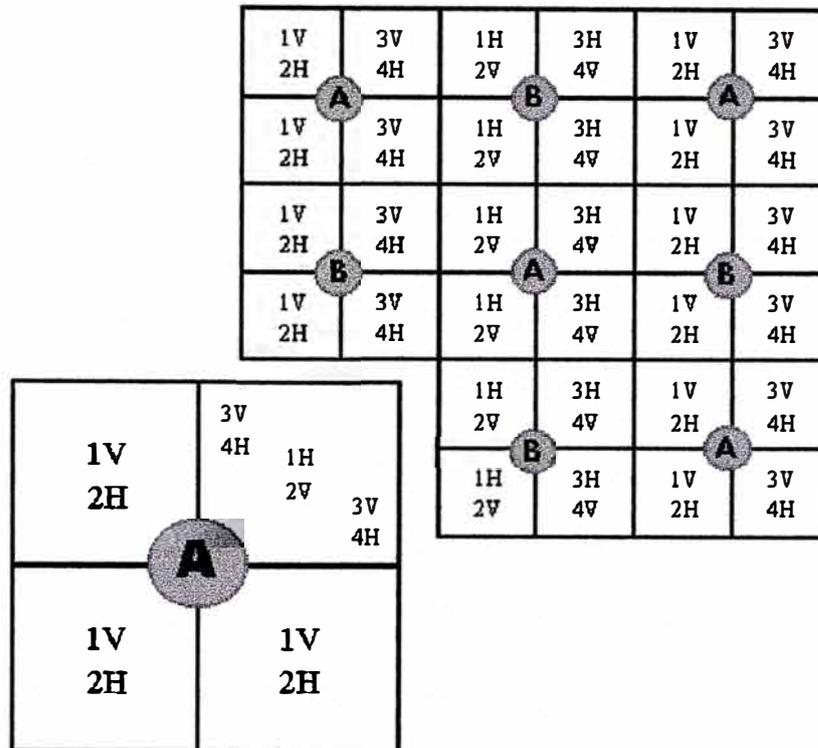


Figura 2.1: Planificación celular con 4 frecuencias, 2 polarizaciones y sectores de 90/30 grados.

A pesar de los esquemas de sectorización, reutilización de frecuencias y distintas polarizaciones que se emplean en los sistemas inalámbricos punto a multipunto, todavía es necesario un análisis cuidadoso del sistema para evitar en lo posible las interferencias co-canal y de canal adyacente. Asimismo, como las interferencias degradan el BER, es necesario un aumento de la potencia de la señal recibida para compensar esta degradación. Existe pues un nivel mínimo de C/I que debe imponerse al sistema, el cual depende del esquema de modulación empleado. Normalmente, el valor de C/I requerido es de 12 dB para una modulación 4 QAM/QPSK, 18 dB para 16 QAM ó 24 dB para 64 QAM.

Un factor importante en el cálculo de la interferencia lo constituye la selectividad que posee el receptor frente a las modulaciones de los canales de frecuencia adyacentes. En la tabla 2.1 se presentan estos valores para las modulaciones 4 QAM, 16 QAM y 64 QAM. Como ejemplo, el receptor puede atenuar 10 dB la potencia de un canal adyacente con modulación 4 QAM. Lógicamente, conforme los canales se encuentran más alejados la selectividad es más elevada. El caso peor se tiene con la modulación 64 QAM, donde el nivel de interferencia sería 2 dB superior a la potencia de canal adyacente. Por otro lado y en lo referente a la polarización, la antena tampoco es ideal y posee una atenuación finita sobre la polarización cruzada, por lo que se recomienda que la atenuación mínima sea de unos 30 dB con respecto al nivel de la señal útil. Estos valores deben considerarse en cualquier diseño.

| CANAL ADYACENTE | SELECTIVIDAD DEL RECEPTOR | MODULACION |
|------------------------|----------------------------------|-------------------|
| PRIMERO | 10 dBc | 4 QAM |
| | 4 dBc | 16 QAM |
| | -2 dBc | 64 QAM |
| SEGUNDO | 20 dBc | 4 QAM |
| | 14 dBc | 16 QAM |
| | 8 dBc | 64 QAM |
| TERCERO | 30 dBc | 4 QAM |
| | 24 dBc | 16 QAM |
| | 18 dBc | 64 QAM |

Tabla 2.1: Selectividad de canal adyacente para diversas modulaciones digitales.

CAPITULO III

ARQUITECTURA DE LA RED

3.1 ARQUITECTURA DE LA RED

Son posibles varias arquitecturas de red dentro del diseño de sistemas LMDS. La mayoría de los operadores de este sistema utilizarán diseños de acceso inalámbrico punto a multipunto, a pesar de que se pueden proveer sistemas punto a punto y de distribución de TV dentro de los sistemas LMDS. Es de esperarse que los servicios del sistema LMDS sean una combinación de voz, datos y video. La arquitectura de una red LMDS consiste primordialmente de cuatro partes: el centro de operaciones de red (Network Operations Center - NOC), la infraestructura de fibra óptica, la estación base (Base Station - BS) y el equipo del cliente (Customer Premises Equipment - CPE).

3.2 PARTES DE UNA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION LOCAL MULTIPUNTO (LMDS)

Básicamente, la infraestructura asociada a una red LMDS consiste de las siguientes partes: el Centro de Operaciones de Red, la Estación Base ó Hub , el segmento de usuario (equipo del cliente) y la infraestructura de fibra óptica.

3.2.1 CENTRO DE OPERACION DE RED (NETWORK OPERATION CENTER – NOC)

El Centro de Operaciones de la Red (Network Operation Center - NOC) contiene el Sistema de Administración de la Red (Network Management System - NMS), el cual esta encargado de administrar grandes regiones de la red de usuario. Asimismo, múltiples NOC's pueden estar interconectados.

El sistema de administración de la red LMDS esta diseñado para reunir los objetivos de negocios de los operadores de red proveyendo una confiabilidad muy alta en los servicios de administración y gestión de la red. Esta administración de la red requiere lo siguiente:

- **Administración de fallas .-** Es necesario identificar, localizar y corregir los errores ó fallas en la red. Por lo tanto, cada dispositivo dentro de la red inalámbrica deberá ser monitoreado para solucionar las averías y el

rendimiento del equipo. Todos los dispositivos LMDS recolectarán y reportarán estadísticas relacionadas al tráfico de datos, condiciones límites de rendimiento y actividades de administración.

- **Configuración** .- Es muy necesario para prever, realizar inventarios, inicializar, hacer un back-up a los recursos de la red. Los equipos LMDS deberán ser autodescubiertos cuando los nuevos equipos son adicionados al nodo. Esto *minimizara* la cantidad de provisiones necesitadas para instalar el equipo de upgrade.
- **Administración de cuentas** .- Es muy necesario recolectar y procesar la información de facturación (billing). Cada nodo que pueda realizar la facturación en la porción inalámbrica de la red deberá mantener un historial estadístico a la cual pueda tener acceso una tercera parte en el sistema de facturación.
- **Administración del rendimiento** .- Es necesario coleccionar, filtrar y analizar las estadísticas de los recursos de la red. Hay un número de parámetros que deberán ser monitoreados y configurados en cada nodo de red. La estación administradora deberá monitorear estos parámetros y ajustarlos para aumentar el rendimiento del sistema.
- **Seguridad** .- Toda la información transmitida a través del medio inalámbrico deberá ser encriptado entre cada nodo en la red. La función administración de seguridad deberá automáticamente generar y coordinar las claves usadas para encriptar y desencriptar, así como también la autenticación de los usuarios.

La aplicación de administración en una estación base no deberá ser una aplicación stand-alone (autosuficiente). Esta deberá proveer un mecanismo para poblar la información de la cell-based a la información donde están la administración de los nodos de la red.

3.2.2 LA ESTACION BASE

En la estación base es donde se realiza la conversión de la infraestructura de fibra ó microondas SDH (Synchronous Digital Hierarchy) a la infraestructura inalámbrica. Los equipos que permiten la conversión incluyen la interfaz de red para la terminación de la fibra, funciones de modulación y demodulación, equipos de transmisión y recepción de microondas, los cuales están ubicados típicamente en techos y postes. Entre sus características se encuentran la conmutación local que puede no estar presente en diferentes diseños. Si la conmutación local se encuentra presente, los abonados conectados a la estación base pueden comunicarse entre sí sin tener que entrar a la infraestructura de fibra óptica. De esta manera, la administración del canal de acceso, registro y autenticación ocurren localmente en la estación base.

La arquitectura estación base alternativa simplemente provee enlace a la infraestructura de fibra óptica. Todo el tráfico dentro de la infraestructura de fibra debe terminar en switches de modo de transferencia asíncrona ATM ó equipos de oficina central. En estas circunstancias, si dos abonados conectados a una misma estación base desean comunicarse entre ellos, la comunicación se lleva a cabo en una

zona centralizada. Las funciones de autenticación, registro y administración se realizan centralizadamente.

A continuación, en la figura 3.1 se presenta la plataforma del sistema general LMDS, en el cual se puede apreciar el NMS (Network Management System), la estación base y las estaciones terminales, asimismo hay que indicar la conveniencia de contar con un anillo SDH y/o Backbone para soportar los accesos a las estaciones base en STM-1.

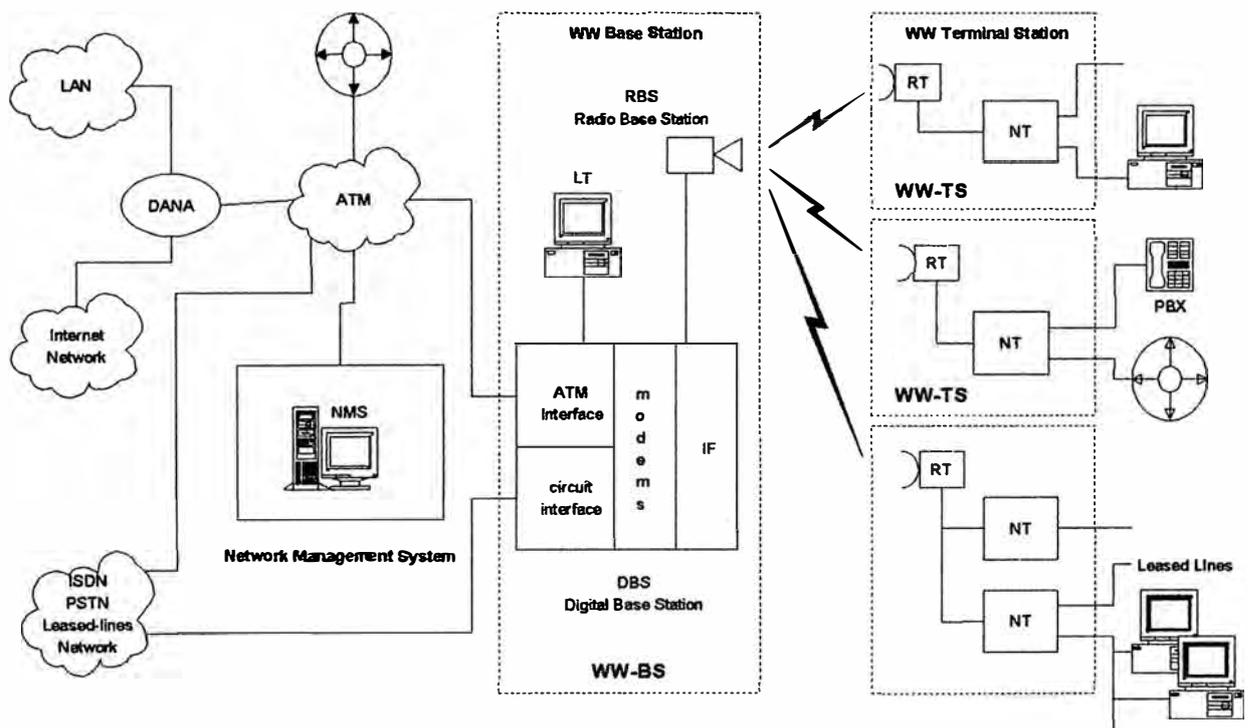


Figura 3.1: Sistema General LMDS.

El equipamiento del nodo de red (Network Node Equipment - NNE) provee el gateway de red básico para conectar el tráfico de la red cableada por el ancho de banda LMDS, tal como se observa en la figura 3.2. El NNE es equivalente al

equipamiento de la estación base digital. Los productos de nodos de red suministran procesamiento, multiplexación, demultiplexación, compresión, detección de error, codificación, decodificación, ruteo,, modulación y demodulación. El NNE también puede proveer conmutación ATM.

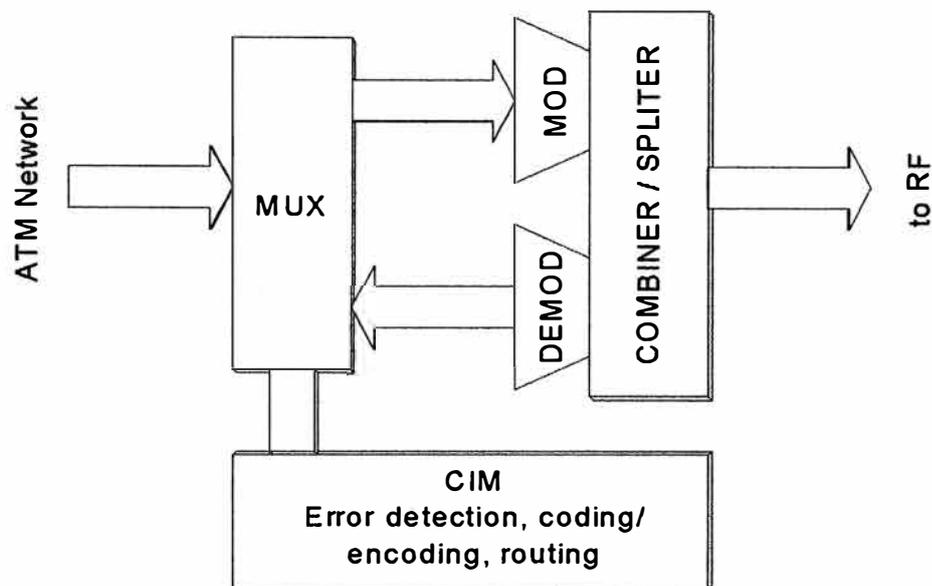


Figura 3.2: Arquitectura del Nodo de Red

Las siguientes funciones pueden ser ejecutadas en el nodo de red:

- **Compresión de Señal Digital** .- La conversión de señales de televisión analógica a señales digitales altamente comprimidas para ser distribuidas por el sistema de microondas.
- **Interfaces de Protocolo Cableado / Inalámbrico** .- Dependiendo de los servicios ofrecidos por el operador, el NNE puede ser configurado para extender servicios de video, IP y voz sobre LMDS. (ATM esta emergiendo

como un probable estándar para la transmisión de voz, datos, internet y video sobre LMDS.)

- **Modulación y Demodulación** .- Las señales de voz, video y datos son multiplexados y modulados antes de que ocurra la transmisión inalámbrica. Similarmente, el tráfico del receptor microondas es demodulado antes de la transmisión cableada.

Un modulador digital acepta un flujo de datos y modula a una frecuencia intermedia (IF) de 4, 16 ó 64 QAM para poder llevarla sobre la vía LMDS. El modulador ejecuta todas las funciones requeridas para modular la señal digital de video, voz y datos a un estándar IF para entrar al transmisor inalámbrico.

Un demodulador QAM contiene separadamente dos canales demoduladores accesibles, cada uno de ellos es capaz de aceptar señales moduladas de 4, 16 y 64 QAM cuya velocidades estén entre 1 MBPS y 10 Mbps. Los sistemas TDMA pueden utilizar modulación QPSK diferencial.

El equipamiento de radio frecuencia (RF) del nodo de red LMDS incluye transmisores y receptores así como transceivers y las antenas. Si hay una antena por transmisor, el sistema recibe el nombre de canalizado.. Si hay múltiples portadoras por transmisor el sistema recibe el nombre de broadband.

- **Transmisores** .- Las señales individualmente moduladas son combinadas y aplicadas al transmisor broadband. Dentro del transmisor, las señales VHF son llevadas a frecuencias portadoras deseadas, amplificadas y aplicadas a

la antena para la transmisión. Los transmisores, receptores y antenas separados pueden ser usados en cada dirección para minimizar los efectos crosstalk entre las señales transmitidas y recibidas.

- **Receptores** .- El receptor broadband separado recibe la banda entera en una frecuencia portadora y convierte las señales a la banda VHF. Las señales VHF son entonces aplicadas al cable coaxial o a la fibra óptica para la distribución en el NNE.
- **Transceivers** .- Combinan las funciones del transmisor y del receptor, asimismo pueden ser provistos en un solo transceiver broadband.
- **Sistema de antenas** .- Las antenas son escogidas basadas en el deseo de cubrir la atención de los potenciales suscriptores (es decir, de la demanda existente en la zona de cobertura), tomando en consideración el terreno, los objetos que puedan causar interferencias, el patrón de radiación, el patrón de elevación y la ganancia de la antena.

3.2.3 EQUIPAMIENTO DEL CLIENTE (CUSTOMER PREMISES EQUIPMENT - CPE)

Las configuraciones del equipo del cliente varían de vendedor a vendedor y dependen de las necesidades del cliente. Primordialmente, las configuraciones de equipo microondas externo (outdoor-mounted) y equipo digital interno (indoor-mounted) son capaces de proveer modulación, demodulación, control y funcionalidad de la interfaz del equipo especial del cliente. El equipo del cliente

(CPE) puede añadirse a la red utilizando métodos de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) ó acceso múltiple por división de códigos (CDMA).

Las interfaces de los equipos del cliente cubrirán todo el rango de las señales digitales desde el nivel 0 (DS-0), servicio de telefonía (Sistema de Telefonía Pública - POTS), 10BaseT, DS-1 no estructurado, DS-1 estructurado, frame relay, ATM 25, ATM serial sobre T1, DS-3, OC-3 y OC-1. Las necesidades de los clientes, pueden variar entre grandes empresas (por ejemplo: edificios de oficinas, hospitales, universidades, etc), en las cuales el equipo de microondas es compartido por muchos usuarios, tiendas en centros comerciales y residencias, en las cuales las oficinas requieren ser conectadas a una línea 10BaseT y/o dos líneas POTS. Obviamente, las diferentes localizaciones de los clientes requieren configuraciones del equipamiento y por ende los costos serán distintos.

3.3 ENLACES Y ACCESO INALÁMBRICOS

Los diseños de los sistemas inalámbricos son construidos alrededor de tres métodos de acceso: TDMA, FDMA y CDMA. Estos métodos de acceso son aplicados para la conexión de los lugares donde están los equipos de usuario con las estaciones base, referidas en esa dirección (upstream).

En la dirección downstream, de la estación base al equipo de usuario, muchas compañías proveen multiplexación por división de tiempo (TDM) si es un usuario específico (conectividad punto a punto) ó múltiples usuarios (diseño de sistemas punto a multipunto). La figura 3.3 ilustra un esquema FDMA en la cual múltiples usuarios en lugares distintos comparten la conexión downstream. Separadas frecuencias asignadas son usadas de cada lugar donde se encuentra el equipo de usuario a la estación base.

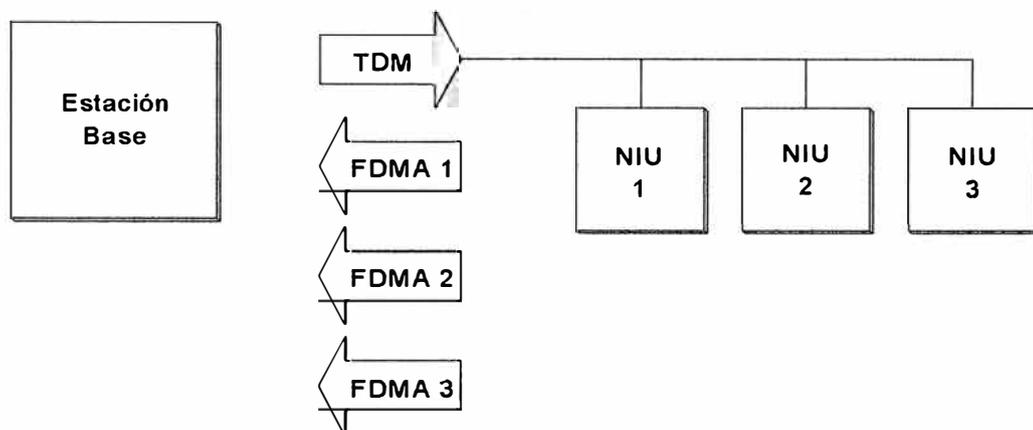


Figura 3.3: Acceso FDMA.

En la figura 3.4 se ilustra un esquema TDMA en el cual múltiples lugares donde están los equipos de usuario comparten los canales downstream y upstream.

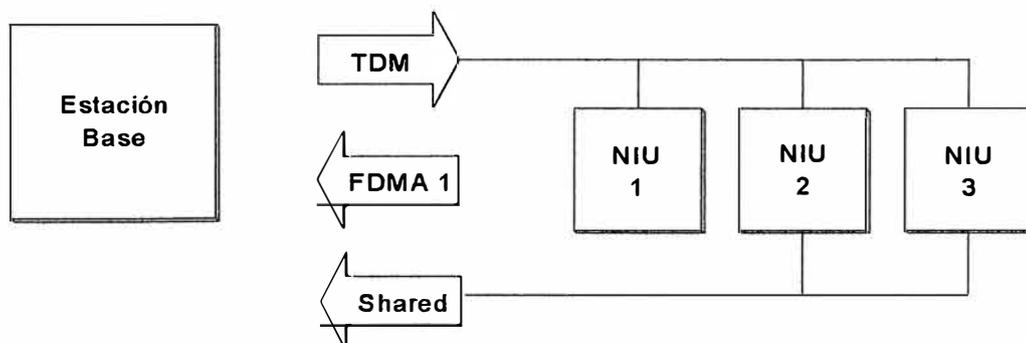


Figura 3.4: Acceso TDMA.

Con los enlaces de acceso FDMA y TDMA, tanto el acceso de subida upstream como el acceso de bajada downstream, hay un número de factores que afectan su eficiencia y ejecución. Para el enlace FDMA, Al lugar donde esta ubicado el equipo de usuario se le asigna un ancho de banda el cual es constante ó varia lentamente en el tiempo. Para el acceso TDMA, el equipo de usuario es asignado un ancho de banda diseñado para responder ráfaga de datos del lugar del usuario. Estos dos métodos de acceso probablemente proveerán la mayoría de enlaces de acceso para sistemas LMDS sobre los próximos años. El escoger entre estos enlaces de acceso es directamente relativo al sistema que desee implementar el operador ya sea por estrategia de servicios y por objetivo de marketing.

Muchos usuarios pueden requerir una conexión inalámbrica DS-3 ó múltiples conexiones DS-1 no estructuradas. Un usuario puede querer una conexión inalámbrica con la comprensión de que el ancho de banda esta disponible las 24 horas del día. En este caso, los enlaces de acceso FDMA tienen sentido, porque el usuario esta pagando por recibir un ancho de banda dedicado sobre el sistema de acceso inalámbrico asi como sobre la infraestructura de la red. Típicamente, el enlace FDMA termina en un circuito demodulador FDMA dedicado dentro de la estación base.

Los otros casos extremos pueden ser usuarios que están en sitios que requieran un solo puerto 10BaseT para acceso a internet. Estos usuarios tienen muy poco requerimientos de datos upstream (petición de acuse de recibo de paquetes y datos son el trafico primario) pero quizás tienen bastante requerimientos de datos

downstream. En este caso, el acceso TDMA tiene sentido, permitiendo múltiples usuarios con una velocidad de datos baja para compartir un solo canal. En adición, en la estación base termina el enlace de acceso TDMA en un solo módem, permitiendo a múltiples usuarios compartir un solo módem en la estación base.

La mayoría de los operadores de estos sistemas tendrán un servicio mixto y un objetivo de mercado que se sitúa entre estos dos casos. El escoger un método de acceso TDMA y/o FDMA dentro del sistema llegara a ser un tema a tener en cuenta tanto para el diseñador como para el operador del sistema.

Los métodos de modulación para sistemas inalámbricos LMDS broadband son generalmente separados en phase shift keying (PSK) y modulación de amplitud (AM). Las opciones de modulación para métodos de acceso TDMA y FDMA son casi los mismos.

Los métodos de modulación del enlace TDMA típicamente no incluye la modulación 64 QAM, aunque esto quizás llegue a estar disponible más adelante. Los métodos de modulación para el acceso FDMA son listados en la tabla 3.1 y son tasados en función a un estimado como a la cantidad de ancho de banda que requieren para una conexión con velocidad constante (Constant Bit Rate-CBR) de bit de 2 Mbps.

| Nombre | Método de Modulación | Conexión CBR en MHz para 2 Mbps |
|---------------|---|--|
| BPSK | binary phase shift keying | 2.8 MHz |
| DQPSK | diferencial PSK | 1.4 MHz |
| QPSK | quaternary phase shift keying | 1.4 MHz |
| 8PSK | octal phase shift keying | 0.8 MHz |
| 4-QAM | quadrature amplitude modulation, 4 estados | 1.4 MHz |
| 16-QAM | quadrature amplitude modulation, 16 estados | 0.6 MHz |
| 64-QAM | quadrature amplitude modulation, 64 estados | 0.4 MHz |

Tabla 3.1: Métodos de modulación para el acceso FDMA.

CAPITULO IV

CRITERIOS PARA EL DISEÑO

4.1 DISEÑO DE LAS CELDAS

Las celdas LMDS se pueden diseñar para los tres siguiente escenarios: tráfico estándar con multiceldas, alto tráfico con monoceldas y alto tráfico con multiceldas. En estos tres escenarios es importante analizar los niveles de interferencias, los cuales pueden variar entre 1% y 5%.

Asimismo, es necesario también tomar en cuenta las siguientes recomendaciones durante el diseño de las celdas LMDS:

4.1.1 CALIDAD DE SERVICIO

El desempeño del sistema de distribución se mide con la tasa de penetración de los suscriptores, el cual es el porcentaje de suscriptores que poseen el suficiente nivel de señal para lograr excelente calidad de servicio.

La calidad de servicio se encuentra afectada por varios factores como por ejemplo: la obstrucción del camino de transmisión, el solapamiento de celdas (5% es normal) y la redundancia del sistema.

4.1.2 BALANCE DEL ENLACE

Es utilizado para estimar la máxima distancia a la que un receptor puede estar localizado de una celda teniendo aun aceptables niveles de confiabilidad del servicio. El presupuesto contabiliza todas las pérdidas y ganancias del sistema a través de varios tipos de equipos. El presupuesto del enlace analiza varios parámetros de la red, incluyendo radios portadora a ruido.

4.1.3 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA CELDA

El tamaño máximo de la celda para servir un área está relacionado al nivel de confiabilidad deseado obtenido a partir del presupuesto de enlace. El tamaño de la celda puede variar dentro del área de cobertura debido al tipo de la antena, su altura y pérdida de señal. Los anteriores efectos guardan relación con el tipo de área de cobertura por ejemplo urbano, suburbano o cobertura de baja densidad. La selección del tamaño de la celda afecta el costo capital total para la cobertura del área requerida.

4.2 ATENUACIONES CAUSADAS POR LLUVIAS

Considerando que se trata de servicios fijos se consideran enlace de microondas en frecuencias superiores a 10 GHz. Por lo tanto, la atenuación debido a la lluvia es un tema decisivo en el cálculo del tamaño de la celda.

La referencia de zonas pluviométricas para las tres regiones según la Rep.721-3 UIT-R (atenuaciones debido a la lluvia) no coincide en algunas ciudades. Por lo tanto, deberá tenerse especial cuidado con este cálculo.

Empleando los ábacos de la Rep.721-3 se puede tener:

- Región de la lluvia (UIT-R, REC. PN837-1).
- La intensidad pluviométrica (mm/h) para el valor especificado por la zona de lluvia puede no coincidir con la realidad.

A partir del comentario anteriormente indicado, para un porcentaje de disponibilidad del enlace se obtiene la intensidad pluviométrica en mm/h que al interceptar con la banda de frecuencia a emplear, se contiene la atenuación por lluvia en dB/Km.

Por ejemplo, en la Región N para $U=0.01\%$ ($A=99.99\%$) y zona N se obtiene intensidad de lluvia = 95 mm/h y $f=25$ GHz se obtienen aproximadamente una atenuación por lluvia = 14 dB/Km.

A continuación se presentan las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 correspondientes a la atenuación debido a la lluvia en las diferentes regiones del mundo según la UIT-R, y la tabla 4.1 correspondiente al porcentaje de indisponibilidad por causa de las lluvias.

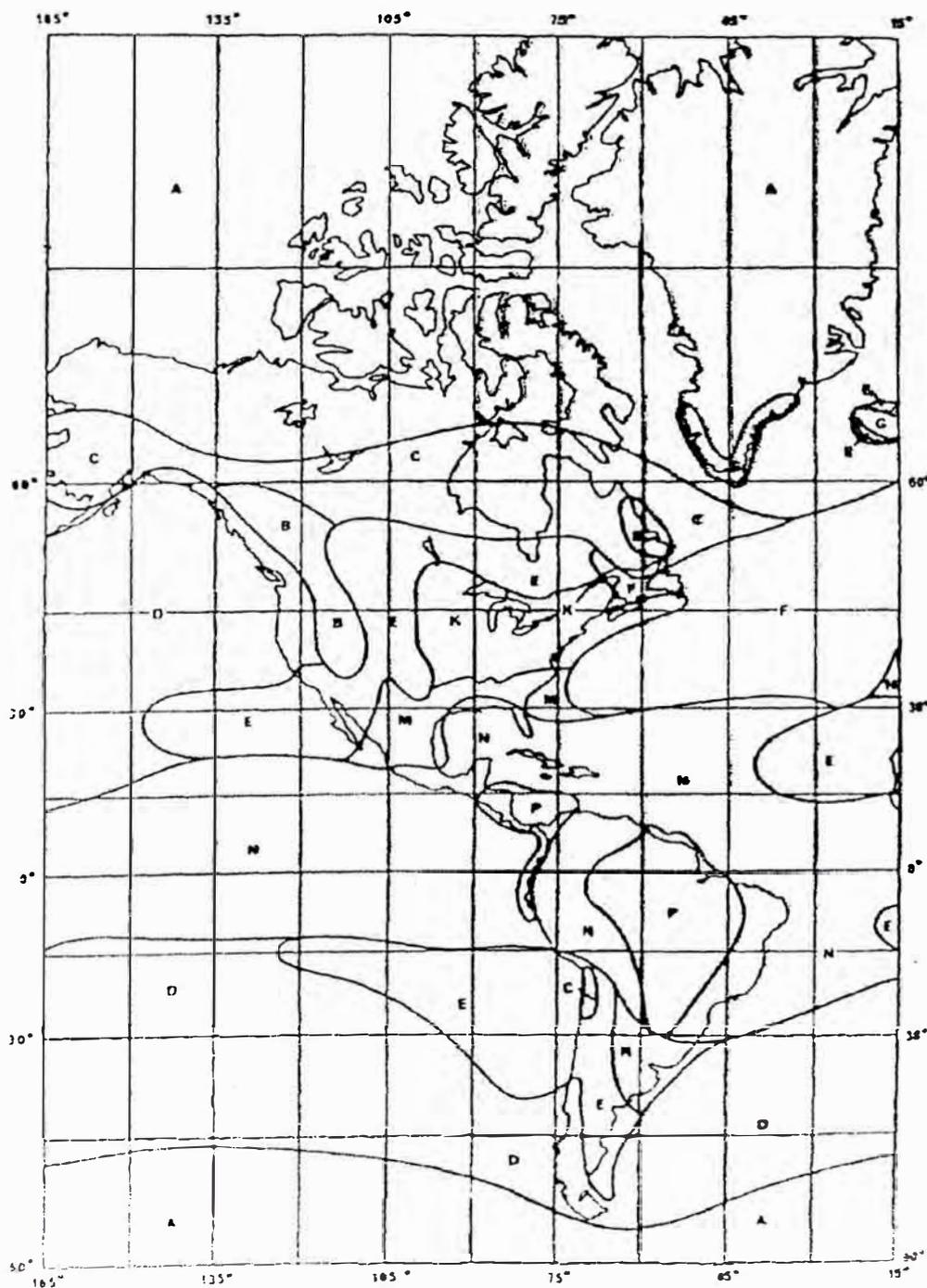


Figura 4.1: Regiones de lluvia para América.

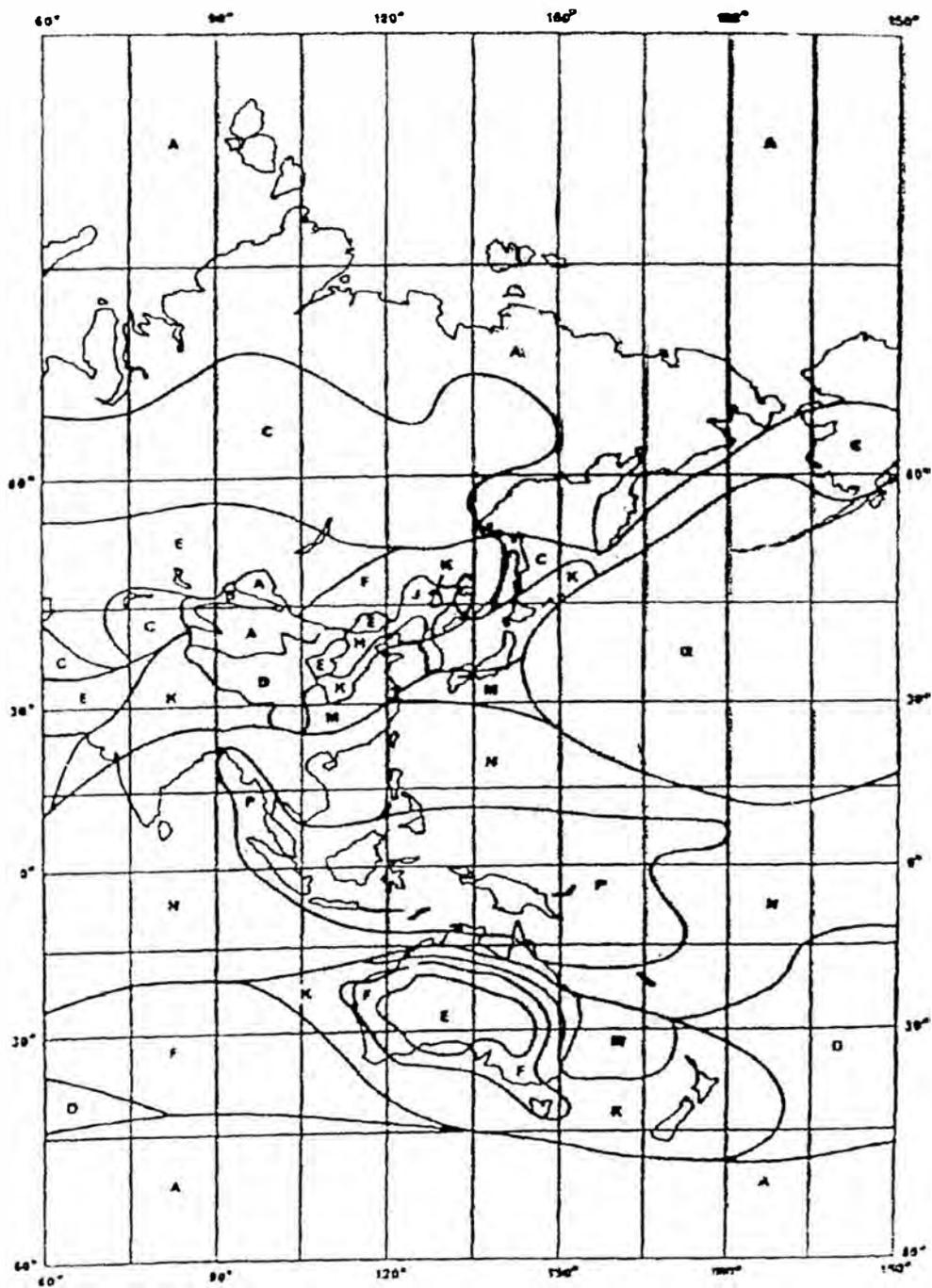


Figura 4.2: Regiones de lluvia para Asia y Oceanía.



Figura 4.3: Regiones de lluvia para Europa y África.

Zonas de lluvia - Exceso de intensidad de lluvia (mm/h)

(Ver figuras 4.1, 4.2 y 4.3 para las regiones de lluvia)

| Porcentaje de tiempo (%) | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | M | N | P | Q |
|--------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.0 | < 0.1 | 0.5 | 0.7 | 2.1 | 0.6 | 1.7 | 3 | 2 | 8 | 1.5 | 2 | 4 | 5 | 12 | 24 |
| 0.3 | 0.8 | 2 | 2.8 | 4.5 | 2.4 | 4.5 | 7 | 4 | 13 | 4.2 | 7 | 11 | 15 | 34 | 49 |
| 0.1 | .2 | 3 | 5 | 8 | 6 | 8 | 12 | 10 | 20 | 12 | 15 | 22 | 35 | 65 | 72 |
| 0.03 | 5 | 6 | 9 | 13 | 12 | 15 | 20 | 18 | 28 | 23 | 33 | 40 | 65 | 105 | 96 |
| 0.01 | 8 | 12 | 15 | 19 | 22 | 28 | 30 | 32 | 35 | 42 | 60 | 63 | 95 | 145 | 115 |
| 0.003 | 14 | 21 | 26 | 29 | 41 | 54 | 45 | 55 | 45 | 70 | 105 | 95 | 140 | 200 | 142 |
| 0.001 | 22 | 32 | 42 | 42 | 70 | 78 | 65 | 83 | 55 | 100 | 155 | 120 | 180 | 250 | 170 |

Tabla 4.1: % de indisponibilidad en zonas climáticas.

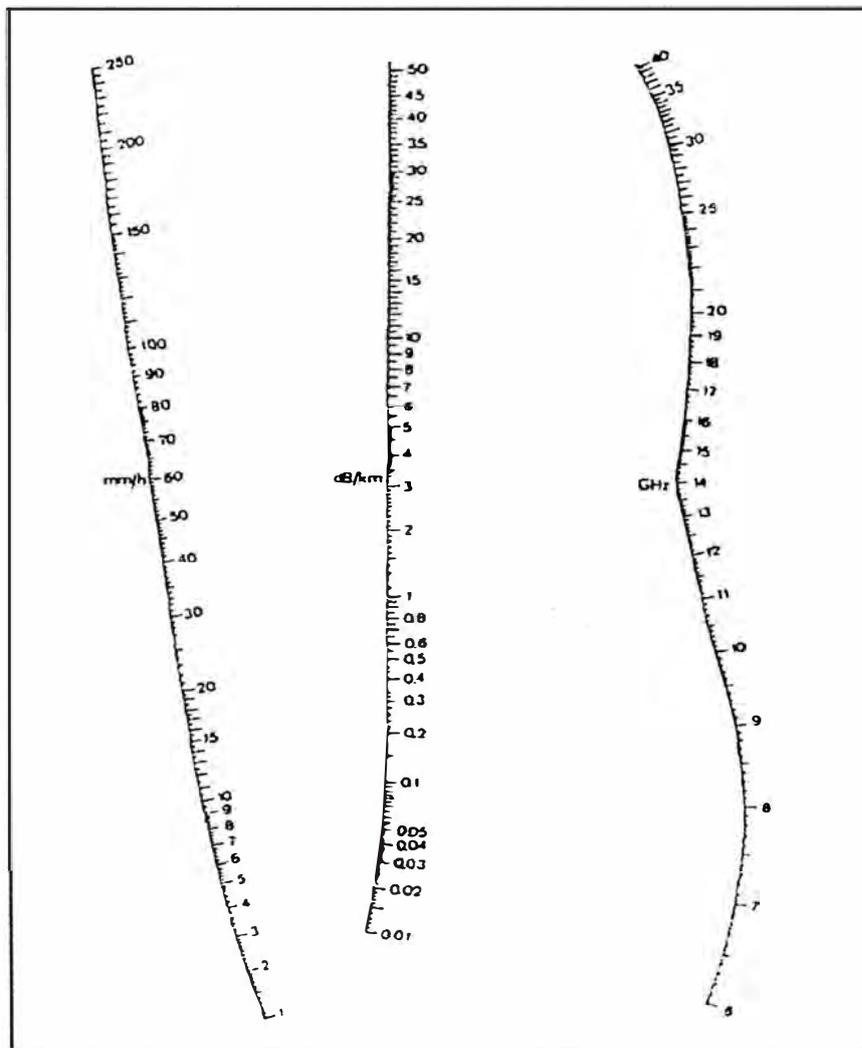


Figura 4.4: Atenuación específica debido a la lluvia: distribución del tamaño de la gota de lluvia, índice de refracción de agua a 18 °C, gotas esféricas.

4.3 CANALIZACION ESTACION BASE – EQUIPO DEL CLIENTE (BS – CPE)

En las canalizaciones entre la estación base y el equipo del cliente se define lo siguiente:

- **Down-Stream** o enlace descendente, que va en la dirección de la estación base hacia el terminal de usuario CPE.
- **Up-Stream** o enlace ascendente, que va en la dirección del terminal de usuario CPE hacia la estación base.

Existe una relación típica de 4/1 entre Down-stream/Up-stream, y dependiendo de la banda e frecuencia y su canalización se puede encontrar aplicaciones simétricas (BW down-stream > BW up-stream). Se presentan en la tabla 4.2 y 4.3 las canalizaciones de 14 MHz y 28 MHz por sector para el Down-stream y de 3.5 y 7 MHz para los CPE's con características típicas de diferentes parámetros empleados en LMDS.

| Channel bandwidth | Down-stream | | | |
|--------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| | 14 MHz | | 28 MHz | |
| Occupied bandwidth | 13.63 MHz | | 27.25 MHz | |
| Roll-off factor | 0.35 | | 0.35 | |
| Modulation | QPSK | | QPSK | |
| Gross bit rate | 20.19 Mbit/s | | 40.37 Mbit/s | |
| Inner code | Convol. 7/8 (k=7) | | Convol. 7/8 (k=7) | |
| Interleaving | depth 12 | | depth 12 | |
| Outer code | Reed-Solomon (204, 188, 8) | | Reed-Solomon (204, 188, 8) | |
| Bit rate before coding | 16.19 Mbit/s | | 32.38 Mbit/s | |
| Link Budget | 25 GHz | 28 GHz | 25 GHz | 28 GHz |
| BS output power (antenna port) | 17 dBm | 17 dBm | 17 dBm | 17 dBm |
| Tx antenna gain | 15 dB | 15 dB | 15 dB | 15 dB |
| Rx antenna gain (with radome) | 35 dB | 34.5 dB | 35 dB | 34.5 dB |
| RF Rx level for VER of 10E-6 | - 84 dBm | - 84 dBm | - 81 dBm | - 81 dBm |
| System gain | 151 dB | 150.5 dB | 148 dB | 147.5 dB |

Tabla 4.2: Enlace Down-stream.

| Channel bandwidth | Up-stream | | | |
|--------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| | 3.5 MHz | | 7 MHz | |
| Occupied bandwidth | 3.36 MHz | | 6.72 MHz | |
| Roll-off factor | 35 % | | 35 % | |
| Modulation | D-QPSK | | D-QPSK | |
| Gross bit rate | 5.38 Mbit/s | | 10.75 Mbit/s | |
| Inner code | Convol. 7/8 (k=7) | | Convol. 7/8 (k=7) | |
| Interleaving | depth 12 | | depth 12 | |
| Outer code | Reed-Solomon (63, 53, 5) | | Reed-Solomon (63, 53, 5) | |
| Bit rate before coding | 4.19 Mbit/s | | 8.38 Mbit/s | |
| Link Budget | 25 GHz | 28 GHz | 25 GHz | 28 GHz |
| TS output power (antenna port) | 14 dBm | 14 dBm | 14 dBm | 14 dBm |
| Tx antenna gain | 35 dB | 34.5 dB | 35 dB | 34.5 dB |
| Rx antenna gain (with radome) | 15 dB | 15 dB | 15 dB | 15 dB |
| RF Rx level for VRR of 10E-6 | - 86.1 dBm | - 86.1 dBm | - 83 dBm | - 83 dBm |
| System gain | 150.1 dB | 149.6 dB | 147 dB | 146.5 dB |

Tabla 4.3: Enlace Up-stream

Asimismo, en la banda de 25 GHz, cada radiocanal tiene un BW = 7 MHz, por lo que se requieren 4 bloques FDD por portadora de 28 MHz, en la banda de 28 GHz que aún se encuentra en subasta en Latinoamérica se requieren 2 bloques FDD, uno de 215 MHz y el otro de 210 MHz, finalmente para la banda de 38 GHz cada radiocanal tiene un BW = 50 MHz.

Adicionalmente hay que considerar lo siguiente: que las antenas sectoriales en las estaciones base deben tener 90 grados de amplitud y las antenas directivas que están ubicadas en las CPE's deben tener una amplitud entre los 3 a 6 grados, debe existir línea de vista entre la estación base y la CPE, la relación C/I debe ser igual a 17 dB (up-stream), la relación F/B en la estación base debe ser 40 dB (antena sectorial) y en

la CPE debe ser 40 dB (antena directiva), la polarización cruzada en la estación base y en la CPE debe ser mejor que 25 dB, la propagación debe ser en espacio libre, las interferencias entre los canales adyacentes debe ser despreciable, la señal útil y la interferente se atenúan en casos de lluvias, etc.

4.4 OPTIMIZACION DE REHUSO DE FRECUENCIAS

Las siguientes técnicas son utilizadas para optimizar el rehuso de frecuencias en redes LMDS:

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

- Maximización del aislamiento entre sectores adyacentes a través de polarización, polarización horizontal (H) y vertical (V) puede ser empleadas a lo largo del sistema según un patrón alternado entre los sectores tal como se muestra en la figura 4.5. La polarización horizontal y vertical es reutilizada a lo largo del sistema.
- Sistemas de modulación multinivel variables.

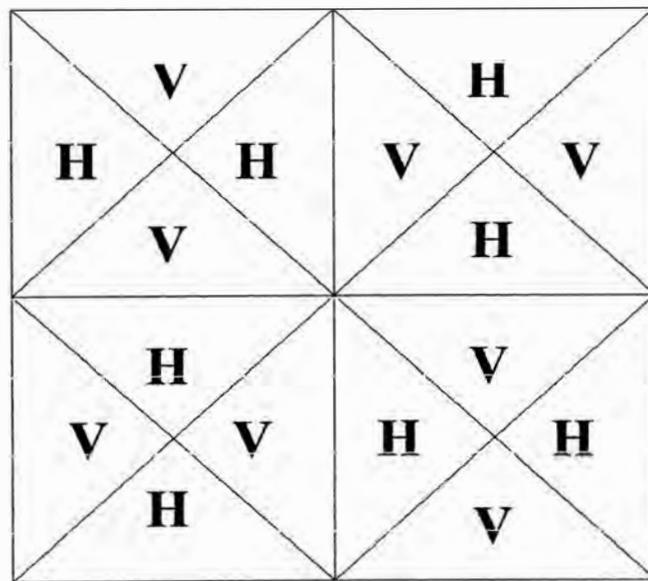


Figura 4.5: Polarización horizontal y vertical.

CAPITULO V

MERCADOS DE NEGOCIOS

5.1 SERVICIOS TIPICOS

Los estándares definidos actualmente (802.16 e Hiperaccess), para el soporte LMDS están pensados para poder ofrecer garantías de calidad de servicio, contemplando los casos de tráfico con requisitos muy estrictos en cuanto a la variación del retardo, tráfico con requisitos establecidos de retardo máximo admisible, o tráfico masivo sin requisitos de retardo, etc. Cabe destacar la alta fiabilidad del bucle de abonado inalámbrico, pese a ser en un entorno radio, mucho más duro y restrictivo que entorno guiados como el par trenzado, el cable coaxial o la fibra.

Una red LMDS garantiza aplicaciones multiservicio con convergencia de servicios pues se basa en un Switch ATM en el Core y permite aplicaciones de Telefonía POT, Telefonía IP, datos en circuitos (Sub E1, nx64Kbit/s), datos en paquetes, etc.

5.1.1 APLICACIONES

La adecuación de la tecnología de acceso LMDS a cada uno de los servicios básicos y más extendidos en la actualidad sería:

- **El servicio de telefonía** puede ofrecerse sin dificultad, puesto que la anchura de banda necesaria es pequeña, y la tecnología dispone de mecanismos que garantizan un retardo máximo admisible. Todos los operadores actuales ofertan este servicio en su cartera de productos.

- **El Acceso a Internet** es el más ofertado por los actuales operadores de bucle de acceso inalámbrico. La tecnología permite que la utilización de este servicio no afecte a otros que utilicen el mismo canal, pudiendo utilizar siempre el sobrante de capacidad para este servicio. Sin embargo, los operadores lo ofertan garantizando una tasa de bit mínima, que van desde los 256 Kbps, pudiendo llegar, según el operador, hasta los 4 u 8 Mbps.

- **Servicios interactivos** (juegos, telebanca, comercio electrónico, etc.) pueden ser soportados por el bucle de acceso inalámbrico siempre y cuando la necesidad de anchura de banda de los mismos no sea excesiva. Los operadores actuales no ofrecen este tipo de servicio, aunque más que a la dificultad de ofrecerlo, responde a que los operadores actuales ofrecen capacidad portadora, mientras que éste sería un servicio final.

- **Para otros (videoconferencia IP o RDSI, VPN, aplicaciones “peer to peer”, circuitos de datos dedicados E1/T1 o n x 64, interconectividad de redes LAN, etc.)** tampoco habría dificultad en ofrecerlos mediante bucle de abonado inalámbrico. Incluso la estructura de la propia red de acceso podría facilitar el soporte de alguno de estos servicios, como es el caso de VPN: la naturaleza punto a multipunto de la técnica de acceso permitiría difundir la información a más de un usuario, reduciendo por tanto la anchura de banda necesaria con respecto a otras técnicas de acceso. La mayoría de los operadores ofrecen este tipo de servicio dentro de su catálogo de productos.

Más complicada es la difusión de programas de televisión. En un principio, y debido a la naturaleza multipunto del sistema (una única transmisión de la estación base es recibida por un conjunto de estaciones de abonado), podría pensarse en la utilización de una o varias portadoras, funcionando en difusión, para la distribución de programas de televisión.

Esta solución, sin embargo, presenta graves inconvenientes:

En primer lugar, la anchura de banda disponible por portadora en los sistemas de bucle inalámbrico difícilmente supera los 40 Mbps, lo que limitaría enormemente la cantidad de programas a difundir.

Además, en zonas de gran densidad de población, la arquitectura normal del sistema presentará un gran número de estaciones base, en algunos casos fuertemente

sectorizada. Para conseguir la difusión de programas de televisión sería necesario dedicar igual número de portadoras en cada sector de cada estación base.

También es importante considerar que ninguno de los equipos estudiados de los existentes actualmente en el mercado, ni ninguno de los cuerpos normativos actuales existentes contemplan la utilización de esta técnica de acceso para la difusión de programas de televisión. Pese a sus limitaciones LMDS podría dar servicios TV, aunque estos no alcanzaran los ofrecidos por redes HFC.

Cada una de las aplicaciones requiere interfaces apropiadas en los CPE. En la figura 5.1 y en la figura 5.2 se presentan esquemas con los diferentes servicios que brinda la tecnología LMDS.

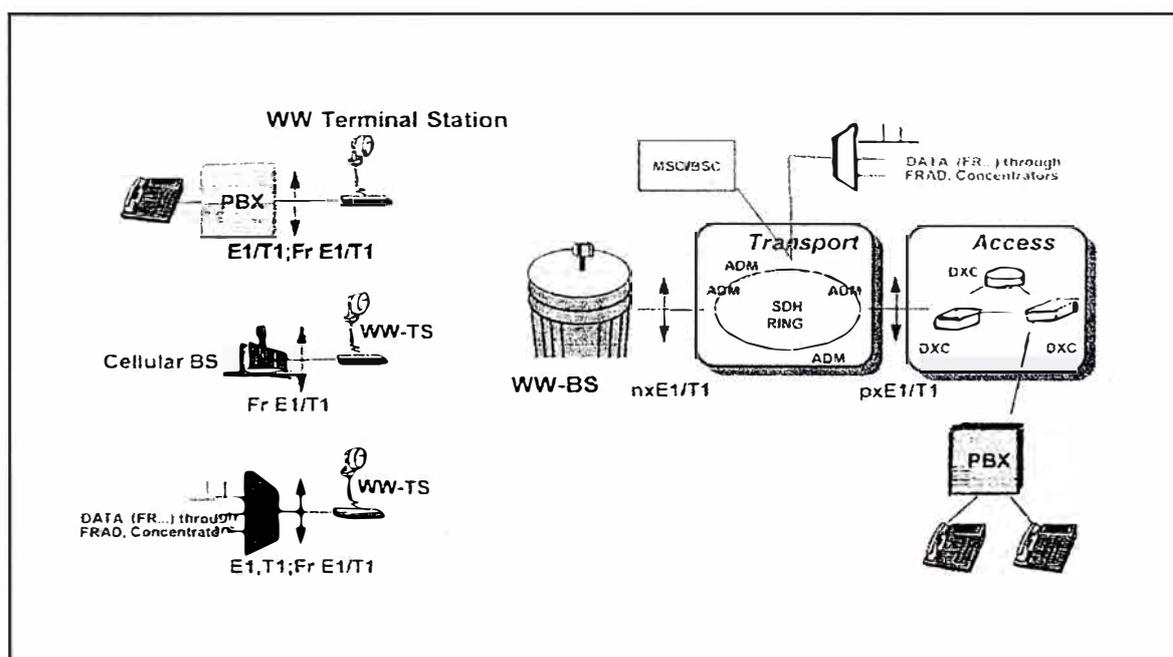


Figura 5.1: Servicio leased lines.

Deberá ponerse especial atención a los terminales multiusuarios, pues permiten instalar como única unidad de exterior (ODU ó radio) en un edificio y al nivel de F1 por cable coaxial se puede atender a diferentes edificios con diferentes y múltiples interfaces de usuario en cada piso. Esta solución multiusuario es de reciente tecnología. Asimismo, otra aplicación es proporcionar transporte para accesos de BTS's de sistemas celulares móviles.

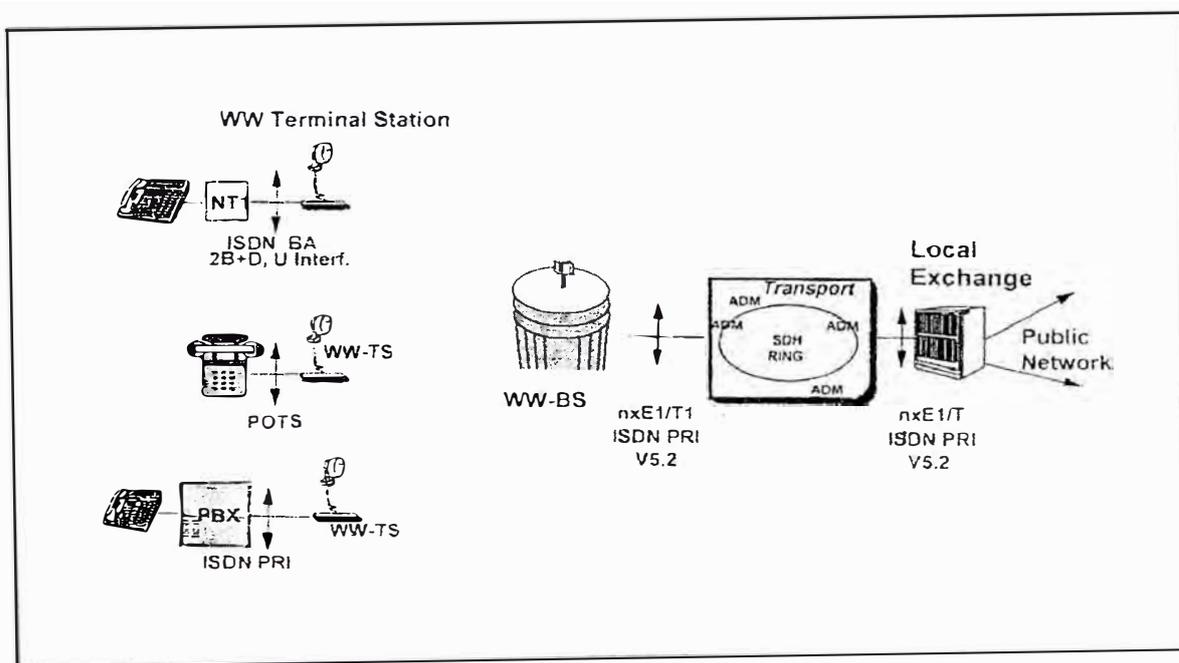


Figura 5.2: Servicio de telefonía en LMDS.

5.2 MERCADOS PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCION LOCAL MULTIPUNTO - LMDS

Los mercados típicos para LMDS son: empresariales (corporativos), SOHO (SmallOffice Home Office), pequeñas pymes y medianas empresas, operadores de servicios Móviles Celulares, comercio, los competidores típicos en cable son módems HDSL y ADSL.

A continuación se muestra la tabla 5.1 en la cual se hace la comparación con otras tecnologías:

| Tamaño del archivo | Dial-up 48 Kbps | ADSL 256 Kbps | LMDS 8 Mbps |
|--------------------|-----------------|---------------|-------------|
| 2 Megabytes | 7 min. | 1.3 min. | 3 seg. |
| 10 | 35 min. | 6.5 min. | 13 seg. |
| 140 | 8.1 horas | 1.5 horas | 3 min. |

Tabla 5.1: Comparación de LMDS con otras tecnologías.

Asimismo, es necesario indicar que el segmento del mercado de negocios del sistema LMDS generalmente debe tener ambientes urbanos, acceso a edificios altos para de esta manera tener una alta probabilidad de línea de vista, acceso a ambientes de altas capacidades, alta densidad de edificios (usuarios) de manera que sea los suficiente para soportar hubs cercanamente espaciados, además de tener muy presente los negocios de tamaño pequeño a mediano y los mercados escondidos ya que en estos mercados donde se generan las expectativas de crecimiento más alto que el promedio en requerimientos de datos, tal como se puede apreciar en la figura 5.3.

Es realmente importante realizar un estudio de mercado “in situ” a fin de obtener datos confiables para elaborar el business plan al momento de formular y evaluar un proyecto LMDS en una ciudad.

Asimismo de tomarse en cuenta la presencia de operadores con concesión para servicios portador local y las tarifas de los diferentes servicios ofrecidos.

| SEGMENTO DEL MERCADO | VELOCIDAD REQUERIDA | DENSIDAD DE DATOS | ACCESO INALAMBRICO | ALTERNATIVA ALAMBRICA |
|----------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Negocios Grandes | > 45 Mbps | 5 - 40 Mbps / km ² | Punto a punto | FTTB xDSL Líneas dedicadas |
| Negocios Medianos | 1.5 - 10 Mbps | | PMP 10 - 40 GHz | |
| Negocios Pequeños | 0.5 - 1.5 Mbps | | | |
| SOHO | 384 - 512 kbps | 0.2 - 1.3 Mbps / km ² | Banda ISM Banda UNII (5.8 GHz) | ADSL HFC |
| Residencial | 128 - 256 kbps | | MMDS (3.5 GHz) | |

Figura 5.3: Segmento del mercado vs. Tecnología

En general deberán tomarse en cuenta todos los egresos e ingresos, impuestos y todo tipo de vida útil de los equipos así como los gastos de sustitución en el periodo de concesión.

Los aspectos más importantes que los inversores privados deben considerar son:

- CAPEX : Inversión de Capital (Bienes).
- OPEX : Costos Operativos.
- REV GEN : Ingresos.
- CASH FLOW : Flujo de Caja con recuperación de la inversión en un período (Pay back).
- P&L : Ganancia y pérdidas.

5.3 CASO PRACTICO DE UN SISTEMA LMDS

Por razones de seguridad y protección de la información del operador del sistema LMDS, no se ha podido obtener la información de la implementación de una red LMDS en el Perú, por lo que a continuación se muestra el caso practico de un sistema LMDS implementado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina.

En la tabla 5.2 se muestran las bandas y los valores de los planes de frecuencias asignados en Argentina. Los mismos tienen diferencias con respecto a los planes seleccionados para USA y Europa (que a su vez son distintos). Los planes de frecuencia se componen de dos sub-bandas (N-N') que son usados para los enlaces de ida y de vuelta (uplink o upstream y downlink o downstream). Se denomina "*Shift*" a la separación entre portadoras de ida y de vuelta N-N'. El valor de

separación entre portadoras adyacentes X determina el método de modulación necesario para cada velocidad de transmisión de la banda base digital.

| 10 GHz | | 24 GHz | | 28 GHz | |
|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|
| A | 10.150 - 10.180 | E | 24.250 - 24.290 | F | 25.350 - 25.850 |
| B | 10.180 - 10.210 | D | 24.290 - 24.330 | E | 25.850 - 26.350 |
| C | 10.210 - 10.240 | C | 24.330 - 24.370 | D | 26.350 - 26.850 |
| D | 10.240 - 10.270 | B | 24.370 - 24.410 | C | 26.850 - 27.350 |
| E | 10.270 - 10.300 | A | 24.410 - 24.450 | B | 27.350 - 27.850 |
| A' | 10.500 - 10.530 | E' | 25.050 - 25.090 | A | 27.850 - 28.350 |
| B' | 10.530 - 10.560 | D' | 25.090 - 25.130 | F' | 29.100 - 29.175 |
| C' | 10.560 - 10.590 | C' | 25.130 - 25.170 | E' | 29.175 - 29.250 |
| D' | 10.590 - 10.620 | B' | 25.170 - 25.210 | D' | 31.000 - 31.075 |
| E' | 10.620 - 10.650 | A' | 25.210 - 25.250 | C' | 31.075 - 31.150 |
| | | | | B' | 31.150 - 31.225 |
| | | | | A' | 31.225 - 31.300 |

Tabla 5.2: Planes de frecuencia para servicios LMDS en Argentina.

Por ejemplo, la empresa NSS tiene asignada la banda de 24 GHz que ocupa el espacio entre 24.250-24.450 MHz para la banda de ida y 25.050-25.250 MHz para la vuelta. La sub-banda C ocupa un ancho de banda de 40 MHz entre 24.330-24.370 MHz y 25.130-25.170 MHz con un "Shift" de 800 MHz. En la medida que se asciende en la banda de frecuencias el ancho de banda disponible se incrementa (40 MHz en 24 GHz y 500 MHz en 28 GHz), pero la cobertura del sistema se reduce por efecto de la atenuación del espacio libre y la lluvia.

5.3.1 ELEMENTOS.

Los elementos del sistema LMDS se muestran en la figura 5.4 y son los siguientes:

- **Estación Base.** Se compone de una unidad interior **IDU** (Indoor Unit) que contiene el acceso a la red de transporte y la conexión a la unidad externa. La unidad exterior **ODU** (Outdoor Unit) contiene el transceptor y la antena.
- **Estación Remota.** Se compone también de una unidad ODU y otra IDU. Esta última conecta el sistema LMDS a la red del cliente.

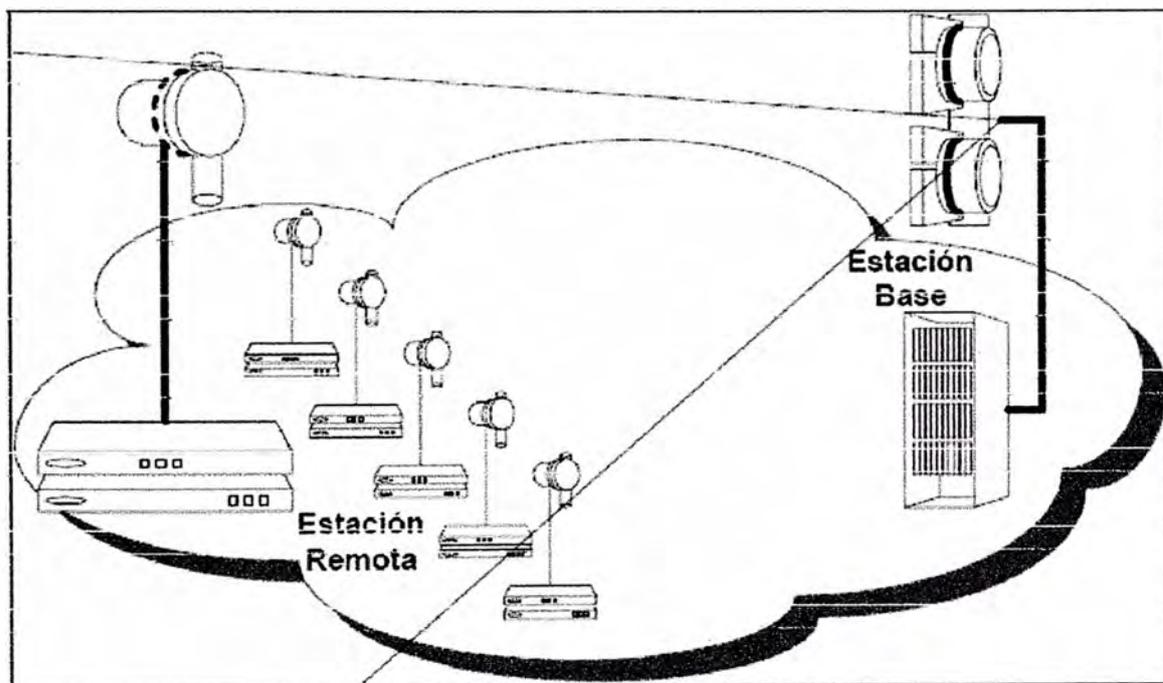


Figura 5.4: Componentes del Sistema LMDS.

5.3.4 COBERTURA DE LA ESTACION BASE.

La cobertura del sistema LMDS es del tipo celular donde la estación base ocupa el centro de un círculo. Las antenas utilizadas son típicamente de 90°; con 4 sectores se

cubre la totalidad de la zona. Para lograr mejor cobertura de zonas puntuales se utilizan antenas más direccionales (15°, 30°, 45° y 60°). Para zonas más dispersas pueden usarse arreglos de antenas que ocupen 180° y 360°. En la estación remota la antena es decididamente parabólica ya que debe apuntar a la antena de la estación base.

La longitud de alcance depende de diversas razones. La atenuación del espacio libre es función del logaritmo de la frecuencia por lo cual con mayores frecuencias el alcance es menor. La atenuación de la lluvia es la principal causa de cortes. Esta atenuación se incrementa con la frecuencia y con la densidad de lluvia (isopleta o zona climática). También se considera que la atenuación por lluvia es mayor para la polarización horizontal que para la vertical. Esta combinación de factores debe ser relacionada con la disponibilidad requerida, en términos de porcentaje de tiempo.

Por ejemplo, considérese la tabla 5.3 siguiente. Se presenta el resultado de cálculo de cobertura máxima con los siguientes parámetros:

Sistema LMDS para la banda de 24 GHz operando en la zona de densidad de lluvia 100 mm/h (Buenos Aires).

El cálculo considera dos métodos de modulación (4PSK y 16QAM) donde la potencia de transmisión es del orden de 23 y 21 dBm respectivamente. La sensibilidad del receptor considerada es de -87 y -83 dBm.

- La ganancia de antenas combinada (base y remota) es de 52 dB.
- La disponibilidad considerada es de 99,9% hasta 99,999%.
- Entonces podemos decir que para una disponibilidad del 99,9% (baja disponibilidad), con una modulación 16QAM (alta eficiencia espectral) y con polarización horizontal (peor caso), la longitud de cobertura es de 5,7 km.

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|-------|------|--------|-------|------|----------|-------|------|--------|-------|------|
| Densidad de lluvia | 100 (Buenos Aires - La Plata - Rosario - Mar del Plata) | | | | | | | | | | | |
| Polarización | Horizontal | | | | | | Vertical | | | | | |
| Modulación | 4 PSK | | | 16 QAM | | | 4 PSK | | | 16 QAM | | |
| Porcentaje Cobertura en km | 99.999 | 99.99 | 99.9 | 99.999 | 99.99 | 99.9 | 99.999 | 99.99 | 99.9 | 99.999 | 99.99 | 99.9 |
| | 1.3 | 2.8 | 7.5 | 1.2 | 2.3 | 5.7 | 1.6 | 3.5 | 10 | 1.4 | 2.9 | 7.2 |

Tabla 5.3: Cobertura en km para un sistema LMDS en la banda de 24 GHz.

Teniendo en cuenta la tabla de cobertura anterior es posible generar un diagrama de cobertura para un área como se muestra en la figura 5.5. En la misma se observa el área extendida en Buenos Aires-Argentina con varios sitios de celdas y con sectores de antenas con cobertura de 90°.

5.3.3 MULTIPLEXACION Y MODULACION.

El proceso de multiplexación utilizado en los sistemas LMDS son el FDMA y TDMA.

- En el primer paso mediante FDMA el ancho de banda disponible en el espectro (por ejemplo, 40 MHz en la banda de 24 GHz) es dividido en sub-bandas para ser usado en los distintos sectores (por ejemplo, 4 sub-bandas de 10 MHz cada una).

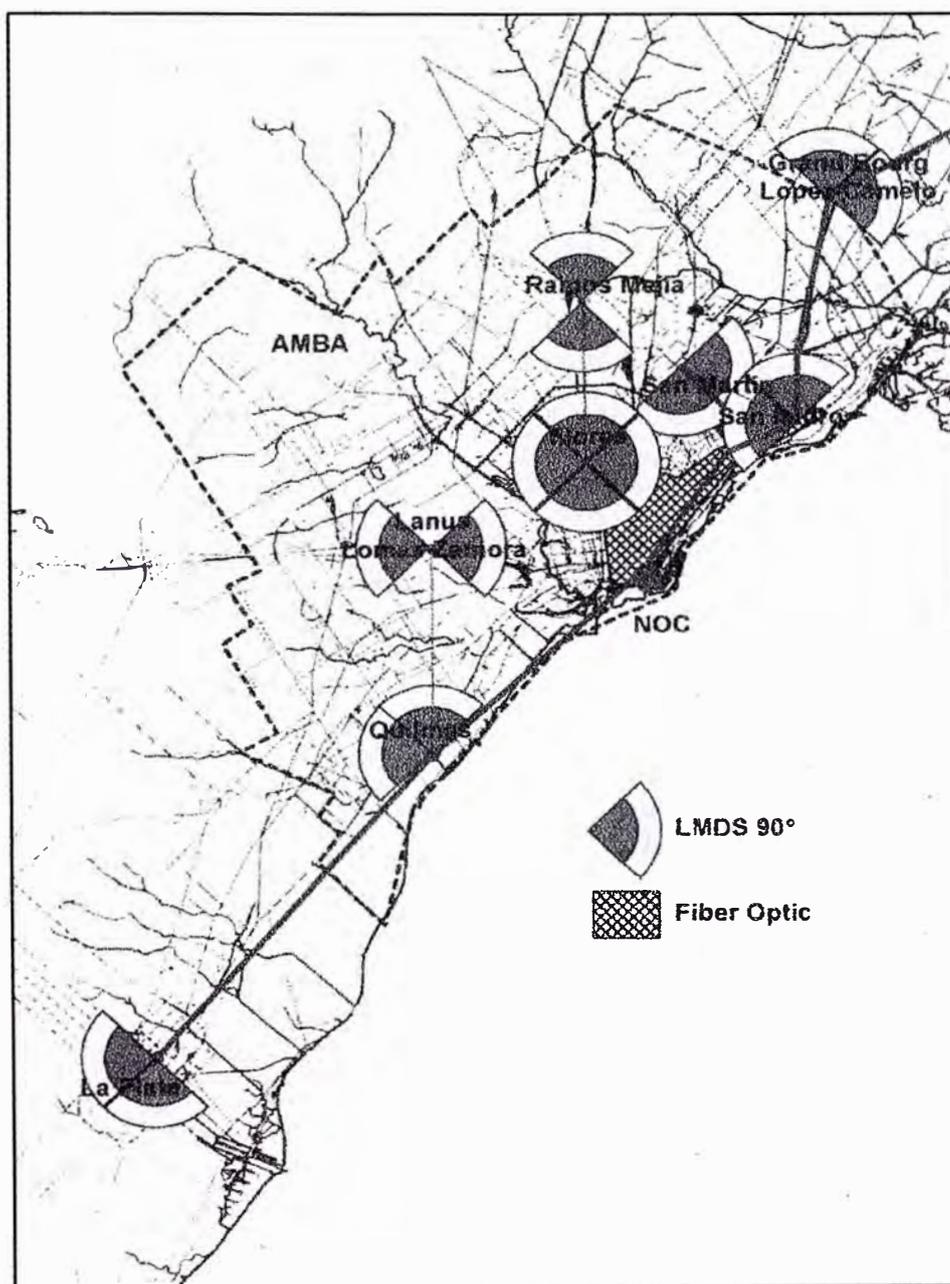


Figura 5.5: Ejemplo de Cobertura con celdas LMDS.

- Estas sub-bandas pueden ser multiplexadas en forma FDMA (seleccionando una portadora para cada estación remota dentro del sector) donde la velocidad puede ser fija o por demanda. La velocidad fija es útil para aplicaciones de emulación de circuitos (E1, T1, etc) y la variable para aplicaciones de datos IP (Internet).
- Otra forma de multiplexación es generando una trama TDMA. En este caso el espectro completo de la sub-banda es ocupado una señal de alta velocidad y que contiene intervalos de tiempo asignados para cada estación remota. La asignación de intervalos puede ser fija o dinámica (por ejemplo ATM).
- La duplexión (forma de combinar las señales de transmisión y recepción –upstream y downstream-) puede ser FDD por división de frecuencia o de tiempo TDD. En las bandas analizadas se utiliza el sistema FDD; por ejemplo, en la banda de 24 GHz el “sshift” entre ambos sentidos es de 800 MHz.

La modulación utilizada sobre los sistemas LMDS varían desde los de baja densidad espectral (4PSK) hasta alta densidad (16QAM y 64QAM). El incremento de niveles de fase mejora la eficiencia espectral pero reduce la sensibilidad del demodulador. Para mejorar las prestaciones frente al “rain fade” (degradación de la señal por efecto de la lluvia) recurre a métodos de corrección de errores del tipo **FEC** (Forward Error Correction); por ejemplo RS-216/236. Otros diseños han recurrido a métodos de corrección de errores diversos como el FEC convolucional del tipo Viterbi; por ello la modulación es 8/16-TCM.

CONCLUSIONES

El sistema LMDS presenta bajos costos de introducción y desarrollo, en comparación de los sistemas con cableado, asimismo nos proporciona una estructura rápidamente escalable basada en la demanda, cobertura y concentración de edificios. Los costos de mantenimiento, manejo y operación del sistema son bajos.

El crecimiento de la red es más rápido y fácil por la sencillez de la instalación, por ejemplo, en el emplazamiento de las antenas es muy sencillo dado el pequeño tamaño de éstas y por la naturaleza inalámbrica de la comunicación. Asimismo, las inversiones iniciales son más bajas que en otras tecnologías de acceso, por lo que el tiempo de retorno es más rápido gracias a la rápida respuesta a las oportunidades de mercado. La habilidad para manejar múltiples puntos de acceso de alta capacidad con tiempos de instalación reducidos (por tratarse de una tecnología inalámbrica) sin tener la preocupación de obtener los derechos de instalar cableados externos.

Este sistema LMDS nos permite obtener velocidades de acceso de hasta 34 Mbps/portadora y por sector. Asimismo nos permite redistribuir el ancho de banda entre clientes a tiempo real, nos brinda una robusta plataforma multiservicios de alta capacidad que permite el ofrecimiento de servicios como acceso a Internet a alta velocidad, interconexión de redes, voz sobre internet, voz, video conferencias, entre otros.

Los equipos están diseñados para trabajar en altas frecuencias, lo cual asegura que el servicio no se vea afectado por los cambios ocurridos en el medio ambiente, la confiabilidad del enlace en los sistemas LMDS son buenas por la capacidad de redundancia que se realiza, asimismo nos brinda simetría ó asimetría en el enlace, es decir, en las velocidades de up-stream y down-stream.

Debido a que el sistema LMDS trabaja con frecuencias muy elevadas, requiere la existencia de una línea de vista o camino sin obstáculos entre la estación base y la antena del usuario.

El sistema LMDS es un sistema radio con cobertura entre 2 a 7 Km., lo cual limita el alcance máximo de los servicios que soporta. Para dotar a zonas muy densamente pobladas, que posean condiciones metereologicas desfavorables, con presencia de alto trafico de datos, son necesarias celdas de aproximadamente 2 Km, por lo que tendríamos que aumentar el número de celdas (aumentar el costo de la infraestructura) para seguir atendiendo a la misma capacidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. W. Honcharenko, J. P. Kruys, D. Y. Lee, N. J. Shah, "Broadband Wireless Access", IEEE Communications Magazine, 1997.
2. Clint Smith, "LMDS", Mc Graw Hill, 2000.
3. William Stallings, "Wireless Communications and Networks", Prentice Hall, 2002.
4. "Comunicaciones Fijas Inalámbricas", Inictel, 2002.
5. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Sección Telecomunicaciones, Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, Perú, <http://mtc.gob.pe/secom/index.htm>
6. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Sección Telecomunicaciones, Concesiones Otorgadas, Perú, <http://mtc.gob.pe/secom/index.htm>
7. "Local Multipoint Distribution System (LMDS) Tutorial", Nortel Network, 2003, <http://www.webproforum.com/nortel4/index.html>
8. "Tecnología LMDS: El Caso de Neo", <http://www.tecnomarkets.com/servicios/tecnonews/research3.htm>
9. Martin Grado Caffaro, "El Panorama de Negocio - LMDS", Revista Comunicaciones World Redes y Telecomunicaciones, 1998, <http://idg.es/comunicaciones/mainart.asp?artid=57856>
10. Alberto Murillo, "Redes de Acceso 2", 2003. <http://www.albertomurillo.com>
11. Ramon Millan Tejedor, "LMDS", Revista BIT N° 138, 2003, <http://217.116.8.23/publicac/publbit/bit138/quees.pdf>

12. Leland Langston, Roger Marks, Eli Reese, "Wireless Communication and System", IEEE, 1999, http://nwest.nist.gov/tutorial_ets.pdf
13. Wireless Communications Association International WCAI, "LMDS Overview", 2003, <http://www.wcai.com/lmds.htm>
14. Ángel María Anduela Unamua, "Tecnologías de Acceso Fijo Inalámbrico LMDS", Universidad Pública de Navarra, 2002, <http://www.unavarra.es/organiza/etsiit/cas/estudiantes/pfc/redaccna/archivos%20descarga/LMDS.pdf>
15. Francisco Ramos, "LMDS", Universidad Politécnica de Valencia, 2002, <http://personales.ya.com/pagina/lmds.htm>
16. Ellen Jensen, "LMDS Elixir", Wireless Review, 1999, http://bg.wirelessreview.com/ar/wireless_lmms_elixir/