

T/621.381/A64

Diseño e Implementación de una Red de Voz Datos y Video en una Plataforma Local Multipoint Distribution System

LMDS



Por:

Bachiller Alonso Aquise Laura

***Tesis presentada a la Escuela de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica de la Universidad Nacional del Callao para
optar el grado académico de Ingeniero Electrónico.***

Asesor :

Ing. Julio Venero Villafuerte

Enero del 2006

Callao – Perú

Dedicatoria

A Dios por darme la vida hasta hoy
A mis padres de quien soy prolongación de su vida
A mi hermana por ser el sostén en mis momentos difíciles
Y para ti amiga que eres muy especial en mi vida

AGRADECIMIENTO

Al ingeniero Julio Venero por su apoyo como asesor y amigo en el desarrollo de este trabajo por sus observaciones y contribuciones que han servido para la mejora del mismo.

Al personal de COMSAT PERU, en especial al ingeniero Alfredo Arnulfo por su apoyo, aporte bibliográfico y experiencia laboral para el desarrollo del trabajo en mención. A mi ex jefe Ing. Ramsay Reátegui, a todos mis compañeros del área de Operaciones por su comprensión y compañerismo durante mi estancia en la empresa.

Y en general a todos los que fueron mis compañeros de trabajo de las diferentes áreas de COMSAT PERU. A las señoritas Patricia Suárez y Maria Luisa Alcalde por su ayuda en la corrección de mi Tesis.

2.6.1 Ventajas frente a sistemas cableados e inalámbricos	Pag 41
2.6.2 Desventajas del sistema LMDS	Pag 43
2.7 Plan de negocios para el mercado peruano	Pag 43
2.7.1 Operadores ADSL	Pag 43
2.7.2 Operadores con RDSI	Pag 44
2.7.3 Operadores con Fibra Óptica	Pag 44
2.8 Estudio de radiaciones permisibles según el MTC	Pag 45

Capitulo III Sistemas para tecnología LMDS

3.1 Sistemas LMDS	Pag 49
3.2 Sistema Airstar (Netro)	Pag 54
3.3 Componentes del sistema Airstar	Pag 56
3.3.1 Base Station Shelf (BSS)	Pag 57
3.3.1.1 Funcionamiento	Pag 58
3.3.1.2 BSS controller Module ASC	Pag 60
3.3.1.3 Broadbant network module BNM	Pag 60
3.3.1.4 Base sector controller BSC	Pag 61
3.3.1.4.1 Características de la BSC	Pag 62
3.3.2 Base Unit Modem BMU	Pag 63
3.3.2.1 Características del BMU	Pag 63
3.3.2.2 Control automático del SAS	Pag 64
3.3.3 Base Radio Unit BRU	Pag 64
3.3.3.1 Características del BRU	Pag 65
3.3.3.2 Cableado en la estación base	Pag 67
3.3.4 Suscribe Acces System	Pag 68
3.3.4.1 Características del SAS	Pag 69
3.3.5 Suscribe Radio Unit	Pag 71
3.3.5.1 Características del SRU	Pag 72
3.3.6 El agente SNMP	Pag 74
3.3.6.1 BCS / SAS MIB	Pag 74
3.3.6.2 Sistema de redundancia	Pag 74
3.3.7 Elementos del Management System	Pag 76
3.3.8 Cellmac	Pag 77
3.3.8.1 Características de la cellmac	Pag 78

3.3.8.2 Modelo de referencia de la cellmac en ATM	Pag 79
3.3.8.3 Transmisión de subida y bajada	Pag 80
3.3.8.4 Formato de la unidad del protocolo cellmac	Pag 81

Capitulo IV Diseño de una celda LMDS

4.1 Penetración del sistema y calidad de servicio	Pag 84
4.2 Balance de potencia	Pag 86
4.3 Tamaño de celda y coste del sistema	Pag 89
4.4 Reutilización de frecuencia	Pag 90
4.5 Calculo de la capacidad de una celda	Pag 93
4.6 Calculo de la capacidad de una celda	Pag 96
4.6.1 Cantidad de canales usados por espectro	Pag 96
4.6.2 Capacidad por canal existente	Pag 97
4.6.3 Cantidad de canales por sector	Pag 97
4.6.4 Máxima capacidad de datos por sector	Pag 98
4.6.5 Sectores por hub	Pag 98
4.7 Mejora del sistema a través de la modulación.	Pag 98
4.7.1 Capacidad por canal existente (16QAM)	Pag 98
4.7.2 Cantidad de canales por sector (16QAM)	Pag 99
4.7.3 Máxima capacidad por sector (16QAM)	Pag 99

Capitulo V Implementación y diseño De una red para transmitir voz, dato y video para la UNAC

5.1 Marco teórico	Pag 100
5.1.1 Transmisión de voz, dato y video	Pag 100
5.1.2 Posibles problemas de transmisión de voz y video	Pag 102
5.1.2.1 Retardo en la comunicación	Pag 102
5.1.3 Codificación de Voz	Pag 104
5.1.4 Estándar H.233	Pag 105
5.1.5 Transmisión de voz	Pag 107
5.2 Introducción al proyecto	Pag 108

5.2.1 Ubicación Geográfica	Pag 108
5.2.2 Importancia del Proyecto	Pag 106
5.2.3 Producto	Pag 108
5.3 Descripción del Sistema	Pag 109
5.4 Matriz de insumo y costo	Pag 110
5.5 Estudio de vista	Pag 111
5.6 Estudio de vista desde el nodo en el centro de lima a La ciudad universitaria	Pag 113
5.7 Estudio de vista desde el nodo en el centro de lima a Rectorado de la UNAC	Pag 117
5.8 Implementación de la red	Pag 121
6. Conclusiones	Pag 122
Anexos	
1 Términos y definiciones	Pag 124
2 Cálculos para límites permisibles de radiación	Pag 127
3 Cálculos para el enlace de microondas	Pag 130
4 Características de los equipos Netro	Pag 133
Bibliografía	

Figuras

Figura 2.1	Arquitectura de un sistema LMDS	Pag 8
Figura 2.2	Diagrama de cobertura de una estación Base	Pag 16
Figura 2.3	Relación de ganancia con el ángulo de elevación	Pag 18
Figura 2.4	Uso de los canales FDMA	Pag 19
Figura 2.5	TDM con hub controlando (Dowlink)	Pag 19
Figura 2.6	TDMA con sitios alterantes	Pag 21
Figura 2.7	Plan de frecuencias PMP FDD continuas y no continuas	Pag 23
Figura 2.8	Frecuencias PMP TDD ,con el plan FDD correspondiente	Pag 24
Figura 2.9	Planes de canal para sistemas PMP FDMA FDD y TDD	Pag25
Figura 2.10	Esquema de transmisión entre el hub y el remoto	Pag26
Figura 2.11	Canales de guarda y anchos de banda FDD	Pag 27
Figura 2.12	Gráficos de canal de guarda estrechos y amplios	Pag28
Figura 2.13	Diagrama de bloques de una modulación QAM	Pag31
Figura 2.14	Constelación de modulación 4QAM y 16 QAM	Pag32
Figura 2.15	Antena sectorial para una estación LMDS	Pag34
Figura 2.16	Instalación en el abonado	Pag34
Figura 3.1	Sistema Airstar	Pag 54
Figura 3.2	Arquitectura de un sistema Airstar	Pag 55
Figura 3.3	Esquema de un sistema LMDS con equipos Netro	Pag 56
Figura 3.4	Vista física de la BSS	Pag 57
Figura 3.5	Tarjetas de la BSS	Pag 58
Figura 3.6	Arquitectura del hardware del BSS	Pag 59
Figura 3.7	Tarjetas de la BCS	Pag 63
Figura 3.8	BRU de 10 GHz y 26 GHz	Pag 65
Figura 3.9	Cableado de la estación base	Pag 68
Figura 3.10	Vista física del SAS	Pag 69
Figura 3.11	Conectividad Ip vía SAS	Pag 70
Figura 3.12	SRU de 10 GHz y 26 GHz	Pag 72
Figura 3.13	Estación base redundante	Pag 76
Figura 3.14	Sistema Airview	Pag 77
Figura 3.15	Modelo de sistemas ATM para sistemas wireles	Pag 79
Figura 3.16	Transmisión de subida y bajada	Pag 81

Figura 3.17	Formato de la MAC para la Bajada	Pag 81
Figura 3.18	Formato de la celda ATM para flujo de subida	Pag 82
Figura 3.19	Contenido del formato del minislot	Pag 83
Figura 4.1	Curvas de BER para una modulación 64QAM	Pag 87
Figura 4.2	Diagrama de radiación para una antena sectorial de 90°	Pag 91
Figura 4.3	Planificación celular con 4 frecuencias 1 polarización y sector de 90°	Pag 92
Figura 4.4	Planificación celular con 4 frecuencia 2 polarizaciones y sector de 90°,30°	Pag 93
Figura 4.5	Esquema del espectro asignado al operador	Pag 97
Figura 5.1	Esquema de transmisión de voz, dato y video	Pag 101
Figura 5.2	Esquema de una red H.233	Pag 106
Figura 5.3	Esquema del control de transmisión	Pag 107
Figura 5.4	Esquema del proyecto general para la UNAC	Pag 112
Figura 5.5	Estudio de vista (Estación Base Ciudad Universitaria)	Pag 115
Figura 5.6	Resultado del estudio de vista (Estación Base Ciudad universitaria)	Pag 116
Figura 5.7	Estudio de vista (Estación Base Rectorado de la UNAC)	Pag 119
Figura 5.8	Resultado del estudio de vista (Estación Base Rectorado de la UNAC)	Pag 120

Tablas

Tabla 2.1	Banda de frecuencia asignada a Canadá	Pag 37
Tabla 2.2	Plan de frecuencia para Argentina	Pag 38
Tabla 2.3	Plan de frecuencia de un operador a 26 GHz	Pag 41
Tabla 2.4	Rango de exposición ocupacional	Pag 46
Tabla 2.5	Rango de exposición Poblacional	Pag 47
Tabla 3.1	Cuadro comparativo de proveedores de LMDS	Pag 50
Tabla 4.1	Parámetros típicos de un enlace LMDS	Pag 88
Tabla 4.2	Selectividad de canal adyacentes para diversas modulaciones	Pag 94
Tabla 5.1	Tipos de codificación de voz	Pag 105
Tabla 5.2	Materiales y costos para el proyecto	Pag 110
Tabla 5.3	Costo de la mano de obra	Pag 111
Tabla 5.4	Cuadro de Datos (Centro de Lima – Ciudad universitaria)	Pag 113
Tabla 5.5	Cuadro de datos (Centro de Lima – Rectorado)	Pag 117

CAPITULO I

Introducción

1.1 Prólogo

El siguiente trabajo desarrollado responde a un estudio de la tecnología inalámbrica LMDS que trabaja en altas frecuencias; para lo cual se ha realizado un estudio teórico y práctico de la misma. El modelo del proyecto en el cual se basa mi estudio se encuentra actualmente operando con otras tecnologías, para este proyecto se diseñó con la tecnología LMDS por las características que se mencionan más adelante el cual le da un mayor rendimiento con respecto a su competidor de transmisión por cable y sus similares inalámbricos y así realizar una transmisión de las señales de voz, dato y video a través de un enlace inalámbrico (LMDS), por donde también se podría dar un servicio de Internet por sus ventajas en la calidad de transmisión y por su característica simétrica.

También, se ha introducido algunos conceptos nuevos y aclarando algunos necesarios para un mejor entendimiento del tema; teniendo en cuenta que el presente trabajo está dirigido a estudiantes que comienzan su estudio en el área de telecomunicaciones o personas en general .

Luego se realiza un análisis de la mejor opción dentro de los proveedores de LMDS. Finalmente, se complementa el proyecto con una propuesta de implementación para una red de transmisión de voz, datos y video para la Universidad Nacional del Callao.

Este trabajo pretende dar una visión, a los estudiantes de ingeniería, sobre una manera de realizar el estudio de una tecnología y la forma de aplicarla en el mercado, sin dejar de tomar en cuenta el estudio de las normas vigentes que son impuestas por el Estado Peruano.

Por último, debo manifestar que este trabajo aspira ser un aporte al conocimiento de los sistemas inalámbricos como un medio de transmisión de banda ancha y una opción viable en nuestro País, para los nuevos operadores, observando a LMDS

como una alternativa tecnológica en la competencia del mercado de las telecomunicaciones.

1.2 Objetivo

Proporcionar un conocimiento general actualizado sobre la tecnología LMDS, estudiar los principales aspectos que se deben de tener en consideración en la planificación y dimensionamiento de este sistema inalámbrico además de tenerlo como medio de transmisión de banda ancha para brindar servicios de voz, dato y video, con la opción de adicionar el servicio de internet y así poder tener una mejora económica para el usuario aprovechando la infraestructura física ya puesta en servicio.

Luego realizar un análisis de esta tecnología inalámbrica y su viabilidad económica y tecnológica en el país. Adicionalmente tratar de dar algunos aportes para el mejoramiento del sistema como: la mejora de la capacidad en cada sector mediante técnicas de modulación de mayor niveles de fase como 16 QAM y 64 QAM para el enlace inalámbrico.

Por último poner a LMDS como una alternativa viable y con una confiabilidad y calidad superior a sus competidores.

1.3 Descripción

El trabajo desarrollado se encuentra dividido en dos partes principales:

El estudio teórico propio del sistema LMDS sus características ventajas, proveedores y el soporte que esta tecnología posee para el desarrollo del proyecto.

El estudio del desarrollo de un proyecto como complemento al estudio teórico para poner en el alcance del lector como se desarrolla y la implementación de la misma.

El capítulo II proporciona los fundamentos y definiciones de la tecnología LMDS, su arquitectura, factores de la viabilidad tecnológica y un estudio del marco legal de la misma.

El capítulo III realiza una comparación de las tecnologías LMDS existentes en el mercado y la descripción detallada de una de ellas, en este caso la tecnología

NETRO partiendo desde su arquitectura y el protocolo que realizan el manejo de los sistemas de monitoreo (CELLMAC).

El capítulo IV realiza un estudio para la planificación de una red LMDS y luego como se efectúan los cálculos para el diseño de la celda LMDS y su respectiva mejora, a través de la variación del tipo de modulación y también las limitaciones que ésta pudiera tener.

En el capítulo V se pondrá en marcha el desarrollo de la implementación de una red para la transmisión de voz, dato y video, con opción de poder dar el servicio de Internet. Luego se explica los pasos que se ejecutan para el desarrollo de la red y su monitorización, en este caso simulando como usuario a la Universidad Nacional del Callao con dos puntos a comunicarse la ciudad universitaria y el rectorado.

Finalmente esperamos que los puntos sean claros y sirvan para mejorar el desarrollo de nuevos estudios sobre las mismas, como el mejoramiento de las redes inalámbricas para evitar dejar las zonas de sombra, realizar una mejora para la cobertura del radio de alcance.

CAPITULO II

Marco Teórico

LOCAL MULTIPOINT DISTRIBUTION SYSTEM (LMDS)

2.1. Definición de LMDS

Podemos definir a LMDS (Local Multipoint Distribution System) como un sistema radioeléctrico de tipo punto multipunto, utilizado para la distribución de banda ancha. La tecnología LMDS se inscribe en el marco de multimedia permitiendo la transmisión de servicio de voz, data, video e internet con una confiabilidad y calidad superior a otras tecnologías.

Se observa que para cumplir el requisito de multipunto se ha asignado una banda de frecuencia para cada operador (según la licencia del país donde se da el servicio) en un área definida y para cumplir el requisito de banda ancha se necesita recurrir a bandas de alta frecuencia.

El sistema LMDS utiliza estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir de tal manera que en cada una de ellas se agrupa un cierto número de usuarios generando así una estructura basada en celdas (área de servicio), donde el radio de cobertura en promedio es de 6 Km. dependiendo la frecuencia que esté usando el operador.

Y como indica la primera sigla de su nombre L (local), porque la transmisión tiene lugar en términos de distancia cortas aunque se tiene casos como el que observaremos en este estudio donde se tiene una cobertura de 16 Km.

LMDS, está inscrito dentro del contexto de las comunicaciones fijas, porque a pesar de su estructura celular, este sistema no presenta la posibilidad de traspaso de celdas, como las comunicaciones celulares.

2.2. Arquitectura del sistema LMDS

El sistema LMDS utiliza una arquitectura punto multipunto (PMP), pero a pesar de esto puede ofrecer un servicio punto a punto (PP). Pero la mayoría de operadores utiliza la primera opción PMP.

Dentro de la arquitectura el sistema LMDS tenemos las siguientes partes:

- Centro de Operaciones (NOC).
- Infraestructura de fibra Óptica.
- Estación Base.
- Equipo en el abonado.

2.2.1. El Centro de Operaciones de la Red (Network Operation Center – NOC) Contiene el equipo del sistema de Administración de la red (Network Managment System) que está encargado de administrar la red del consumidor. Adicionalmente es en esta parte donde se realiza el monitoreo, inscripción y baja de los clientes.

2.2.2. La infraestructura de fibra óptica

Esta parte del sistema consiste en redes síncronas, las señales ópticas OC-12, OC-3 y enlaces DS3, equipos de oficina central (CO), sistemas de conmutación ATM e IP, conexiones de red y la red telefónica pública PSTN.

2.2.3. Estación Base.

Es donde se realiza la conversión de la infraestructura de la fibra con 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 (modem), equipos de transmisión y

recepción de microondas (antenas) ubicados típicamente en altas torres, edificios.

Todo el tráfico que llega desde la infraestructura de fibra debe terminar en switches ATM o equipos de oficina central. Bajo este escenario si dos abonados conectados a una misma estación base desean comunicarse entre ellos, la comunicación se lleva a cabo en una zona centralizada. En las estaciones bases, las antenas y las celdas adyacentes a la principal pueden volver a utilizar el mismo espectro, gracias al uso de la inversión de polaridad y la reutilización de frecuencia.

2.2.4. Equipos en el abonado

Los equipos en el abonado están compuestos por la antena del lado del usuario con una ganancia mayor que la antena de la estación base y de dimensiones menores y un modem que nos provee la modulación y demodulación control y funcionalidad de la interfaz del equipo del abonado en algunos sistemas se adiciona un equipo de adaptación de interfase a la LAN del cliente.

El equipo del abonado puede añadirse a la red utilizando métodos por división de tiempo (time división multiplex access TDMA), división de frecuencia (frequency division multiple access FDMA).

La antena receptora es normalmente de dimensiones muy reducidas, antenas planas de 16x16 cm, con capacidad de transmisión en banda ancha, señal de TV o datos de alta velocidad o estrecha, telefonía o datos de baja velocidad.

Una vez que se recepcionó la señal mediante un terminal del abonado (modem) conectado a la antena mediante un cable coaxial estas señales serán repartidas para los servicios finales (voz, dato y video).

Las interfaces de los equipos del abonado cubrirán el rango de las señales digitales desde el nivel 0 (DS 0), servicios telefónicos (POST), 10 baseT, 100baseT, DS1 no estructurado, frame relay, ATM serial

sobre E1. Las necesidades de los abonados pueden variar entre grandes empresas como: edificios, universidades, hospitales, en los cuales el equipo de microondas es compartido por muchos usuarios; a tiendas en centros comerciales y residencias en que serán conectadas a oficinas utilizando 10baseT, 100baseT ó dos líneas telefónicas (POTS). Obviamente, diferentes requerimientos del abonado necesitarán diferentes configuraciones de equipo y distintos costos. (Las partes del sistema LMDS lo observamos en la figura 2.1).

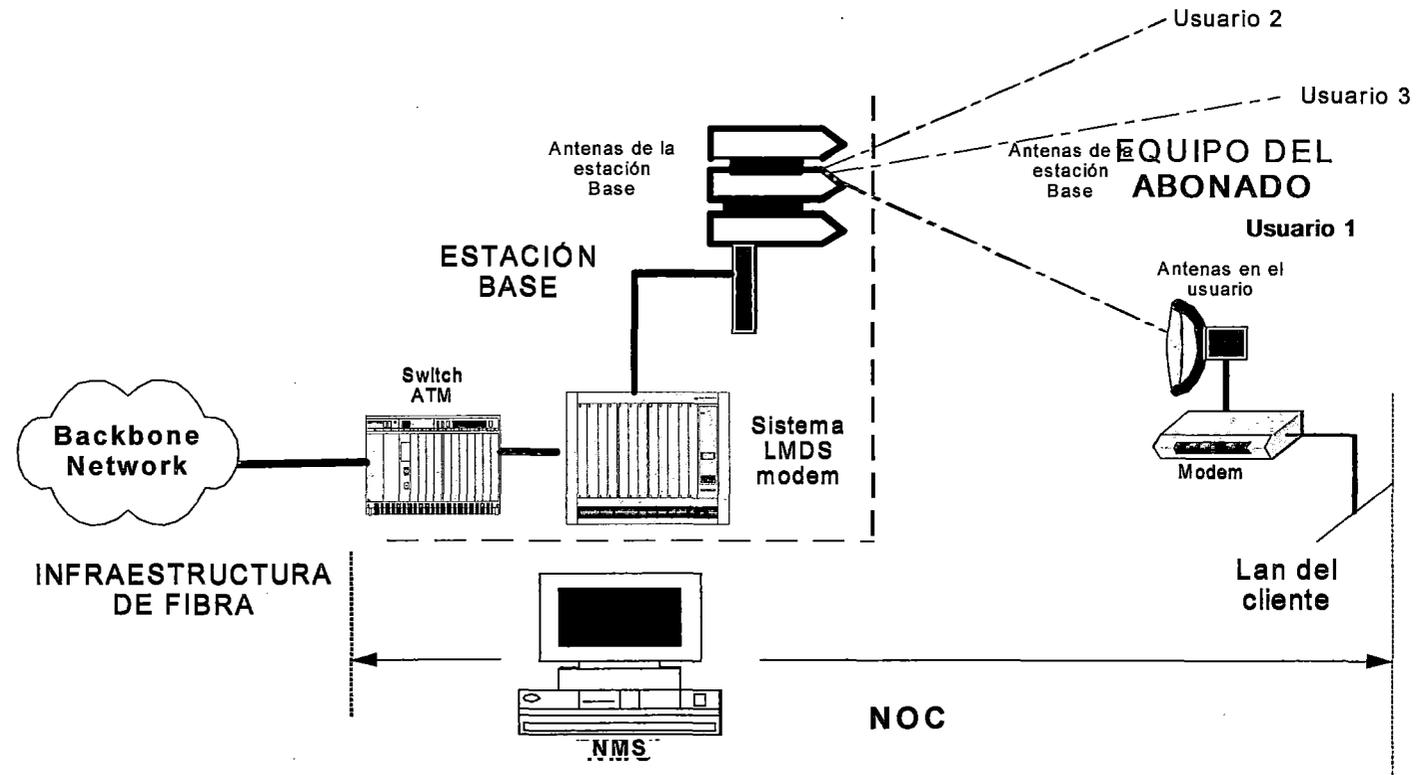


Figura2.1 Arquitectura del sistema LMDS

2.3 Factores Técnicos para la viabilidad del sistema LMDS

En el momento de realizar la planificación y despliegue de un sistema inalámbrico punto a multipunto existen varios factores que deben tenerse en cuenta en el sistema LMDS estos son:

1. Utilización de frecuencias altas.
2. Línea de vista
3. Atenuación por lluvia.

2.3.1 Utilización de frecuencias altas

Hasta hace una década atrás, se tenía el concepto que las frecuencias tan altas utilizadas en LMDS no permitirían ofrecer de forma viable un servicio masivo. La razón principal que se alegaba al respecto era la atenuación debida a la lluvia, y las altas potencias de emisión necesarias, en consecuencia para lograr un cierto alcance de la señal, lo que haría inviable económicamente utilizar estas frecuencias como soporte de un servicio a la población, dada la dificultad y el costo de emitir y recibir con la calidad adecuada la potencia de señal necesaria. Sin embargo, el LMDS ha conseguido superar estas dificultades.

Las principales claves técnicas del sistema son tres:

- a. El teorema de Shannon de equivalencia entre ancho de banda y potencia.
- b. La recepción de haces muy estrechos y con polarización estable.
- c. Reutilización de frecuencias.

Por el **teorema de Shannon** de equivalencia exponencial entre potencia y ancho de banda.

$$C = W \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

donde

C = Capacidad de información.

W = Ancho de banda.

S = Energía de la señal .

N = Energía del ruido.

Donde observamos una relación entre el ancho de banda y la potencia para poder mantener una misma relación con la energía de ruido.

En bajas frecuencias, el espectro es un recurso particularmente escaso que se ha saturado. A medida que la tecnología se ha desarrollado, han surgido nuevos servicios de telecomunicación y se requiere mayor velocidad de transmisión para estos servicios, por lo que se debía recurrir a emisiones de alta potencia para compensar la limitación de ancho de banda. Es algo parecido a lo que sucede en una habitación con mucho ruido de fondo: hablamos más alto para aumentar la relación señal a ruido y hacernos entender. Lo malo es cuando la habitación está "saturada" y todo el mundo debe hablar alto a la vez, hasta que llega un momento en que ni así logramos entender a nuestros interlocutores. En LMDS se utiliza la táctica contraria: Como el ancho de banda espectral es un recurso menos escaso, se utilizan sistemas de modulación en banda ancha para transmitir la señal (como el usado en la modulación FM). Esto permite utilizar potencias mucho más bajas que en sistemas como la TV herciana convencional (Analógica) o el MMDS (multipoint

multichannel distribution system), que dispone de "sólo" 200 MHz de ancho de banda, que emplean modulación AM.

Este ahorro de potencia en emisión y recepción permite utilizar equipos más pequeños y baratos, y además convierte al LMDS en un sistema "verde", ya que su contribución a la creciente polución electromagnética es mínima en comparación con la emisión de miles de miliwatios que irradia un teléfono celular esto permite minimizar el posible efecto pernicioso para la salud de las personas en las cercanías de los emisores: operadores del sistema en el centro emisor, vecinos de edificios con repetidores, y personas en los hogares o empresas que utilicen servicios bidireccionales con LMDS.

Las otras dos claves del sistema son:

La recepción de haces muy estrechos y con polarización estable. Emitiendo un haz con polarización muy estable, y captando solamente el haz de mayor potencia recibido en la antena (detección de haces muy estrechos, con discriminación de polarización), se desechan las contribuciones secundarias de señal procedentes de múltiples reflexiones, lo que suprime interferencias e imágenes "fantasma". Además, esto proporciona robustez adicional frente a la lluvia.

Por último, utilizando simultáneamente polarización opuesta y desplazamientos de las frecuencias centrales por canal, tanto para difusión en células adyacentes como para canales de retorno de banda ancha en la propia célula, se consigue duplicar el ancho de banda efectivo del sistema, por lo que en LMDS no es necesario alternar frecuencias entre células adyacentes, algo imprescindible en otros sistemas celulares, con el consiguiente ahorro de este recurso natural escaso y de creciente valor.

En LMDS, cuando se establece una transmisión, esa "llamada" no puede transferirse desde una célula a otra como ocurre en el caso de la telefonía celular convencional; Es por lo que LMDS se inscribe en el contexto de las comunicaciones fijas. En definitiva, el sistema LMDS se puede contemplar, desde un punto de vista global, como un conjunto de estaciones base (también conocidas como hubs) interconectadas entre sí y emplazamientos de usuario, donde las señales son de alta frecuencia (en la banda Ka) y donde el transporte de esas señales tiene lugar en los dos sentidos (two-way) desde y hacia un único punto (el hub) hacia y desde múltiples puntos (los emplazamientos de usuario), en base siempre a distancias cortas. En consecuencia, se puede decir que LMDS es celular debido a su propia filosofía; en efecto, la distancia entre el hub y el emplazamiento de usuario viene limitada por la elevada frecuencia de la señal y por la estructura punto-multipunto, lo cual genera de forma automática una estructura basada en células .

La utilización de las bandas de frecuencia más elevadas del espectro ha tenido lugar tradicionalmente en el ámbito de sectores muy especializados, como defensa, y en particular, en el sector espacial, debido sobre todo a la complejidad de los sistemas electrónicos involucrados, especialmente de los semiconductores, con importantes repercusiones en los costes. En consecuencia, la utilización de estas bandas de frecuencia se ha visto históricamente reducida a estos sectores considerados de importancia estratégica por los gobiernos. Sin embargo, el avance rápido en tecnología de semiconductores, concretamente en Arseniuro de Galio (As,Ga) ha permitido la obtención de circuitos integrados monolíticos de microondas, así como procesadores avanzados de señal, por citar sólo los logros más impactantes, han propiciado que los costes disminuyan considerablemente hasta el punto de que la integración

de las comunicaciones espaciales en el sector comercial 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, con la sofisticada tecnología electrónica asociada, en el segmento terrestre. En efecto, las frecuencias correspondientes a la banda Ka se utilizan en el contexto de las comunicaciones por satélite: la innovación que llevó LMDS se basó en su utilización en las comunicaciones terrestres.

2.3.2 Línea de vista

Las señales de elevada frecuencia se han considerado inadecuadas para la comunicación terrestre debido a que experimentan reflexiones cuando encuentran obstáculos en su camino de propagación.

Como consecuencia que LMDS trabaja en frecuencias elevadas del espectro, requiere la existencia de line of sight (camino sin obstáculos) esto debe darse entre la estación base y la antena situada en el emplazamiento del usuario o abonado para que la señal no sufra reflexiones y llegue con un nivel adecuado a su destino. Pero por qué se trabaja en frecuencias altas; es porque ofrecen importantes ventajas en términos de ancho de banda fundamentalmente y bajo nivel de saturación del espectro, siendo LMDS uno de los resultados tangibles en esta línea de actuación.

La exigencia que exista línea de vista genera inevitablemente la aparición de zonas de sombra (lugares donde no llega señal). Esto es un problema que se tiene en el sistema LMDS hasta el extremo que en las zonas urbanas el problema de las zonas de sombra llegan a afectar a un 40% de los usuarios que existan en una celda

Para tratar de optimizar la solución a este problema se utilizan estrategias basadas en el solapamiento de células (intersección de celdas), de forma que las zonas resultantes de la intersección de esas celdas puedan tener acceso a más de una estación base y así disminuir la probabilidad de que se produzcan rupturas del line-of-sight. La eficacia de este método viene dada en términos del porcentaje de usuarios de la celda a los que la señal les llega o la emiten sin problemas y que se estima en torno a un 85 a 90 por ciento. Otros métodos para tratar de disminuir el nivel de sombra en una determinada zona se basan en la utilización de reflectores y amplificadores.

2.3.3 Atenuación por las lluvias

La atenuación por lluvias es un problema para el sistema LMDS dado que la lluvia provoca una pérdida de la potencia de la señal esto se debe a que las **moléculas de agua** afectan al comportamiento de las señales de frecuencia elevada en términos de transferencia de parte de la energía de la señal a la molécula de agua, lo que produce un efecto de degradación de la señal conocido como "rain fade".

Por lo expuesto anteriormente se ha realizado algunos planteamientos para solucionar el problema una de ellas es aumentando la potencia de transmisión otra es 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 esta se produce; cuando la optimización en la variación de potencia no resulta suficiente, se recurre a disminuir el tamaño de la celda para conseguir más potencia dentro de su área. De hecho, en celdas con radio menor de 5 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. Para el caso de nuestra capital este factor no es preponderante en el diseño por la cantidad de lluvia que tenemos en Lima.

Ahora analizaremos un diagrama de un usuario independientemente de su distancia de la estación base, es necesario conformar un cierto diagrama de radiación en el plano vertical. Y la forma que debe adquirir este diagrama es del tipo cosecante al cuadrado (csc^2), tal y como se explicará a continuación. Considérese la geometría de enlace representada en la figura 2.2, donde se ha tomado una celda de 3 Km. de radio y dos usuarios situados en el borde de la celda y a una distancia de 100 m. de la estación base. De acuerdo con las distancias indicadas, se obtienen unos ángulos de elevación para las antenas de los usuarios 1 y 2.

Teniendo como observación que la altura de los usuarios no se toman en cuenta para los cálculos realizados:

Sabemos:

$$\text{Tag } a = 30\text{m} / 3000\text{m} = 0.01 \text{ de donde } a^\circ = 0.575^\circ.$$

$$\text{Tag } b = 30\text{m} / 100 \text{ m} = 0.3 \text{ de donde } b^\circ = 16.69^\circ.$$

$$\text{Para el ángulo } c^\circ = 90 - a$$

$$c^\circ = 89.4^\circ.$$

$$\text{Y para hallar el ángulo } d^\circ = 90 - b$$

$$d^\circ = 73.31^\circ$$

La potencia de señal recibida por cada uno de estos usuarios es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida por las ondas radioeléctricas, la cual a su vez puede obtenerse que es inversamente proporcional al seno del ángulo de elevación. Por lo tanto, la potencia recibida es directamente proporcional al cuadrado del seno (sen^2) del ángulo de elevación. Es decir, para que ambos

usuarios reciban la misma potencia es necesario colocar una antena en la estación base con un diagrama de radiación en el plano vertical del tipo csc^2 (inverso del sen^2). Así, normalizando la ganancia de la antena con respecto al usuario 2, el usuario 1 requiere una ganancia relativa de aproximadamente -29 dB. En la figura 2.3 se representa la ganancia normalizada en función del ángulo de elevación (curva azul)

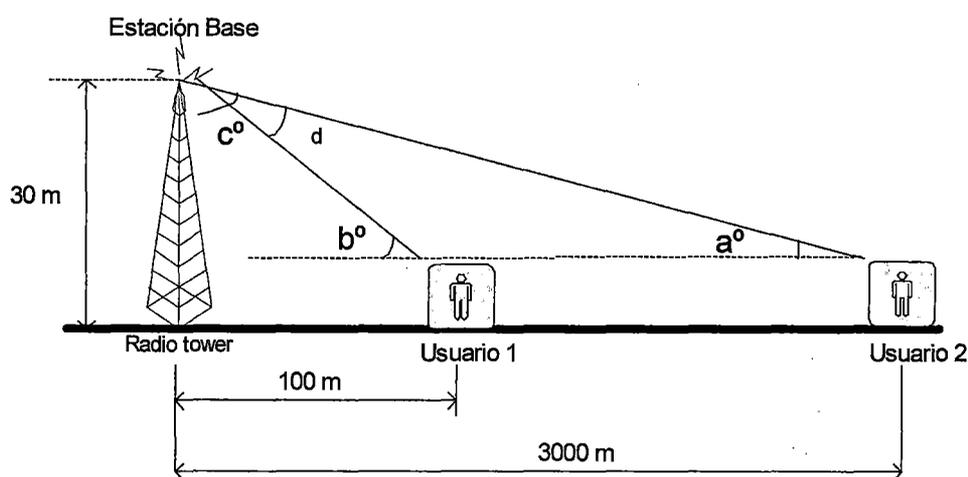


Figura 2.2 Diagrama de cobertura desde una estación base

Ahora bien, todos estos cálculos previos tienen en cuenta tan sólo las pérdidas de propagación en espacio libre, sin considerar ningún fenómeno adicional. En el caso de sistemas operando a frecuencias milimétricas, la lluvia es un importante factor de degradación. Bajo condiciones de fuerte lluvia (15 mm/h por ejemplo), la atenuación puede llegar a ser mayor de 3 dB/km. para frecuencias cercanas a los 28 GHz. Así, la señal del usuario 2 sufre unas pérdidas adicionales de 9 dB, mientras que en el caso del usuario 1 tan sólo de 0,3 dB. Esta atenuación por lluvia limita el alcance y las prestaciones del sistema, especialmente para los usuarios que se

encuentran más alejados. Por lo tanto, para compensar los efectos provocados por condiciones atmosféricas adversas se tiene que disminuir el tamaño de las celdas, o bien sustituir los transceptores por equipos de mayor potencia y mejor sensibilidad, o bien modificar el diagrama de radiación de la antena para tener en cuenta la atenuación por lluvia. En el primer caso los costes son considerables, mientras que en el segundo caso resultan marginales.

El cambio necesario en el diagrama de radiación de la estación base para considerar los efectos de la atenuación por lluvia se muestra en la figura 2.3 (curva roja). Como puede observarse, la ganancia debe aumentar considerablemente para los usuarios más alejados (ángulos de elevación menores), mientras que debe mantenerse prácticamente igual para los usuarios más cercanos (ángulos de elevación mayores). Esto significa que la antena debe tener un diagrama de radiación con una caída inicial más abrupta que el diagrama convencional del tipo csc^2 . En el ejemplo de la figura 2.3 se ha supuesto un margen de atenuación por lluvia de 10 dB. Las antenas comerciales suelen diseñarse para que su diagrama de radiación se encuentre entre las 2 curvas de la figura 2.3.

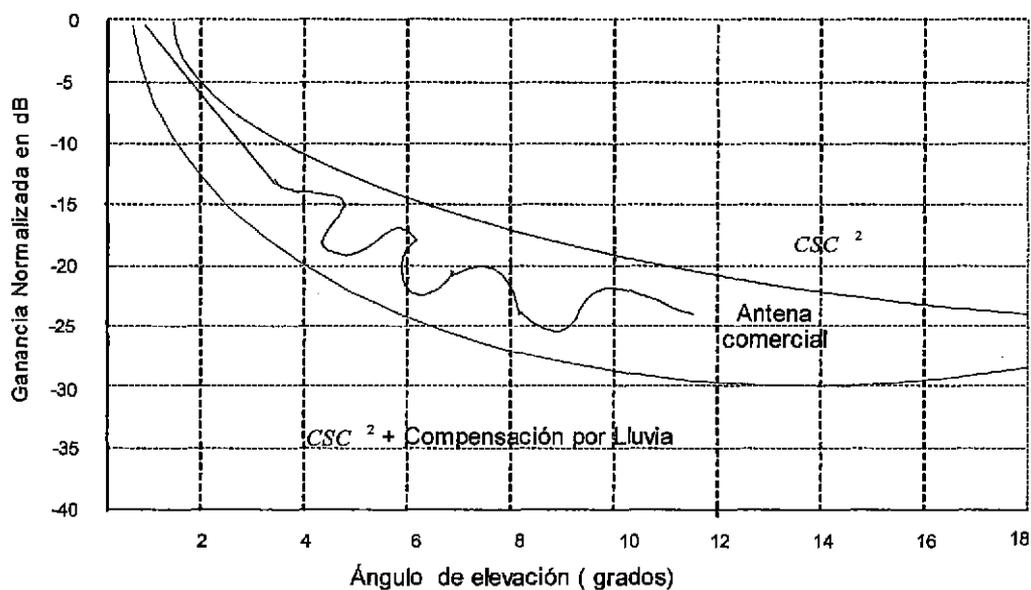


Figura 2.3 Relación de la ganancia con el ángulo de elevación

2.3.4 Tipos de modos de acceso en LMDS

Una de las estrategias más importantes para aumentar el número de usuarios en un sistema basado en celdas radica principalmente en la técnica de acceso múltiple que éste emplee. Las técnicas de acceso en un sistema inalámbrico como el LMDS permite que varios usuarios puedan estar accediendo simultáneamente a un canal o a un grupo de frecuencias, lo que permite el uso eficiente del ancho de banda.

2.3.4.1 Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA

El FDMA es un sistema fijo de asignación de espectro que se basa en principios de multiplexación de división de frecuencia (FDM frequency division multiplexing). Aunque todos los enfoques de administración del enlace aéreo subdividen el espectro disponible en canales fijos de frecuencia, la premisa fundamental de un sistema

FDMA es que cada canal está asignado y dedicado a un subscriptor único o a una unidad de sitio remoto única dentro de un sector PMP (punto multipunto). La figura 2.4 muestra esto. Cada canal se utiliza para transmisión en un solo sentido.



Figura 2.4 Uso de los canales en FDMA

Los primeros sistema PMP (punto multipunto), utilizan FDMA para el Uplink y multiplexación por división de tiempo (TDM) sobre el downlink. Teniendo como observación que downlink (comunicación del hub al usuario) y el uplink de manera contraria.

Como el hub utiliza TDM sobre el downlink, el canal se divide en divisiones de tiempo. Las divisiones de tiempo pueden dirreccionarse flexiblemente en cualquier destinatario como se muestra en la figura 2.5



Figura 2.5 TDM con el hub controlando(Dowlink)

Debe notarse que la operación FDMA en ambas direcciones es la característica que define los radios punto a punto. Una variante punto a punto con múltiples carriers (portadores) en un transmisor individual se verá sometida a interferencias de intermodulación y a rangos impredecibles. Dentro de un sistema PMP con FDMA, se asignan un canal uplink a una unidad remota.

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

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

2.3.4.2 Acceso múltiple por división de tiempo TDMA.

TDMA es un método utilizado para administrar la asignación de recursos de un *receptor único* (o canal de recepción) entre transmisores múltiples (o remotos PMP) como lo estudiaremos más adelante, en sistemas PMP el TDMA se utiliza en el uplink de sistemas FDD (Duplexación por división de frecuencia) y en uplink o downlink compartidos para sistemas TDD (Duplexación por división de tiempo).

El principio del TDMA es que la totalidad de canales estará disponible para todos los suscriptores, pero su control o asignación momentánea se rige por sus necesidades individuales. La asignación de canales se hace en el tiempo, siendo la división de tiempo por (time slot) interna fija la unidad básica de asignación. Por tantos sitios múltiples transmiten sobre el canal en los momentos designados para sus divisiones de tiempo asignadas, según se

muestra en la figura 2.6 . La captura, el control, transmisión y la liberación del canal deben ocurrir continuamente y a través de sitios múltiples, con un alto grado de precisión, incluyendo responsabilidad por retardos de propagación. Controlar esto significa que algunas divisiones de tiempo, y por tanto recursos, resultarán afectados por el tráfico de administración del sistema.

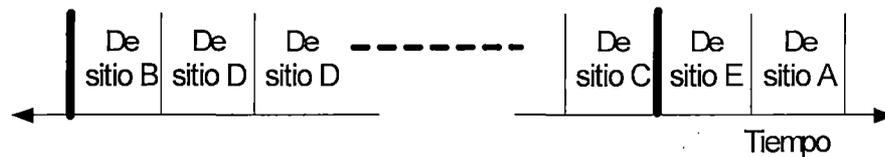


Figura 2.6 TDMA con sitios alternantes que controlan y transmiten sobre el canal

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

- Debido a los recursos se asigna como divisiones de tiempo, el hub y las unidades del subscritor en un sistema PMP sobre la misma portadora y el mismo sector deben ser capaces de establecerse y mantenerse sincronizados.
- La sincronización debe responder por retardos de propagación (3.3 μ segundos/kilómetros) ya que dos transmisiones nunca podrán sobreponerse en la unidad receptora (el hub en FDD o el hub subscritor en TDD)
- El control del sistema se hace desde el hub.
- Las unidades remotas deberán contar con un medio para transmitir sus requerimientos al hub.
- Una unidad remota deberá ser capaz de filtrar el tráfico de otras unidades remotas.
- La administración en TDMA añade overhear (carga) de canal el cual afecta a la unidad de trabajo.

El verdadero valor de TDMA, esta en la capacidad de asignar dinámicamente recursos según sea necesario, la cual es una característica frecuentemente llamada asignación dinámica de ancho de banda. Por lo tanto el recurso del canal de frecuencias (el cual se divide en tiempo) es utilizado muy eficientemente por la población de subscriptores.

2.3.4.3 Duplexación por división de frecuencia FDD

Los esquemas de dúplexación ofrecen una forma para administrar los flujos del tráfico upstream y downstream. En FDD, estos flujos ocurren sobre dos canales, el uplink y el downlink. Se utiliza TDMA para asignación de recursos sobre el uplink. En PMP solamente debe utilizarse TDM sobre el downlink. En este modo TDM es altamente eficiente y allí donde se puede utilizar, ofrece toda la flexibilidad y los beneficios de la asignación dinámica de ancho de banda, con muy poca de la complejidad del TDMA. Muchos sistemas satelitales y de radio utilizan variaciones del FDD.

Las autoridades regulatorias asignan el espectro para sistemas PMP en bloques. Estas asignaciones son típicamente pares de bloques (los cuales no tiene contigüidad de frecuencia). Los proveedores del sistema PMP subdividen estos bloques en canales de igual ancho de banda. En sistemas FDD, los canales se dividen igualmente entre uplinks y downlinks. Estos se acoplan en pares, para cada uno de los cuales tiene la misma separación de frecuencia, la figura 2.7 muestra este arreglo de asignaciones de frecuencias contiguas y no contiguas.

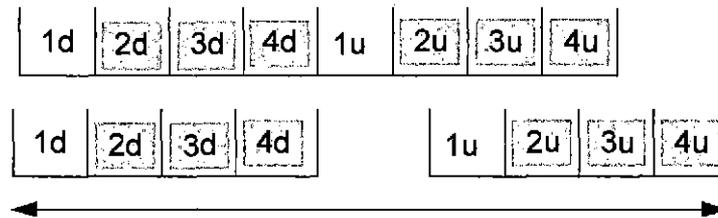


Figura 2.7 Plan de frecuencias PMP FDD para asignaciones de espectro contiguos(arriba) y no contiguos (abajo),dowlink (d) uplink (u)

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

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

2.3.4.4 Duplexación por división de tiempo TDD.

En TDD, el tráfico uplink y downlink se transmite sobre el mismo canal. Aquí utilizando TDMA, los recursos del canal se asigna entre todas las unidades remotas y el hub en ambas

direcciones. Los sistemas TDD se han venido utilizando durante muchos años.

La misma asignación de espectro discutida más arriba para FDD se muestra en la figura 2.8, pero incluye un plan de canales para TDD. Nótese que el valor total de ancho de banda consumida entre TDD y FDD es el mismo.

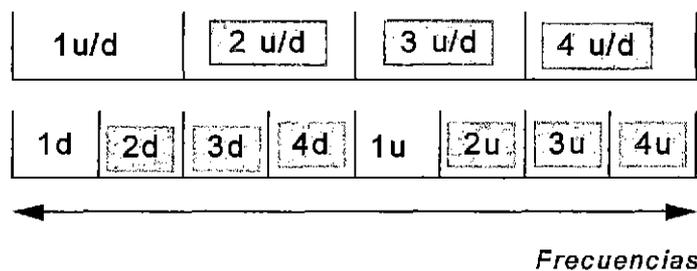


Figura 2.8 Plan de frecuencias PMP TDD (superior), con el plan FDD correspondiente

De igual forma que FDD, TDD puede asignar recursos en forma flexible para responder a las necesidades en dos direcciones. No obstante veremos que la flexibilidad de TDD se ve seriamente limitada por otros factores.

2.3.4.5 Comparación de enfoques de administración de enlace aéreo en sistema PMP.

Habiendo introduciendo a FDMA FDD y TDD según como se utilizaran en sistemas PMP. Haremos una comparación de tres enfoques.

A.)Comparación esquemática

La figura 2.9 es una comparación esquemática de planes potenciales de canales para los tres enfoques. En todo caso

el downlink se transmite a las unidades remotas en el sector como se indicó anteriormente, los sectores en los sistemas PMP tiene un rango típicamente de entre 22,5° y 90°

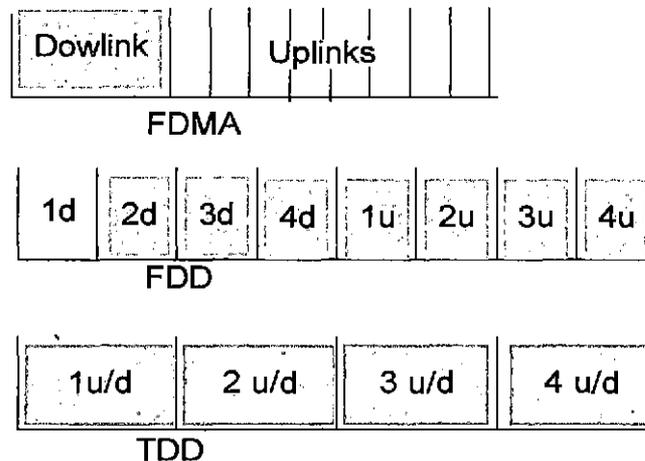


Figura 2.9 Planes de canal para sistemas PMP, FDMA, FDD y TDD

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

En FDD el downlink también es transmitido desde el hub hacia los remotos en modo TDM. La figura 2.10 contiene un esquema de los canales operando para los tres enfoques. En FDMA y FDD se utilizan frecuencias separadas de transmisión y recepción en el uplink y downlink. Las dos frecuencias son fácilmente separadas en la misma antena o por un duplexor sencillo.

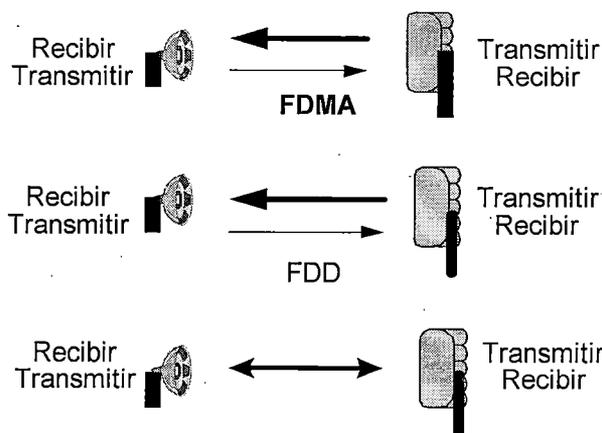


Figura 2.10 Esquema de transmisión entre el Hub(derecha) y el remoto (Izquierda)

Con TDD, el Hub y el remoto comparte un mismo canal en el tiempo. No se requiere de separación de frecuencias; en su lugar, existe una separación en el tiempo. Las funciones de transmisiones y de recepción debe ser encendidas y apagadas en forma activa. El costo de hacer esto es aproximadamente el mismo de usar un duplexor.

B.) Canales de guarda y tiempo de guarda

En cualquier sistema de radio en el cual el espectro se divide en canales, existe límites entre canales adyacentes. Estos límites se llaman "canales de guarda" la figura 2.11 muestra ejemplos para un sistema FDD y para un sistema TDD

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

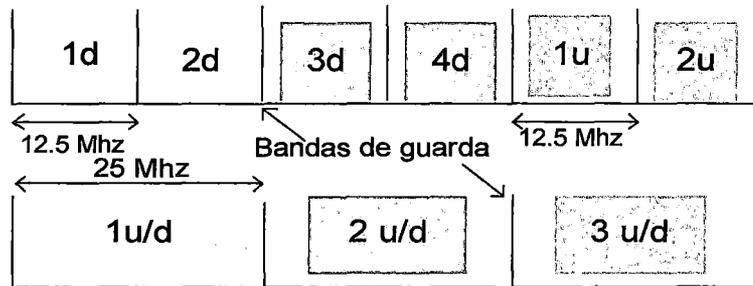


Figura 2.11 Canales de guarda y anchos de banda de canal para sistemas FDD(Parte superior) y TDD (parte inferior) similares

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

En la figura 2.12 representa dos sistemas con diferentes canales de guarda. Si el ancho de banda de la energía espectral principalmente es la misma en cada caso, entonces el sistema de la izquierda con el canal de guarda más estrecho, tendría un menor espaciamiento de canal que la derecha .

En la práctica el espaciamiento del canal podría ser el mismo (el espectro de la derecha tendría que acercarse hacia el otro) pero el sistema de la izquierda, con el canal de guarda más

estrecho tendría que ser más efectivo debido a que tendría una menor interferencia del canal adyacente.

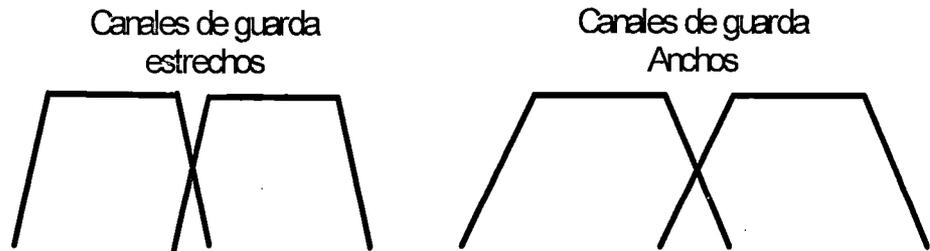


Figura 2.12 Canales de guarda estrechos y anchos (El ancho de canal de guarda es una función de diversos factores de diseño y de ingeniería. Todo lo demás siendo igual, para un espaciamento dado el canal, el sistema con el canal de guarda con mayor rendimiento.

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

El TDD debe concederse un tiempo adicional para permitir el cambio entre el modo de transmisión y modo de recepción, llamado tiempo de rotación de canal. El tiempo de rotación tiene dos componentes el primero es el cambio actual entre las funciones de transmisión y de recepción. Esto ocurre

rápidamente, no obstante en la relación con el segundo componente, que presenta el retardo de propagación. La penalización resultante del retardo de propagación de sistemas TDD se presenta debido a que los sitios deben siempre responder por el retardo cuando están transmitiendo, pero enfrenta a una paradoja que nunca debe transmitir y recibir simultáneamente, tener que transmitir por adelantado y recibir por retraso es un impedimento que sólo puede obviarse añadiendo un colchón especial de tiempo, que representa una penalización sobre la capacidad del sistema y la eficiencia espectral. Vemos también que el retardo de propagación tiene un impacto adicional sobre la interferencia intra-sistema en TDD.

2.3.4.6 Eficiencia espectral

La eficiencia espectral, es una medida de la capacidad general de carga a través del espectro asignado. Se ve afectada por factores tales como el canal de guarda, el tiempo de guarda, la carga de administración de enlace y los bits de codificación. En el lado práctico, los perfiles de tráfico para la base de clientes deben tenerse en cuenta. Una discusión o comparación de la eficacia espectral debe asumir que los factores de enlace tales como el ancho de banda de canal, la modulación, la potencia de transmisión y la ganancia de la antena, son constante. Esto último es una buena suposición al comparar sistemas PMP, FDD y TDD.

Sin la carga asociada con el TDMA, y si los patrones de tráfico del sitio que de alguna forma correspondan adecuadamente a las asignaciones de canal, un sistema PMP FDMA podría tener una muy buena eficiencia. No obstante, debido a que tales correspondencias no ocurren en la práctica y ya que no existe participación de canales entre unidades remotas, los sistemas

FDMA tiene una baja eficiencia espectral. Esta es la principal razón por la cual la industria se ha alejado de los sistemas PMP FDMA.

Haciendo una comparación entre los sistemas FDD y TDD utilizando el mismo ancho de banda (por ejemplo un par de canales FDD de 12.5 Mhz y un canal TDD de 25 Mhz) el tiempo de guarda adicional y la administración requeridos por TDD resultarán en una ventaja aproximada de 10% para FDD.

2.3.5 Modulación en sistemas LMDS.

La Modulación es el proceso mediante el cual una señal de información se multiplica por otra señal de mayor frecuencia, haciéndole variar uno o más de sus parámetros.

Ahora las razones por la que se modula son:

Facilita la propagación de la señal de información sea por cable o por aire, ordena el radio espectro, optimiza el ancho de banda de cada canal, evita las interferencias cocanales, protege la información de las degradaciones de ruido.

- **Codificación en M-ario :**

M-ario es un término derivado de la palabra "binario", donde la M es sólo un dígito que representa el número de condiciones posibles de salida .

Matemáticamente tenemos:

$$N = \log_2 M.$$

Donde:

N = Número de bits.

M = Número de condiciones posibles con N bits.

Por ejemplo si se permite que entren 2 bits, en un modulador, antes que se permita cambiar la salida

$$2 = \log_2 M \text{ y}$$

$$2^2 = M \text{ por consiguiente } M = 4$$

Una $M=4$ indica que con 2 bits, son posibles cuatro condiciones de salida diferentes $N = 3, M = 2^3 = 8$.

Modulación QAM

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

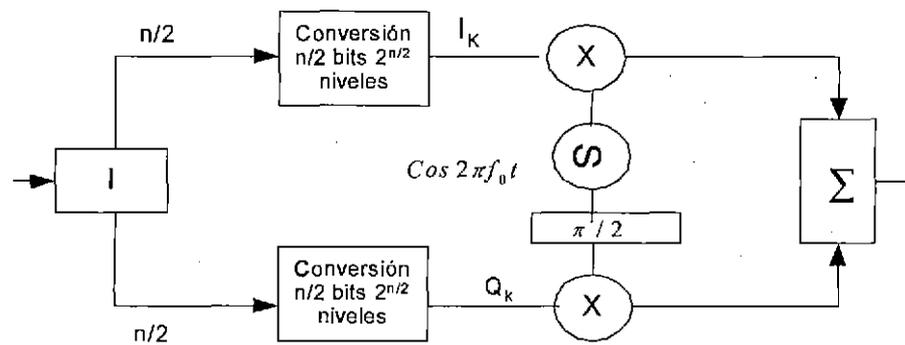


Figura 2.13 Diagrama de bloque de una modulación QAM

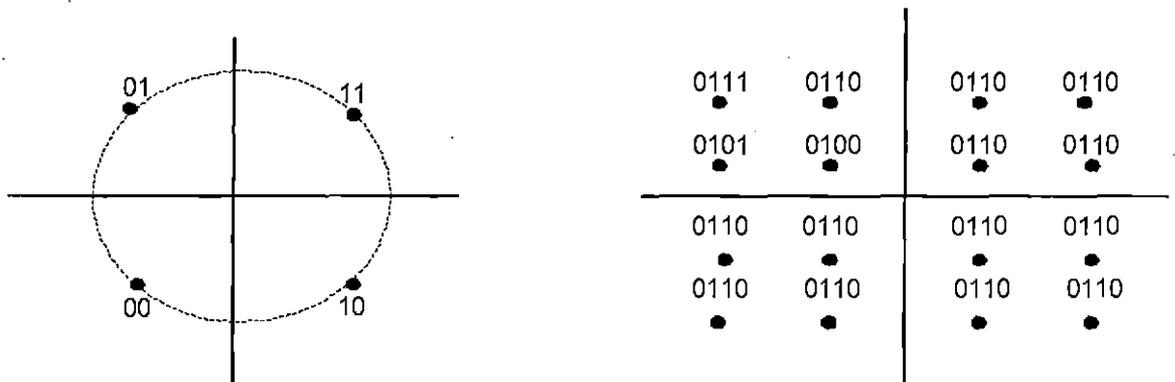


Figura 2.14 Constelación de las modulaciones 4QAM y 16 QAM

La modulación para el sistema LMDS varían desde los de baja densidad espectral (QPSK, 4QAM) hasta los de alta densidad (16

QAM, 64 QAM) conforme disminuye la complejidad de la modulación, se consigue una mayor inmunidad frente al ruido a desvanecimientos, efectos multicaminos, aunque a costa de reducir la tasa de transmisión, por mejorar las prestaciones frente al fading se recurre a métodos de corrección de errores del tipo FEC.

Las modulaciones de baja densidad son más robustas necesitando una relación señal de ruido de 13 dB, por otro lado las más complejas como por ejemplo la modulación 64 QAM consigue una eficacia espectral tres veces superior aunque a costa de necesitar una relación señal ruido de 27 dB para conseguir la misma probabilidad de error (BER).

2.3.6 Antenas para enlaces punto a multipunto

Las antenas utilizadas en los sistemas LMDS difieren bastante de que nos encontremos en la estación base o en usuario. En este caso de encontrarnos en el usuario se emplean antenas directivas para conseguir la máxima ganancia, una bocina cónica con diámetro de apertura de unos 15 a 20 cm suele a ser una antena de usuario típica. Que es bastante directiva y, por lo tanto, de ganancia elevada (30-35 dBi).

En el caso de encontrarse en la estación base, debido a que la transmisión punto a multipunto se emplean bien antenas omnidireccionales que cubren completamente la celda o bien un conjunto de antenas sectoriales con anchos de haz que pueden variar entre los 30° y los 90°.

Las antenas sectoriales, además de poseer una mayor ganancia entre (15 dBi y 25 dBi) permite utilizar las frecuencias del sistema además empleando polarizaciones distintas entre sectores adyacentes se consigue optimizar el aislamiento entre los mismos, las polarizaciones utilizadas en estos sistemas son lineales polarización vertical y horizontal.

En el caso de las antenas de la estación base, interesa radiar las señales de tal forma que todos los usuarios de la celda reciban un nivel aceptable de potencia, al mismo tiempo que fuera de la celda se reciba la menor potencia posible por cuestiones de interferencia. Suponiendo un esquema sectorial, la mejor solución para ello es emplear una antena con un determinado diagrama de radiación en elevación y lóbulos secundarios azimutales muy bajos. Suele especificarse también en este caso una plantilla donde se limita el nivel de los lóbulos secundarios en los sectores adyacentes, y de la radiación de polarización cruzada. En la figura 2.15 se muestra el aspecto de una de estas antenas.

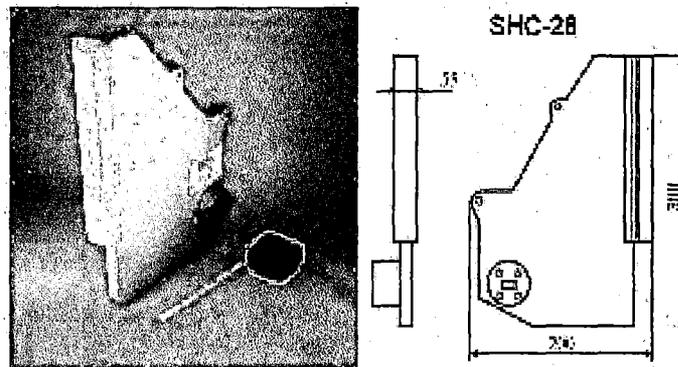


Figura 2.15 Antena sectorial para estación base LMDS

Por otro lado, en el lado del usuario LMDS requiere antenas similares a las empleadas en los enlaces punto a punto, aunque con diferencias notables en cuanto a coste y fiabilidad. Esto se traduce en antenas e instalaciones menos sofisticadas y de menor costo, similares a las de TV satélite. En la figura 2.16 se muestra el aspecto típico de una instalación de abonado.



Figura 2.16 . Instalación de abonado LMDS

2.4 Servicios que se brindan en LMDS

Los servicios de telecomunicaciones de banda ancha permiten su empleo para que el usuario pueda acceder simultáneamente a todas las posibilidades que la tecnología actual permite:

- Acceso a Internet a alta velocidad.

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

Ahora clasificando los servicios propiamente para voz datos líneas dedicada video tendríamos las siguiente características:

VOZ

- Conectividad del PBX.
- E1/T1 fraccional.
- Confiabilidad y QoS equivalente a una línea de transmisión vía cable.

Datos

- 10/100 Base T – DBA.
- Frame Relay.
- AAL5 VBR.

Líneas Dedicadas

- Interfaces n x E1/T1
- Frame Relay

Video

- video Conferencia vía interfase Vx35 / X.21
- video conferencia sobre IP vía interfase 10 base T.

2.5 Bandas de operación para el servicio

Desde el punto de vista de la aplicación de las redes LMDS al brindar servicios de banda ancha este sistema opera en frecuencias elevadas.

Las bandas de operación dependen de los organismos administradores de frecuencia de cada país. Las bandas de frecuencias mas comunes son: 24 GHz , 26 GHz, 28 GHz, 38 GHz, 40 GHz.

A continuación observaremos la frecuencia de trabajo del sistema LMDS en algunos países y en el Perú.

a.) Frecuencias en Canadá.

En Canadá el espectro designado para LMDS fueron principalmente para sistemas de comunicaciones multipunto de alta capacidad, teniendo como cobertura de transmisión uní o bidireccional sobre áreas locales para clientes comerciales o residenciales. Dentro de las atribuciones del espectro de 25.35-28.35 GHz, se crearon 6 bloques de frecuencias de 500 MHz para permitir a las entidades autorizadas a proporcionar el servicio en áreas locales, así como apoyar los requerimientos de espectro de mas de un prestador de servicios. El plan de frecuencias y disponibilidad de bloque implementado por LMDS es el que se observa en la tabla 2.1.

Los criterios para la entrega de licencias para LMDS incluyo: La estrategia competitiva, la innovación y los beneficios económicos así como la investigación y el desarrollo, la cobertura y la competencia demostradas. En Octubre de 1996, de las 13 solicitudes recibidas se eligieron 3 con 1 GHz cada una: Cellular Vision Canada Ltd. Y a Max Link Communications y una licencia similar para prestar el servicio en 127 pequeñas comunidades a Regional Visión Inc.

Numero de Bloque	Ancho de banda del bloque	Rango de frecuencias
Bloque A	500 MHz	27.85 – 28.35 GHz
Bloque B	500 MHz	27.35 – 27.85 GHz
Bloque C	500 MHz	26.85 – 27.35 GHz
Bloque D	500 MHz	26.35 – 26.85 GHz
Bloque E	500 MHz	25.85 – 26.35 GHz
Bloque F	500 MHz	25.35 – 25.85 GHz

Tabla 2.1. Banda de Frecuencias Asignadas en Canadá.

b.) Frecuencias en Estados Unidos

Tomando en cuenta las extensas deliberaciones en los EEUU, La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) adoptó un plan final el 17 de Julio de 1996, según se presentó en su Primer Informe y Orden para reatribuir la banda de frecuencias de 27.5-29.5 GHz para el uso nacional. Este plan de segmentación del espectro fue diseñado para proporcionar espectro para todos los servicios competidores que buscan utilizar estas bandas en los Estados Unidos. El 11 de Marzo de 1997, La FCC adoptó un plan que designó la banda de 31-31.3 GHz adicionalmente para LMDS tal como se presentó en su segundo Informe y Orden.

C. Frecuencias en Argentina

En los siguientes cuadros se enumera las bandas y valores de los planes de frecuencia asignados en este caso para Argentina.

Los mismos que tienen diferencias con respecto a los planes seleccionados para EEUU y Europa (que a su vez son distintos). Los planes de frecuencia se componen de dos sub. bandas **N** y **N'** que son usados para los enlaces de ida y vuelta (uplink o upstream y downlink o downstream). Se denomina Shift a la separación entre la portadora de ida y de vuelta **N – N'**. El valor de la separación entre las portadoras

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

Por ejemplo: La empresa NSS tiene asignada la banda de 24 GHz que ocupa el espacio entre 24.250 GHz – 24.450 GHz para la banda de ida y 25.050 GHz - 25.250 GHz para la vuelta. La sub-banda C ocupa un ancho de banda de 40 MHz entre 24.330 MHz – 24.370 MHz y 25.130 MHz – 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 24 500 MHz en 28 GHz), pero la cobertura del sistema se reduce por el efecto de la atenuación del espacio libre y la lluvia.

Banda de 10 GHz	Banda de 24GHz
A 10.150-10.180	E 24.250-24.290
B 10.180-10.210	D 24.290-24.330
C 10.210-10.240	C 24.330-24.370
D 10.240-10.270	B 24.370-24.410
E 10.270-10.300	A 24.410-24.450
A 10.500-10.530	E 25.050-25.090
B 10.530-10.560	D 25.090-25.130
C 10.540-10.590	C 25.130-25.170
D 10.590-10.620	B 25.170-25.210
E 10.620-10.650	A 25.210-25.250

Banda de 28 GHz
F 25.350-25.850
E 25.850-28.350
D 26.350-26.850
C 26.850-27.350
B 27.350-27.850
A 27.850-28.35
F 29.100-29.175
E 29.175-26.250
D 31.00-31.075
C 31.075-31.150
B 31.150-31.225
A 31.225-31.300

Tabla 2.2 Plan de frecuencias de Argentina

D. Frecuencias en Perú

En el Perú los servicios del sistema LMDS se tienen en las siguientes bandas. Las frecuencias que están atribuidas para el servicio público utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico que utilizan tecnología LMDS son:

25.25 GHz - 26.50 GHz ; 27.5 GHz- 28.35 GHz ; 29.10GHz - 29.25 GHz ;
31.00GHz - 31.30 GHz ; 37.35GHz - 37.55 GHz ; 38.05GHz - 38.25 GHz;
38.6GHz - 40 GHz ; 40.50 GHz - 42.50 GHz ; 42.50GHz- 43.50GHz.

Las empresas que cuentan actualmente con asignación de estas bandas son: Americatel, Impsat, Comsat.

En la actualidad según el Plan nacional de Atribución de frecuencia (PNAF) documento técnico y normativo que contiene los cuadros de atribución de frecuencias en los servicios de telecomunicaciones, así como las normas técnicas generales para la utilización del espectro radioeléctrico el mismo que a sido aprobado por el ministerio sobre la base de la propuesta técnica de la Dirección General de Telecomunicaciones aprobado en el Decreto Supremo N° 06-94 TCC. El artículo 1 de la resolución Ministerial N° 226-2001-MTC-15.03 publicada el 06/06/2001 donde indica:

"P75 la banda de 10 – 10.5 GHz esta atribuida a titulo primario a los servicios fijo y móvil y puede ser utilizada para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones. La asignación de espectro y o otorgamiento de concesión, para la provincia de Lima y la provincia constitucional del Callao en estas bandas será por concurso publico de ofertas. El ministerio adoptara las medidas necesarias para la reasignación de los enlaces auxiliares a la radiodifusión por televisión ya asignados en el rango de 10550 a 10630 .La banda 9975 –10025 MHz esta también atribuida titulo secundario al servicio de meteorología por satélite para ser utilizada por radares meteorológicos.

P85 (Nota A). Y para las bandas de 2200-2400MHz 25.25- 27.5 GHz y 42.5 –43.5 GHz están atribuidas a titulo primario al servicio fijo para los servicios públicos de telecomunicaciones. La asignación de espectro o

el otorgamiento de estas concesión de esta banda en esta categoría serán por concurso publico de ofertas para la provincia de Lima y la provincia constitucional del Callao. Este mecanismo de concurso publico de ofertas no se aplicara a los concesionarios que migren de la banda comprendida 2200-2400 MHz; de acuerdo a lo dispuesto en el articulo 196 del reglamento general de la ley de telecomunicaciones.

A continuación observaremos la disposición de radiocanales (canalizaciones) para los servicios de telecomunicaciones (Normas Legales del Peruano Domingo 29 de Mayo del 2005), Resolución Viceministerial N° 268-2005-MTC/03

Banda de 10.150 MHz – 10 300 MHz y 10.500MHz – 10 650 MHz
(servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda de 25.25MHz – 26 50 MHz (servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda de 27.5MHz – 28 35 MHz (servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda de 29.10MHz – 29.25 MHz (servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda de 31.0MHz – 31.30 MHz (servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda de 37MHz – 37.35 MHz y 38.3MHz – 38.6 MHz (servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Banda de 38.6MHz - 40 MHz (servicios públicos utilizados en sistemas de acceso fijo inalámbrico)

Canal N°	Radio enlace de Ida (GHz)	Radio enlace de Vuelta (GHz)	Diferencia
1	25.25.25	26.2605	1.008
2	25.2595	26.2675	1.008
3	25.2665	26.2745	1.008
4	25.2735	26.2815	1.008
5	25.2805	26.2885	1.008
6	25.2875	26.2955	1.008
7	25.2945	26.3025	1.008
8	25.3015	26.3095	1.008
9	25.3085	26.3165	1.008
10	25.3155	26.3235	1.008
11	25.3225	26.3305	1.008
12	25.3295	26.3375	1.008

Tabla 2.3 plan de frecuencias para 26 GHz (Perú)

2.6 Ventajas y desventajas

2.6.1 Ventajas frente a sistemas cableados e inalámbricos

Los sistemas LMDS suponen muchas **ventajas competitivas** con referencia a los sistemas cableados y sus similares inalámbricos

- Al ser un sistema de banda ancha, se posibilita la convergencia de los servicios sobre un mismo medio de transmisión
- Puesto que un sistema de datos, toda la información que se pueda digitalizar será susceptible de ser transmitida por el. Por lo tanto utilizando la misma tecnología un mismo usuario puede recibir servicios muy diferentes tales como acceso a internet, telefonía, información multimedia bajo demanda, datos, voz, etc.

- Al permitir la bidireccionalidad, se puede ofrecer servicios de TV multicanal, telefonía, acceso a internet conjuntamente mediante una plataforma única, otras tecnologías inalámbricas tales como MMDS o el satelital no lo permite .
- Al ser un medio de transmisión de radio, el desarrollo de la infraestructura necesaria para el establecimiento del servicio es fácil de desarrollar. En comparación a los sistemas basados en redes de cable, donde se necesita llegar de manera física a cada uno de los clientes que soliciten el servicio.
- La calidad de la señal no se ve afectada por las defectuosas redes de acceso locales existentes en diferentes países, ya que el bucle se realiza independientemente de las mismas, vía radio.
- Se ha observado que gran parte del desembolso de estos sistemas al margen del realizado en el la estación base la otra parte importante del capital se destinan al equipamiento en el lado del usuario (antena receptora, convertidores, modem, etc). Además las necesidades de financiamiento motivadas por la infraestructura para el usuario que solicite el servicio son mínimas, es decir el 80% de los costos esta en la electrónica en vez de la mano de obra.
- Se puede ofrecer el servicio y generar ingresos mucho antes en todo el área de cobertura (de 6 a 18 meses, frente a los 5 o 7 años de una red de cable)
- Se puede ofrecer el servicio de forma viable, si no al 100% de la población, si a grandes franjas de la población dispersa a las que ningún caso se puede dar el servicio con cable en forma rentable (es decir los sobre costos que pagarían los usuarios).

- Flexibilidad para hacer frente a la baja de usuarios pudiendo reutilizarse los equipos en otro abonado siendo este una ventaja competitiva frente al sistema con cables.

2.6.2 Desventaja del sistema LMDS

- Necesidad de línea de vista
- Alcance limitado
- Las condiciones metereológicas afectan al sistema.

2.7 Plan de negocios para el mercado peruano:

Este sistema se desplegara en un entorno altamente competitivo en donde múltiples operadores ofrecen distintas soluciones tecnológicas en esta parte del estudio se pondrá énfasis en la observación del mercado nacional donde se pretende ingresar con esta tecnología.

El servicio que se pretende brindar de transmisión de video ,voz y data también se brinda en las siguientes tecnologías pero con la salvedad que el sistema LMDS posee una mayor confiabilidad y un mejor aprovechamiento económico como lo veremos a continuación.

2.7.1 Operadores con ADSL (Telefónica)

El sistema de acceso digital con bucle de abonado servicio que brinda el operador preponderantes es la tecnología mas fuerte al que tiene que hacer frente el LMDS en lo que se refiere a los servicios para SOHOS, PYMES. Este sistema cuenta con varias ventajas entre las que destacan inversión reducida y puesta en funcionamiento de forma inmediata, esta última ventaja es debido al aprovechamiento del bucle del abonado el cual ya se encuentra instalado y por lo tanto no se necesita instalar una infraestructura de apoyo. Esto supone una gran ventaja respecto a otros sistemas de acceso de banda ancha. En cuanto a la inversión solo es necesario

en los módem, ya que se requiere instalar uno, en el extremo de interconexión del segmento de acceso con el operador de red.

Pero este sistema también tiene ciertos inconvenientes podemos destacar la dependencia del bucle del abonado y la reducida oferta de servicios.

El primero se debe a que la tecnología ADSL permite una longitud limitada del bucle del abonado (menos de 10 Km) además de un buen estado del mismo condiciones que sólo se cumplen en los núcleos urbanos.

La compresión que brinda este servicio es normalmente de 1/10, esto indica que una línea de 128 Kbps se vera reflejado en 12.8 Kbps para el usuario.

2.7.2 Operadores con RDSI (Telefónica)

Este es el principal competidor del LMDS en el ámbito empresarial en donde son de importancia los servicios de banda ancha para transmisiones de datos y comunicaciones entre empresas de alta velocidad, cuenta con una principal ventaja sobre LMDS y es que ya se encuentra en funcionamiento y provee su servicio a un alto porcentaje de empresas.

Su inconveniente esencial es la puesta en marcha del servicio, especialmente para una empresa de pequeña envergadura, debido a que se tendrá dificultades en el retraso de la instalación del cableado que se requiere, hecho que económicamente puede no ser recomendable para una empresa solicitante.

Además es necesario una fuerte inversión para expandir el sistema, si éste está en una nueva zona no cubierta.

2.7.3 Operadores con Fibra (Telmex, Optical Ip)

Este tipo de servicio de banda ancha supone unas posibilidades muy amplias debido a la capacidad que soporta y la calidad del

servicio. Estas redes están orientadas a dar una amplia gama de servicios de banda ancha tanto como para empresas y hogares.

Se tiene 2 inconvenientes en esta solución:

La primera el enorme costo de inversión que se debe realizar para llevar acabo la puesta en marcha del servicio y el largo período de implantación de la arquitectura, esto determina que sólo grandes compañías sean las que puedan hacer frente a los gastos iniciales que demanda el sistema, haciendo que la recuperación del capital invertido sea en períodos largos.

La segunda, es el tiempo que toma la puesta en marcha el servicio para los potenciales clientes, cuyas necesidades son actuales y no aceptan un largo período de espera.

2.8 Estudio de las radiaciones no ionizantes permisibles según MTC

Según Normas del ministerio de transporte y comunicaciones dictado el 6 de julio del 2003 en las normas legales del diario el peruano, se establecen los límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes en telecomunicaciones

Por decreto supremo N° 038-2003 – MTC de donde observamos en un párrafo que indica:

Que de conformidad con el inciso a) del artículo 4° de la ley N°27791 ley de organización y Funciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, corresponde al ministerio de transporte y comunicaciones diseñar y normar y ejecutar la política de promoción y desarrollo del subsector de telecomunicaciones.

Que los límites máximos permisibles de radiación no ionizantes en telecomunicaciones son un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y controlar las comunicaciones generada por actividades comprendidas en el sub sector telecomunicaciones, sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible:

Que de acuerdo al reglamento nacional para la aprobación de estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles. Decreto supremo N° 044-98 PCM se aprobó el programa anual 1999 para estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles, encargados al Ministerio de Transportes y Comunicaciones Vivienda y Construcción la elaboración de los límites Permisibles de emisión de radiación no ionizantes del sector de telecomunicaciones

Decreta:

Artículo 3

Aprobación de límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes en telecomunicaciones

Aprueba y adóptese como límites máximos permisibles de radiación no ionizante en telecomunicaciones, los valores establecidos como niveles de referencia por al comisión de protección en radiación no ionizantes ICNIRP tal como se muestra en las siguientes tablas:

a.) Para exposición Ocupacional

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (Vm)	Intensidad de campo magnético (Am)	Densidad de potencia (Wm2)
9 – 150KHz	610	24.4	-
0.15 – 1 MHz	610	16.1	-
1 – 10 MHz	610/f	1.6/f	-
10 – 400 MHz	61	0.16	10
400–2000MHz	$3f^{0.5}$	$0.008f^{0.5}$	f/40
2 –300 GHz	137	0.36	50

Tabla 2.4 Rango de Exposición ocupacional

b.) Para exposición Poblacional

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (Vm)	Intensidad de campo magnético (Am)	Densidad de potencia (Wm ²)
9 – 150 KHz	87	5	-
0.15 – 1 MHz	87	0.73/f	-
1 – 10 MHz	87/f ^{0.5}	0.73/f	-
10 – 400 MHz	28	-	-
400 -2000MHz	1.375f ^{0.5}	0.0037f ^{0.5}	f/200
2 –300 GHz	61	0.16	10

Tabla 2.5 Rango de Exposición poblacional

Métodos Predictivos

Los métodos predictivos permiten la evaluación teórica de la intensidad del campo eléctrico o la densidad de potencia según sea requerido

En los métodos predictivos se podrá emplear cálculos teóricos con modelos de propagación adecuados para el campo lejano,.

Ecuaciones básicas empleadas en los cálculos teóricos

a.) Región de campo cercano

La distancia hasta la cual se extiende el campo cercano se determina por la formula siguiente:

$$R = \frac{0.6 \times D^2}{\lambda}$$

Donde

R = Extensión Lineal de campo cercano(m)

D = diámetro mayor de la antena

b.) Región de Campo Lejano

Cuando la distancia del punto en evaluación se encuentra a una distancia mayor que R nos encontramos en la región de campo lejano.

Las ecuaciones que se mencionan a continuación son validas en condiciones de campo lejano.

1. Intensidad de campo lejano

$$E = (30pire)^{0.5}$$

2. Densidad de potencia

$$S = \frac{pire \times 0.64}{\pi \times r^2}$$

3. Densidad de potencia fuera del haz principal

$$S = \frac{pire \times F \times 0.64}{\pi \times r^2}$$

en las formulas mencionadas

$$pire = Pt \times Gt$$

Donde

pire = Potencia isotropica radiada equivalente

Pt = Potencia de transmisión (wattios)

Gt = Ganancia de transmisión (numérica)

r = Distancia (m)

F = Factor de corrección por directividad horizontal de la antena

f = Frecuencia (MHz)

E = Intensidad de campo

CAPITULO III

3.1 Sistemas para tecnología LMDS

Las diferentes soluciones para un sistema de banda ancha basados en tecnología LMDS, se encuentran principalmente basados para satisfacer las necesidades de la convergencia de los servicios de voz, datos y video sobre redes conmutadas inalámbricas aprovechando su característica simétrica.

Observamos en el siguiente cuadro comparativo sobre las características más saltantes de los principales proveedores de equipos para LMDS en el mercado peruano. Luego se realizará una elección del sistema que posea mayores atributos para el uso que en nuestro caso deseamos realizar una y transmisión de voz, datos y video con una calidad superior a la que se encuentra en el mercado.

Al terminar de estudiar los cuadros comparativos observaremos los siguientes puntos para poder tomar una decisión correcta al escoger la tecnología adecuada

- La capacidad
- La cobertura
- Equipamiento de acuerdo a la frecuencia otorgada por el ministerio
- Los servicios que se brindan
- El aspecto económico para poder observar el factor de recuperación del capital para la empresa proveedora del servicio.

Para esto se ha realizado un cuadro comparativo entre las tecnologías:

Netro Current (Netro Corporation, Telecom SAC)

Alcatel 7390 (Alcatel)

Alreach 7000 (Borsh)

Ensembly (Lucent).

Proveedores en nuestro país de esta tecnología o al menos los más representativos.

Sistema	Netro Current	Alreach 7000	Alcatel 7390	Ensebly
Capacidad por sector (Mbps)	8	65	34	36
Canalización (MHz)	7	12.5	14	25
Servicio				
E1	SI	SI	SI	SI
N x 64 Kbps	SI	SI	SI	SI
IP	SI	SI	SI	SI
Frame Relay (V35)	NO	SI	SI	SI
ATM	NO	NO	SI	NO
ISDN	NO	NO	SI	NO
E3	NO	NO	NO	NO
OC3 / STM1	NO	NO	SI	SI
Voice IP	NO	NO	SI	SI
Interfase en la Estación Base				
OC3 / STM1	NO	NO	SI	SI
E3	SI	NO	SI	NO
IP	NO	NO	NO	NO
ISDN	NO	NO	NO	NO
N x E1	SI	SI	SI	NO
Interfase en el lado del cliente				
E1	SI	SI	SI	SI

N x 64 Kbps	SI	SI	SI	SI
IP	NO	SI	SI	SI
Frame relay (v35)	SI	SI	SI	SI
ATM	NO	NO	SI	NO
ISDN	NO	SI	SI	NO
POTS	NO	NO	SI	NO
E3	NO	NO	NO	NO
Soporte en 10 GHz	SI	SI	NO	NO
Rango en Km	7	7	-	-
Tx en la BS (dBm)	16	27	-	-
Rx en la BS (dBm)	-75	-87	-	-
Gan de la BS (dBi)	26	15.5	-	-
Tx en el abonado	15	15	-	-
Gan en el abonado(dBi)	30	25	-	-
Rx en el abonado(dBi)	-75	-87	-	-
Polarización	PV – PH	PV –PH	-	-
Redundancia	SI	SI	-	-
Soporte en 26 GHz	SI	SI	SI	SI
Rango en Km	14	7	7	7.5
Tx en la BS (dBm)	18	24	17	19
Rx en la BS (dBm)	-75	-87	-83	-80
Gan en la BS (dBi)	28	15.5	15	21
Tx en el abonado(dBm)	15	10	14	19
Gan en el abonado(dBi)	41	35	35	35
Rx en el abonado(dBm)	-75	-85	-84	-80
Polarización	PV - PH	PV - PH	COPOLA RIZACION	PV - PH
Redundancia	SI	SI	SI	SI
Interfase Aérea				

Modulación	4QAM	16 QAM	64 QAM	64 QAM
Frecuencia de operación	10-26 GHZ	10-26 GHZ	24 - 26.GHZ	24-26 GHz
Técnicas De acceso	TDMA	TDMA	FDM TDMA	TDMA TDD
Manejo de red				
Plataforma	PC	PC	PC	PC
Compatibilidad de interconexión	SNMP	SNMP	SNMP	SNMP WWW
Protocolo para interfase	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Control	Central	Central	Central	Central
Configuración de circuitos				
Alarma de tiempo	SI	SI	SI	SI
Logs de alarma	SI	SI	SI	SI
Performance de evaluación	SI	SI	SI	SI
Software dowloands	SI	SI	SI	SI
Precio	\$329.000	\$872.000	\$1519.000	\$826.000

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de proveedores de LMDS

Luego de realizar un análisis de los cuadros observados tendíamos :

Respecto a la característica de **la capacidad** se observa que la tecnología Ensebly es la que nos ofrecen una mejor opción. La tecnología Alreach 7390 es la siguiente posibilidad, que se podría tener como una alternativa viendo esta característica.

Ahora observando la característica de **la cobertura** la mejor opción es la tecnología de Netro por su característica de una cobertura de 7 kilómetros en la frecuencia de 10 GHz y es la mejor opción que me proporciona para equipos 26 GHz y con un radio de cobertura que en los mejores casos es de 14 Km. Observando que la tecnología Alreach también nos dan una alternativa en la frecuencia de 26 GHz pero posee una cobertura menor de 3Km. Luego se puede tener a la tecnología de Alcatel 7390 con un radio de cobertura de 7 Km.

Teniendo en cuenta que nuestro cliente se encuentra a una distancia mayor de 9 Km desde el edificio mas alto en el centro de Lima esta característica será muy importante a la hora de la toma de decisión para brindar el servicio propuesto en el proyecto.

Con respecto a la característica de **los servicios** todas nos dan la viabilidad de manejo de voz, dato y video dependerá de las interfaces que se manejen para esto ya se analiza el costo del reemplazo de estas interfaces o el costo de un equipo que tengan estas características en el caso de sistema Netro se observa que se maneja las siguientes interfaces E1, N X 64 , IP.

Adicionalmente del análisis técnico se pone en manifiesto la decisión de riesgo respecto al costo la tecnología Netro ofrece la mejor opción que es muy por debajo de las otras opciones que nos entrega este sistema.

Observando y evaluando la tecnología Netro es la que mas se ajusta a los requerimiento para el proyecto tanto por la característica en la cobertura capacidad y calidad para el servicio que se pretende brindar.

Observando y evaluando el sistema Netro desde el punto de vista de un operador que desee ingresar al mercado, se tendrá en observación para esta tecnología la capacidad, en comparación con las otras mencionadas, pero para esto el operador ha realizado un estudio de mercado para saber el factor de penetración con un operador dominante en el mercado.

3.2 Sistema AirStar (Tecnología Netro)

El sistema Airstart es un sistema inalámbrico Punto-Multipunto que provee conexiones locales en banda ancha. Airstar está construido sobre tecnologías ATM (Asynchronous Transport Mode) avanzado y de radio de microondas digital, provee un eficiente manejo de ancho de banda y costo siendo una solución adecuada para los proveedores que brindan servicios (voz, data, video y acceso a internet).

Basado en una topología de sectorización tipo celular como se muestra en la figura (3.2), Airstar Network esta conformada por una o más celdas que pueden superponerse.

Cada celda puede provee un mecanismo de comunicación punto – multipunto, la red consiste de una estación base y un número de subscriptores terminales, así un sistema SNMP (System Network Managment Protocol) para el manejo y configuración de la red.



Figura 3.1 Sistema Airstar

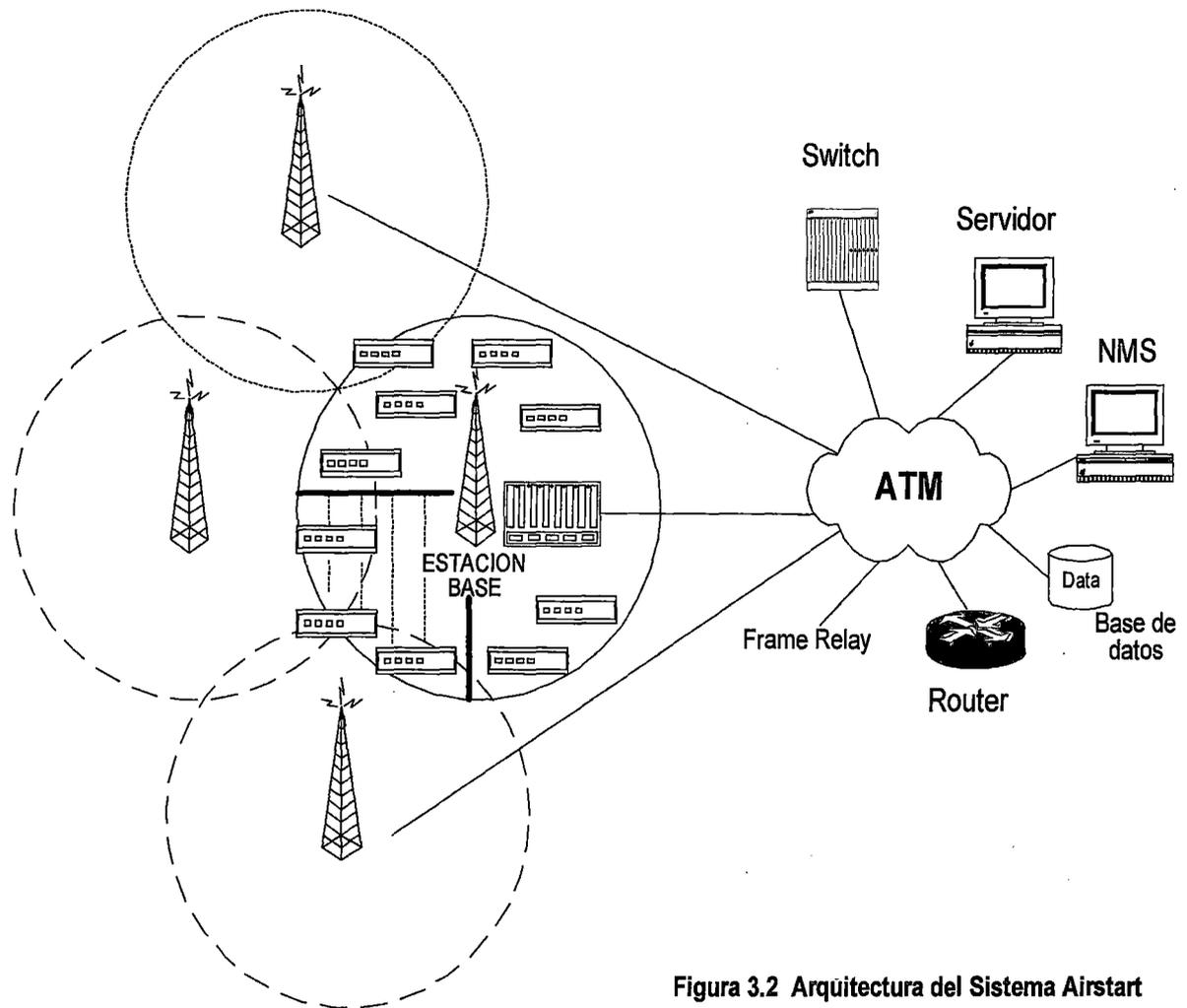


Figura 3.2 Arquitectura del Sistema Airstar

Airstar soporta las siguientes aplicaciones:

- Una red inalámbrica local para transmisión de voz , datos y video.
- Comunicación entre celdas y microceldas.
- Redes temporales para eventos especiales.

3.3 Componentes del sistema Airstar

El sistema Airstar esta compuesto de los siguientes elementos:

- Base Station Shelf (BSS).
- Base Sector Controller (BSC) 2 canales.
- Base Modem Unit (BMU) 2 canales.
- Base Radio Unit (BRU).
- Subscriber Access System (SAS).
- Subscribe Radio Unit (SRU) que se tienen con antenas integrales y no integrales.
- Airview explorer.

La composición del sistema Airstart esta detallado en el siguiente esquema:

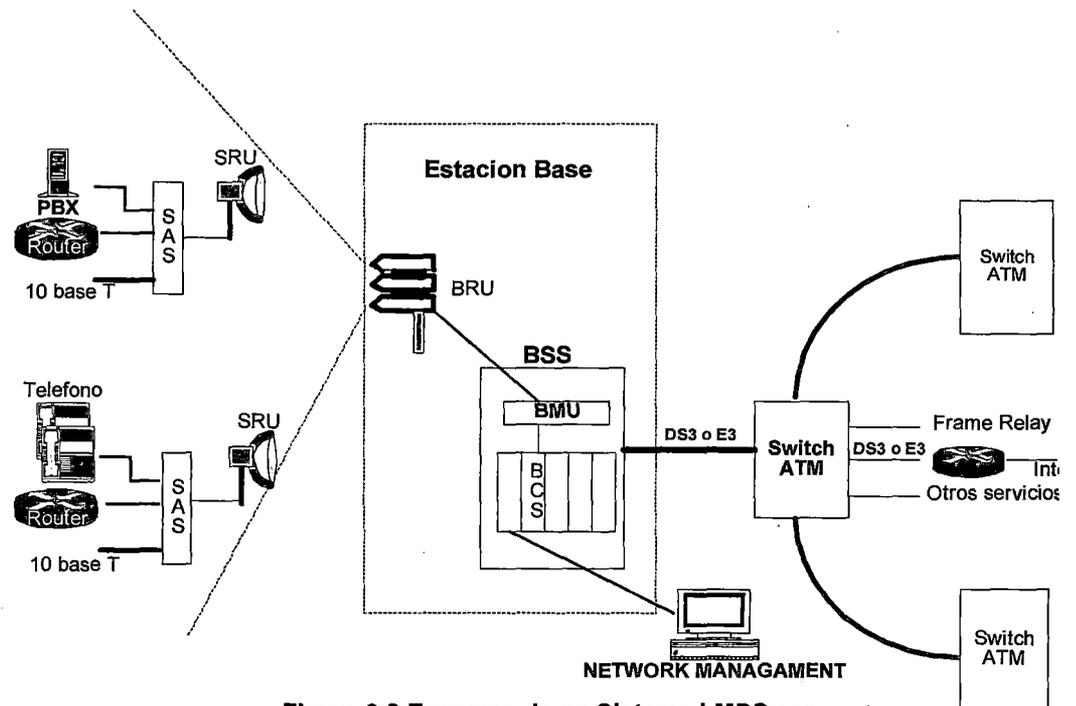


Figura 3.3 Esquema de un Sistema LMDS con equipos Netro

3.3.1 Base Station Shelf (BSS)

La BSS esta implementado en un rack de 19" que tiene 16 slots para alojar las tarjetas correspondientes, cada slot esta designado para alojar 2 tarjetas, una tarjeta ubicada en la parte frontal y una en la parte posterior de la misma. Los 16 slots de la BSS poseen un medio de comunicación entre ambas tarjetas. El backplane o armazón también le provee un sistema de alimentación eléctrica para cada slot de forma dual para tener una redundancia, las conexiones de alimentación eléctrica se encuentra ubicadas en la parte posterior de todo el backplane.

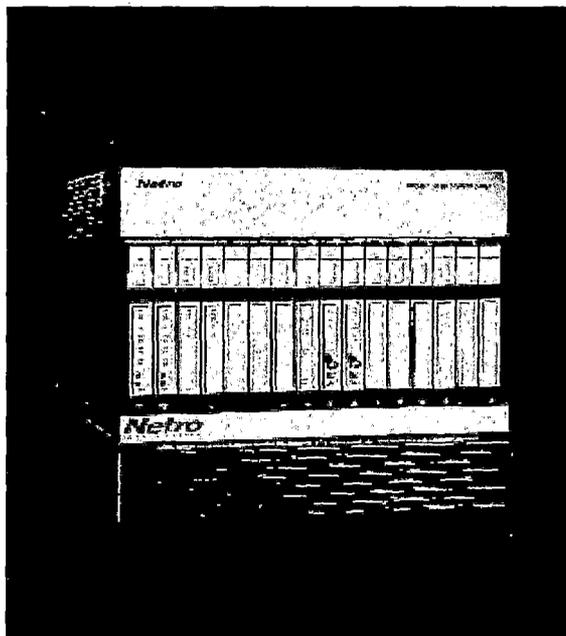


Figura 3.4 vista física de la BSS

La BSS también cuenta con un sistema de aire acondicionado que es indispensable para la BSS este sistema esta constituido por una ventilador en la parte baja del rack que es usado para refrescar toda los estantes del BSS.

A continuación observaremos la parte externa de la estación base

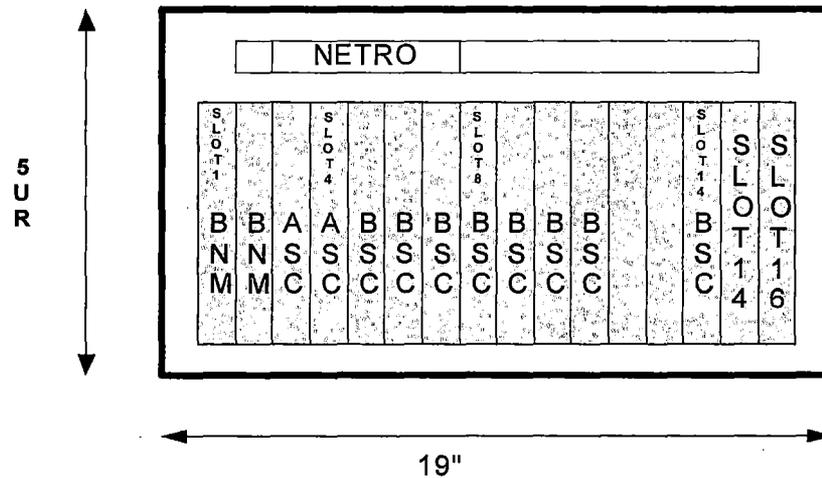


Figura 3.5 Tarjetas de la BSS

La BSS esta compuesto de los siguientes elementos:

- Un rack de 19" donde se monta todo los estantes con el backplane.
- Un ventilador para refrescar los equipos.
- Dos módulos de entrada de - 48V DC.
- Módulos de control (1+1 redundancia), incluido la tarjeta frontales y posteriores.
- Dos módulos para el Trunk de ATM igual con redundancia.
- 10 tarjetas de modulo de acceso para la BSC.

3.3.1.1 Modo de funcionamiento

El funcionamiento principal de esta parte del sistema Airstart además de cumplir la función de ser el soporte físico alojando y protegiendo a sus componentes, adicionalmente se puede indicar que es la suma de funciones de cada una de sus partes; como proveer de un sistema de interfase de control a través del ASC, manejo del tiempo y sincronización por toda la

BSS, la selección y manejo de la tarjeta de control y cual será el cellbuss usado como maestro, adicionalmente cuenta con los leds indicadores en frente de las tarjetas.

Se tiene varios slots que es el lugar donde se almacenara las tarjetas las cuales se dividen de la siguiente manera como se muestra en la figura (3.5).

- Del slot 1 al 4 son usadas como equipos de manejo del BSS
- Del slot 5 al 14 son de control para las tarjetas BSC
- Los slot 15 y 16 no son usados

En el siguiente bloque simplificado del hardware de la BSS como se observa por las líneas punteadas, el controlador BSC, BNM y CellBuss están todos provistos con un soporte de redundancia uno a uno

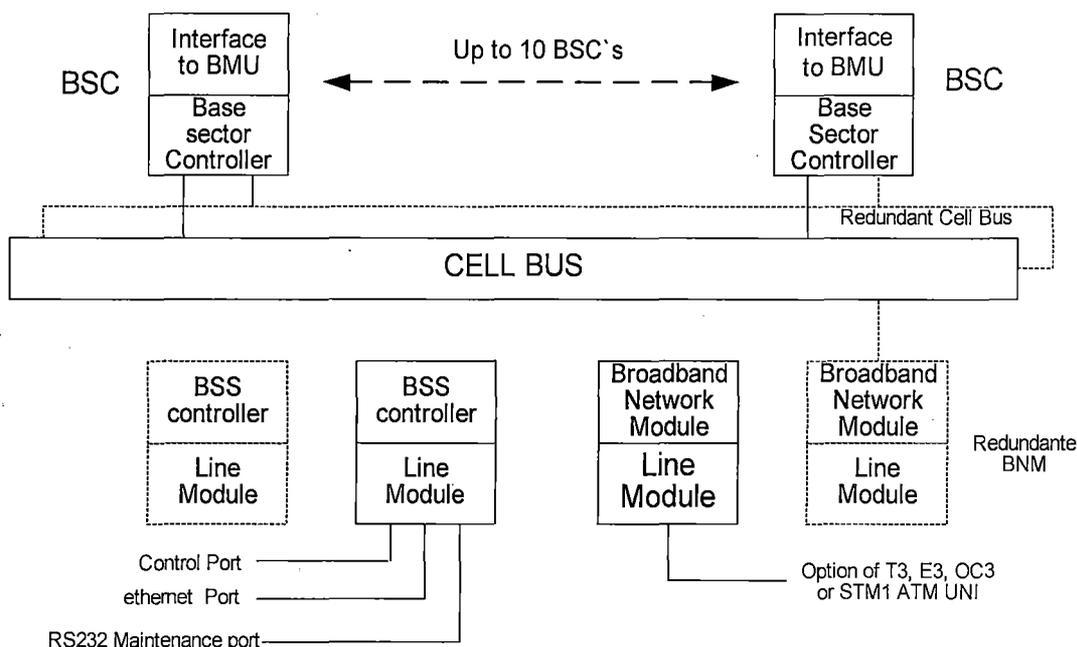


Figura 3.6 Arquitectura del hardware del BSS

3.3.1.2 BSS controller module (ASC)

La BSS tiene dos tarjetas de control llamadas ASC que consiste en una tarjeta frontal y otra posterior, en la estación base esta un modulo de control dual ubicadas e instaladas en los slots 3 y 4.

Su función es proveer al usuario una interfase para el control, configuración y manejos de los equipos

Existen dos puertos de consola que están ubicados en la parte posterior de las tarjetas y estas son:

The main interface port RS232(DB25) Es usado para el ingreso de comandos de línea, este puerto usa la dirección IP asignada en los puertos de control y no pueden usarse los cables Y en este puerto.

The ethernet port AUI (IEE 802.3,LAN AUI ,and DB15). Usado para la transferencia de archivos, el puerto ethernet se comunica usando IP, TFP, SNMTP y Telnet .

3.3.1.3 Broadband network moduller (BNM)

El broadband network (BNM) o tarjeta trunk ATM, tiene dos tarjetas una de ellas es BNM T3 o E3, la otra es BNM – OC3 o STM1. En estas tarjetas también se tiene que tarjeta delantera esta asociada con la posterior.

En la OC3 y la STM1 la tarjeta posterior provee un rango intermedio de 20 Km solo en modo de una interfase de fibra, con un tipo de conectores tipo SC para el Airstar dual BNMs están ubicados en los slots 1 y 2.

La función del BNM son :

- Selecciona la tarjeta de control (card controller) y cual será el cellbus usado como maestro.

- Elige la otra tarjeta para dar los permisos y concesiones, para transmitir las celdas y revisando también la performance de las mismas.
- Maneja el tiempo de selección y sincronización por toda la BSS.
- Provee una trayectoria de separación para todos los manejos de las BSS usando un ATM VCC a través de la red ATM.
- Acepta la transmisión de celdas ATM por encima de la T3/E3 o OC3/STM1.
- Multiplexa las celdas ATM desde las tarjetas de control sobre la interfase del trunk.

3.3.1.4 Base sector controller BSC

La BSC es una tarjeta de ingreso a presión que nos da el acceso al control del sistema inalámbrico. Una BSC incluye una tarjeta frontal asociada con la tarjeta posterior primeramente describiremos la tarjeta frontal.

Las funciones de la BSC son:

- Almacenamiento
- Monitoreo de tráfico
- Instalación de la MAC address
- Interfase backplane

En adición a estas funciones. La BSC esta relacionada con la cellmac controladora para cada sector, esto provee un mecanismo de acceso para todo los subscriptores, la BSC también usa un formato MAC layer de paquete por demanda de ancho de banda requerido arbitrariamente de la localización y adiciona un corrector de error para la transmisión inalámbrica.

Los flujos de tráfico son provistos por la BSC

- Usando un tráfico entre los puertos del subscriber y el terminal de la red.
- Manejo del sector entre la BSC y el proceso de suscripción en cada sector.

3.3.1.4.1 Características de la BSC

Uso del bit Rate por BSC

Dos canales están dados por el sistema Airstar cada canal soporta 8.192 Mbps observe que este es el resultado después de haber dejado las cabeceras ATM de control, mensaje y FEC. El total de la capacidad es 16384 Mbps.

VCI (Virtual Chanel Identifier) Space

Tiene un total de 4000 Vcs que es soportada por cada tarjeta BSC

VPI (Virtual Path Identifier) Space

Cada slot numerada de la BSS esta preconfigurada para cada VPI en la tarjeta para la red ATM una VPI por BSC.

Tamaño del Buffer

Cada BSS tiene un tamaño total de 4000 celdas ATM , el cual es compartido con todo los tipos de tráfico que fluyen en la tarjeta

Tipos de servicio de conexión

CBR(Cirt Bite Rate) transferido con la prioridad mas alta y con baja tolerancia y poco retraso.

VBR(Variable Bit Rate an ATM service) transfiere con ciertos parámetros específicos y que por contrato se garantiza cierta cálida de servicio.

Internal managment traffic Usando VBR con alta prioridad que es usado por el tráfico de la data.

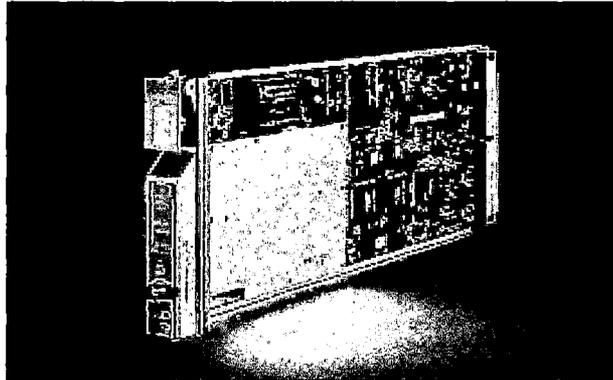


Figura 3.7 Tarjeta BSC

3.3.2 Base Unit Modem (BMU)

Es un modulo interior que realiza la función de modular y demodular en IF ((Frecuencia intermedia) y que adicionalmente realiza las siguientes funciones:

- Estimación de los parámetros de Recepción (tiempo de llegada, niveles de recepción del ruido y señales de RX en el llano)
- Cable Coaxial FDM de Tx /Rx , telemetría, alimentación de energía y frecuencia de referencia.
- Interfase con la BSC
- Corto circuito de protección
- Manejo de las funciones del BMU y BRU
- Referencia de la frecuencia generada vía ajuste por fase

3.3.2.1 Características del BMU:

Modulación

La modulación genera continuas señales en 4QAM centrado en una frecuencia intermedia 350 MHz

Demodulación

El demodulador trabaja en el modo de barrido para regenerar la señal desde una señal no continua 4QAM centrada en 140 Mhz. Esto permite que múltiples suscriptores tengan acceso a la misma portadora de la estación base estadísticamente.

El demodulador provee algunas características únicas estas son :

- Capacidad de recibir paquetes de diferentes tamaños con cortos preámbulos
- Capacidad de estimación de la recepción de la señal, recibe también los niveles de ruidos y retrasos
- Capacidad de detectar colisiones de múltiples subscriptores transmitiendo simultáneamente (la voz y los datos son transmitidos libres de colisión)
- Capacidad de proporcionar rastreo en las variaciones de fase de una portadora de banda ancha.

Numero de canales del BMU

El BMU ofrece dos canales de modem.

Monitoreo del BMU

Los leds por canal están ubicados en la parte frontal, este nos indica el status del modem esto son:

- Power
- LO (oscilador local)
- Clock

3.3.2.2 Control automático de potencia del SAS, controlado por CellMac,

El BMU trabaja junto con la BSC para controlar la transmisión de potencia para todas las asociadas con el SRU. Esto provee continuamente comparaciones de recepción de señales desde el SRU puede ser enviado la transmisión de poder ajustando cada comando para cada SRU vía BSC (CellMac). Por esto cada SRU tiene asignado un límite superior de transmisión, este resultado hace que reciba relativamente señales uniformemente desde los SRU

3.3.3 Base Radio Unit (BRU)

El BRU es una unidad externa, que incluye transmisor y receptor de radio frecuencia (RF), a través de una antena integral sectorizada. Utiliza una

técnica de duplexión de frecuencia para transmitir y recibir y así compartir la misma antena. La principal función del BRU: es ser la interfase para el BMU y realizar la conversión de RF a Frecuencia Intermedia (IF) y viceversa. Debe tenerse en cuenta que la antena integral puede ser remplazada bajo cierto campo de instrucciones técnicas, razón por la que se tienen sectoriales de 45° y 90°.

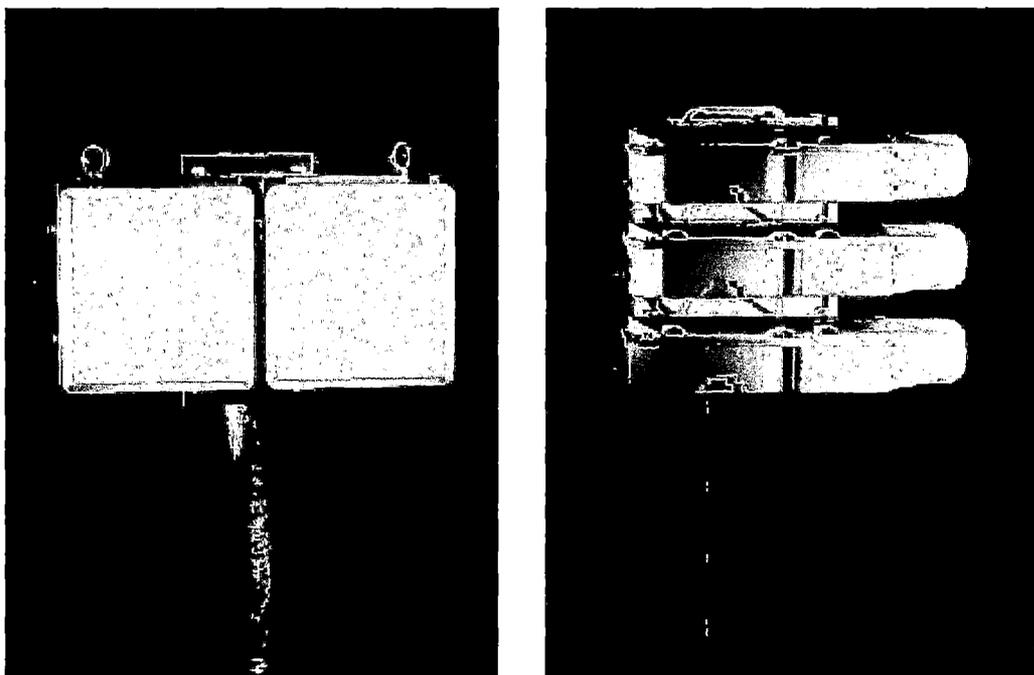


Figura 3.8 BRU de 10 GHz (ala derecha) BRU de 26 GHz (ala izquierda)

3.3.3.1 Características del BRU

Frecuencia de operación

Los BRU operan en la banda de 26 GHz ETSI . Los detalles de la frecuencia canales se detallan a continuación:

- En general la banda de 26 GHz están dividido en 4 bandas
 - Banda 1 24.5525 – 249935 GHz
 - Banda 2 25.0005 – 25.4415 GHz

- Banda 3 25.5605 – 26.0015 Ghz
- Banda 4 26.0085 – 26.4495 GHz

La banda 1 , 2 ,3 y 4 tienen pares de subida para transmisión y recepción operando con una banda de separación de 1008 MHz.

Canalización

El ancho de banda para el canal del portador del BRU es 7 MHz en 26 GHz .

Tunnig Range

Los BRU permiten flexibilizar la selección del canal. La operación del número de canales es determinado por el programa desde el transmisor sintetizador que es el controlador por la BSC vía BMU.

Potencia de transmisión

La salida de la potencia puede ser regulada ajustando el nivel de la energía de salida del amplificador. Enviando comandos a través del telemetría del canal se puede realizarse esta operación. La máxima salida de Transmisión es +18 dBm .la mínima potencia de transmisión es –30 dBm. El rango del control es de 48 dB.

Sensibilidad de recepción

La figura de ruido es de 10dB máximo para los radios de 26 GHz . La sensibilidad de recepción para el BER de 1×10^{-6} esta en –85 dBm en 26 GHz banda ETSI, Esto se basa en una modulación 4QAM y una capacidad de 8 Mbps para cada canal

Ganancia del Sistema

La ganancia del sistema es de 105 dB en 26 GHz banda ETSI a un BER de 10^{-9}

Antena en la estación base

Los BRU usan diferentes astas dependiendo de cuan alto el sector lo requiere. Las antenas de sector de 90° y 45° proveen una opción estándar con el siguiente valor nominal

- 90° - 15 dBi
- 45 - 18 dBi

Antena de estación de base Co – Polar

Las antenas BRU co-polar con una ganancia de 25 dBi.

Antena de estación Base protegida

La antena esta cerrada con la unidad de radio. La antena esta protegida por una cubierta que repelerá las gotas de agua para minimizar su acumulación de nieve y de hielo

3.3.3.2 Estación Base Cableada

La Estación Base cableada se detalla en la siguiente figura (3.9). Airstar estándar provee los siguientes paquete con los siguiente cables y conectores:

Cables entre la BSC y el BMU –DB25 máximo de 2 metros y conectores TC.

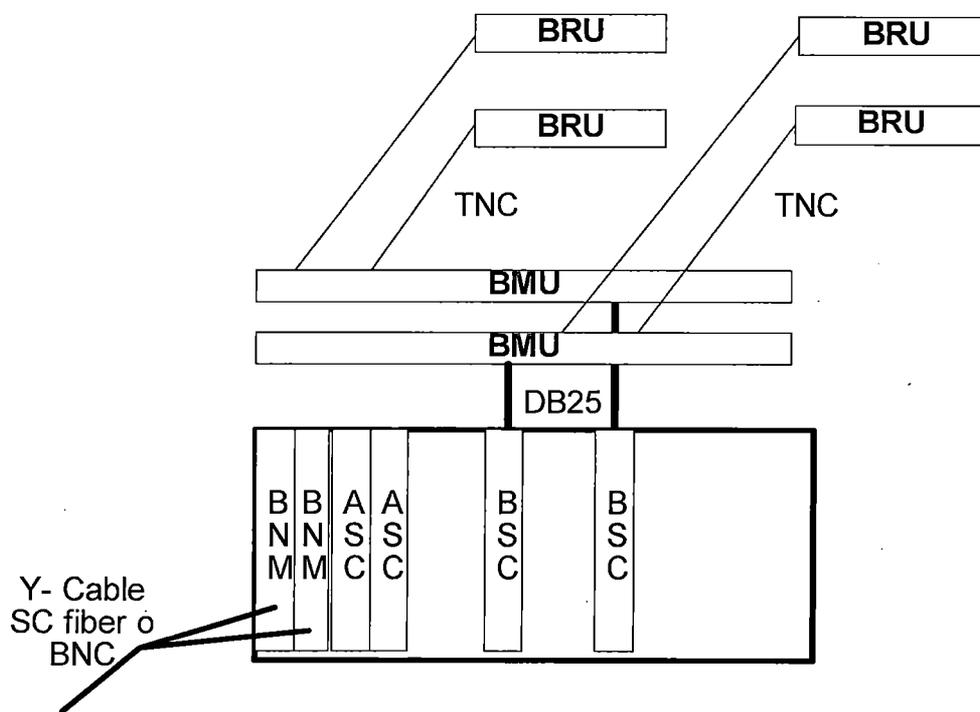


Figura 3.9 Cableado de la estación Base

3.3.4. Subscribe Acces System SAS

Es un dispositivo interior que provee la interfase en formato digital a un formato conversión para una función de modem . El SAS esta conectado al SRU vía un cable que transmitirá y recibirá las señales de la base; como el control del canal y monitoreo del SRU.

de conexión al usuario, no se proporciona ningún tipo de autenticación pues el SAS es parte de la red RFC 1483 la especificación básica en un multiprotocolo encapsulado sobre ATM AAL5, define dos métodos para llevar la data encaminadas a través de un puente.

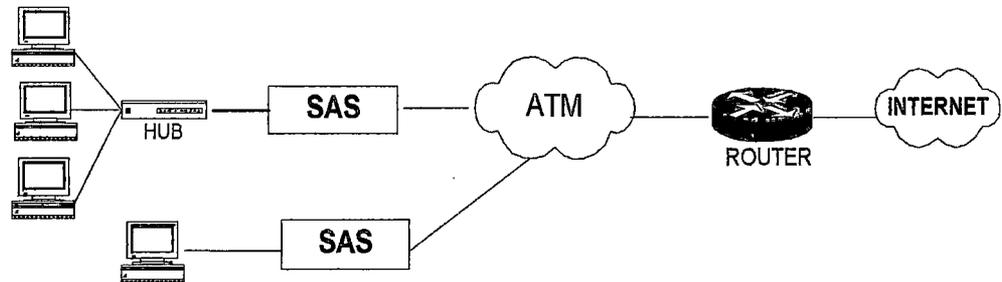


Figura 3.11 Conectividad IP via SAS por el puerto 10 Base T

Variantes del SAS

En esta versión 1.0 soporto lo siguiente

- 2xE1 port + 1X10 baseT port.
- E1 AAL1 soportando modos UDT , STD (hasta 31 TS sin CAS).

Controlador del SAS

El integro de SAS es controlado por un microprocesador 68360 de motorola con 2 Mbytes de DRAM y 4 Mbytes de flash de memoria.

La memoria Flash puede repartirse para la bajada del software mientras todavía esta funcionando.

Self Start System

Cuando el SAS se enciende el sistema comenzara la ejecución de la búsqueda del boot en una porción de la memoria flash, se configura

el periférico y la transferencia del software genérico en la memoria flash, la información de la preconfiguración esta ubicada en la memoria flash, la comunicación entre el SAS y la BSC se realiza automáticamente por medio del controlador de la MAC

VC Space

Esta versión soporta levantar 64 VC para servicios CBR y 500 para servicios VBR

Modem

El SAS opera como modulador en el barrido y en modo del demodulador opera en forma continua. La recepción del canal es siempre activa. Pero la transmisión del canal esta siempre activa, cuando va existir una admisión esta es generada por la BSC

Forward Error Corection

El código BCH es usado para la corrección de la subida de 6 bits y en un paquete de 7 bits para la bajada

Serial Port

Este es un RS232 puerto serial localizado en el SAS y es usado para realizar el test y eliminar errores, no piense ser utilizado como una interfaz

SAS addressing

Este es identificado por 48 bits en hexadecimal , siendo preconfigurado para cada SAS para su autenticación.

Suscribe terminal power requeriment

El SAS opera desde una fuente de alimentación externa nominal de -48 VDC y de 13 Watts . también provee energía al SRU con un consumo aproximado de 20 Watts. el total de energía requerida es de 33 Watts.

3.3.5 Subscribe Radio Unit (SRU)

El SRU es un componente externo que incluye radio de transmisión y recepción también es una antena integral.

Para ciertas aplicaciones una opción de la antena no-integral puede ser usado para incrementar la performance. El funcionamiento del acoplamiento utiliza un duplexor de frecuencia que permite que el transmisor y receptor compartan la misma unidad de frecuencia .

El SRU utiliza una frecuencia duplexora para todas las transmisiones y recepción para la parte de la unidad de la antena.

La principal función de un SRU es proveer un acoplamiento de BRU y una interfase con el SAS para una frecuencia intermedia.

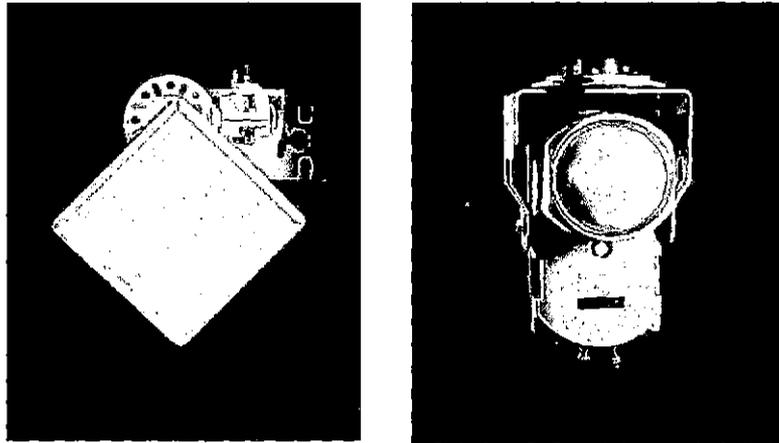


Figura 3.12 SRU de 10 Ghz (Derecha) SRU de 26 Ghz(Izquierda)

3.3.5.1 Características del SRU

Frecuencias de operación

En general la banda de 26 se divide en 4 bandas

- Banda 1 : 24.5525 – 24,9935 MHz
- Banda 3 : 25,0005 – 55.4415 MHz
- Banda 2 : 25,6505 – 26,0015 MHz
- Banda 4 : 26,0085 – 264495 MHz

La banda 1,2 ,3 y 4 esta levantado para transmisión y recepción de radio con un separación entre ellos de 1008 MHz.

Canalización

El tamaño del canal de del ancho de banda del SRU es de 7 Mhz en la banda de 26 GHz

Tuning Range

El SRU permite la elección ágil del canal , La operación del canal es determinado por el programa de transmisión sincronizado que es controlado por el SAS vía un canal de telemetría esto provee al BRU de un ancho de banda de 450 MHz para la banda de 26 GHz

Transmit power

La transmisión y ajuste de los niveles de transmisión se realiza dinámicamente este control remoto dado por la estación base (BMU y BSC) proporciona un control de comandos que es entregada por la cellmac como mecanismo de control del brotcast. Donde la máximo salida de transmisión es +18.0 dBm. Automáticamente transmite niveles de control con un rango de (ATPC) de 48 dBm, así que la mínima salida de transmisión es de -30 dBm

Receive sensitive

El SRU recibe una figura de ruido de 10 dBm , la sensibilidad de la recepción es de -85 dBm con un BER= 1×10^{-6} y 8 Mbps de carga util en la banda de 26 GHz

Ganancia del sistema

El sistema tiene una ganancia de 105 dB en la banda de 26 GHz

Carrier to noise ratio

El ruido para la portadora es de 1×10^{-6} en 10 dB

Ganancia de las antenas SRU

Son usadas con una lente de 125 mm de corrección, para proveer 28 dBi (nominal) en la banda de 26 GHz . si se necesita una ganancia mayor se usara una antena no integral (el amplificador y la antena vienen separados) de 1 pie (390mm) y 2 pies (650mm)

Wind Loading

El SRU esta diseñado para operar hasta 145Km/hr pero soporta hasta 200Km/hr de carga de viento.

3.3.6 El agente SNMP

La aplicación del software para ambos el BSS y el SAS incluye al SNMP agente con manejo de información base (MIBs). El MIBs contiene la configuración entera local, así se puede observar los eventos que están sucediendo en los logs, con cierto período.

3.3.6.1 BSC /SAS MIB

Ambos el BSC y el SAS ,SNMP, estos agentes están basados en el Wind net SNMP v1/v2 productos de windriver system .Estos soportan un estándar de MIB II como parte del windnet.

Las siguientes son las mejoras para el grupo de MIB

- SNMP configuración por grupo
- BSC SAS configuración de tablas de grupos
- Alarma de grupos
- Grupo de traps (eventos)
- Equipamiento tipo grupo
- Grupo de configuración E1/DS1
- Grupos de interface para grupo
- Bajar software para un grupo SAS
- Grupo de radios configurados
- Grupo de canales VBR
- Dirección IP por grupo

3.3.6.2 Sistema de redundancia

El sistema de redundancia esta provisto para que nos proporcione niveles de crecimiento en el servicio y su disponibilidad en esta versión.

- Base station controlller 1:1 redundancia
- Base station BNM (ATM trunk) 1:1 redundancia (cable Through Y)

- Sistema de alimentación de la Base
- Unidad de radio de base
- Unidad de modem
- Controlador de sector de base.

En general el sistema de redundancia esta soportado por un sistema de componentes sin embargo la conmutación se proporciona a nivel del BSC solamente. Esto significa que cualquier falla en el rendimiento del BMU BRU BSC provocara al conmutación de las trayectorias de la redundancia fijada, como se observa en la figura (3.13).

El esquema de redundancia no evita corte en el servicio. Esto puede ser llamado un recurso en emergencia que tendrá una pequeña interrupción que puede ocurrir durante la conmutación de redundancia las situación del las causas de redundancia están basadas en dos categorías

1. Falla de hardware .- Las fallas en el hardware son detectadas por un sistema de alarmas criticas específicamente para cada componente, tales como BSC, BMU y BRU que normalmente son fallas con los cables entre el BMU y el BRU

2. Fallas mediante software.- son las porciones de las alarmas criticas en el sistema. Cuando el sistema detecta una falla irrecuperable en realizar ciertas tareas, entonces el agente SNMP envía unos paquetes TCP/IP por donde el sistema invoca una interrupción.

En principio cualquier alarma o combinación de las alarmas causarían la conmutación de las redundancias

- Cuando la falla de la BSC la tarjeta controladora ASC es la que la diagnostica
- Cuando la falla es de la BSS como la trunk la tarjeta (BNM) es la que la diagnostica
- Cuando la falla es una BSC esta es diagnosticada

- Cuando la falla es de un BMC para un BMU el cable debe ser diagnosticado por la perdida de señal
- Cuando el BRU es diagnosticado para la comunicación del BRU se interrumpe puede ser causado por unas faltas en el BMU

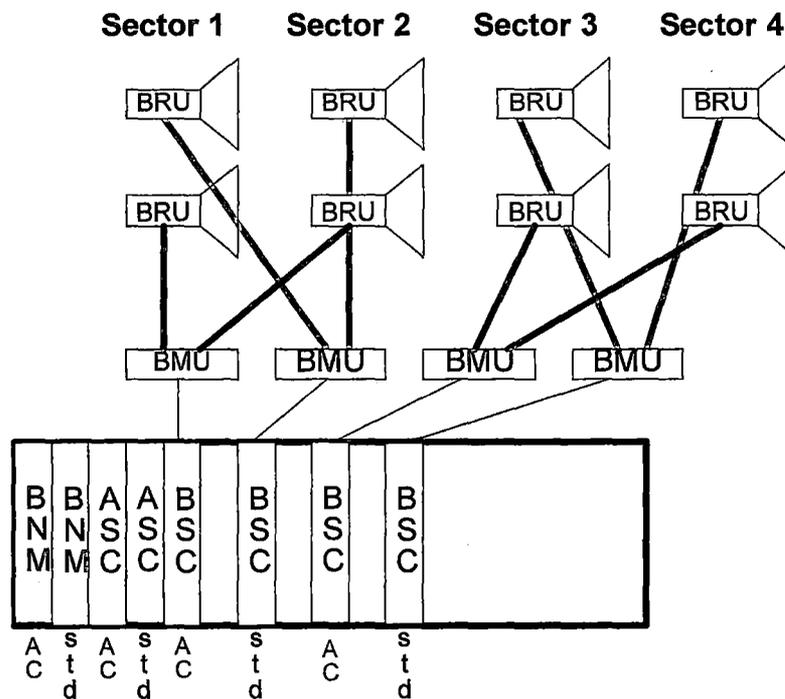


Figura 3.13 Estación Base redundante

3.3.7 Elementos del Management System

El Airview Element Management System (EMS) Link explores PMP (LE) maneja todo el Sistema Airstar y sus componente, incluido la estación Base y los subscriptores terminales. El LE esta construido encima de una base de datos y un punto de comunicación de SNMP que nos provee de la capacidad de administrar y monitorear fundamentalmente los aspectos del sistema Airstar.

El LE se comunica con todas las BSC, agentes SNMP y SAS. El agente SNMP esta manejando el área a través de TCP/IP esto consolida toda la información de la MIBs. Adicionalmente localiza a cada BSC y SAS generando eventos y reportes y el mantenimiento de la base de datos de la red. En la figura(3.14) se observa la arquitectura para esta versión del Airview.

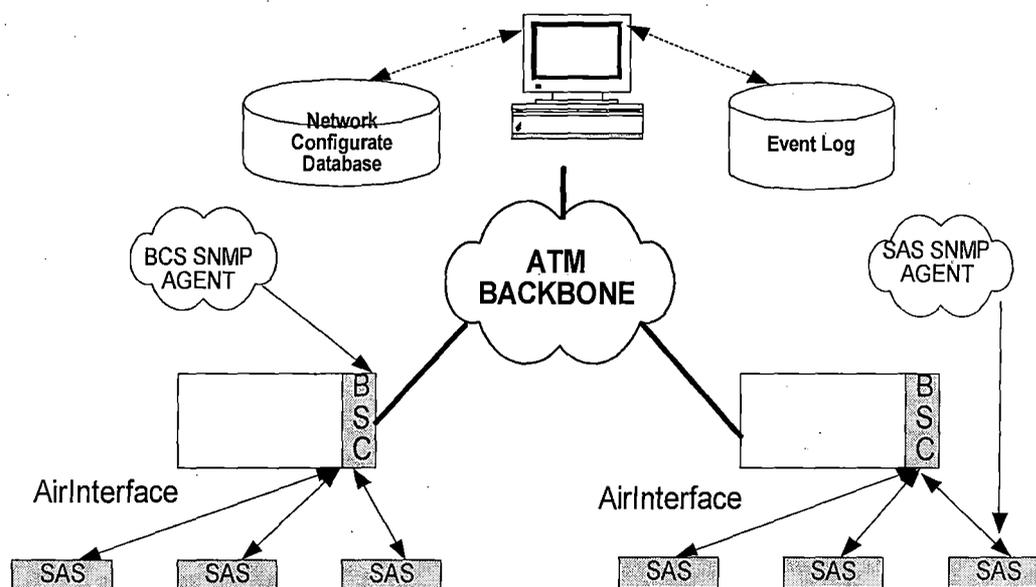


Figura 3.14 Sistema Airview

3.3.8 CELLMAC

Cellmac es un protocolo propietario de la interfase aérea, con esto optimizamos la red ATM inalámbrica. Esto provee un mecanismo de regularización para compartir el ancho de banda común entre múltiples usuarios. CELLMAC es diseñado para encontrar los siguientes requerimientos de tráfico.

Ancho de banda Fijo .- Una parte del ancho de banda que se prevé para un cliente

Ejemplo :

Servicio de línea de alquiler

Ancho de banda por demanda.- El ancho de banda asignado mientras dure la llamada.

Ejemplo :

El RDSI (red integral de servicios integrados)

Ancho de banda por demanda de paquete.- El ancho de banda se maneja de acuerdo al requerimiento que se realiza paquete por paquete, además permite la multiplexación del trafico para el usuario.

Ejemplo:

Redes Frame Relay.

Multicast Transmisión para múltiples subscriptores.- Elimina la necesidad de transmitir información idéntica para diferentes usuarios en múltiples tiempos.

Ejemplo:

La emulación de una Lan

3.3.8.1 Características de la Cellmac

Adicionalmente a su función básica como mecanismo de múltiple acceso la CELLMAC proporciona las siguiente características únicas **Escalabilidad** independientemente de la tasa de bit o el rendimiento de la modulación.

Alto ancho de banda utilizada . Para ambas aplicaciones CBR y VBR.

Transparencia Independientemente de la interface usada en la red.

Calidad de servicio Bajo el CLR ,CTD , y CDV.

Múltiples servicios CBR, rtVBR, nrt-VBR ,ABR y UBR,etc.

Imparcialidad Múltiples prioridades o grados de servicios asociados al ancho de banda.

3.3.8.2 Modelo de referencia Cellmac en ATM

En la figura 3.15 se tiene un modelo de referencia para el acceso de una red ATM inalámbrica

En donde la CELLMAC tiene el medio de acceso y la función del control

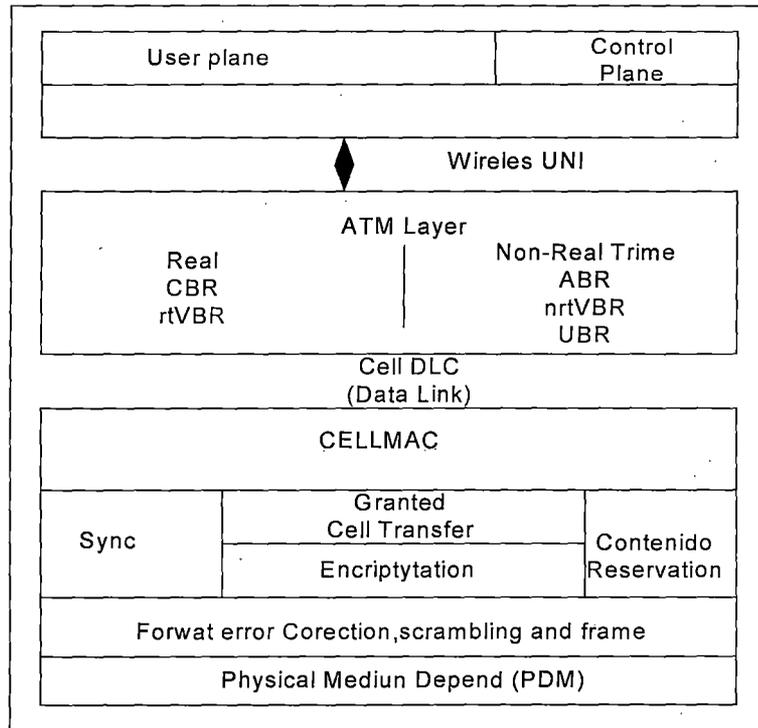


Figura 3.15 Modelo de referencia ATM para acceso a una red Wireless

Este modelo de referencia es descrito como sigue:

- Dependiendo del medio físico de los circuitos de transmisión inalámbrica, incluyendo el modem
- Corrección Avanzada de Error (FEC) trama FEC y encriptación de información
- Sincronización .- Mecanismo que regula el retardo (delay) entre la estación base y los terminales
- Contención .- Realiza una reserva del ancho de banda en picos de tráfico

- Encriptación .- Usado como medio de protección de la data cuando se esta transmitiendo la información vía inalámbrica
- Transferencia de celda GRANT.- La transmisión esta libre de colisiones en la subida concedida por la estación base
- Celda DLC.- Presenta la función de detección y una función de rechazo para controlar la calidad de las celdas transmitidas en el enlace
- Capa ATM .- Responsable de mantener la calidad de servicio requerida para cada circuito virtual.
- Capa de adaptación ATM non ATM para conversión ATM como un AAL1 y un AAL5.
- Plano del usuario .- Servicio de punto de acceso para el servicio de señalización de la data.
- Plan de control.- servicio de punto de acceso para el control de la información entre los terminales y la estación base y señalización ATM.

El punto de referencia virtual es creado entre la capa ATM y la capa superior llamada " UNI inalámbrica" el significado de éste punto es que las capas del protocolo sobre este punto son transparentes para la naturaleza inalámbrica del enlace.

3.3.8.3 Transmisión de subida y bajada

Como se observa en la figura 3.16 la transmisión de subida y bajada de la cellmac está operando en modo full dúplex, en el cual la estación base envía un broadcast en la dirección downstream al terminal del subscriptor dentro del sector. Cada subscriptor tiene una dirección mac addrees distinta, con lo cual cada terminal de los subscriptores puede extraer su data del tráfico de bajada. Este modo es esencialmente Time división múltiplex (TDM), aunque el concepto de TDM frame no existe.

La dirección del flujo de subida consiste del el barrido desde cualquier terminal , el recorrido en modo Time división múltiple acces (TDMA).

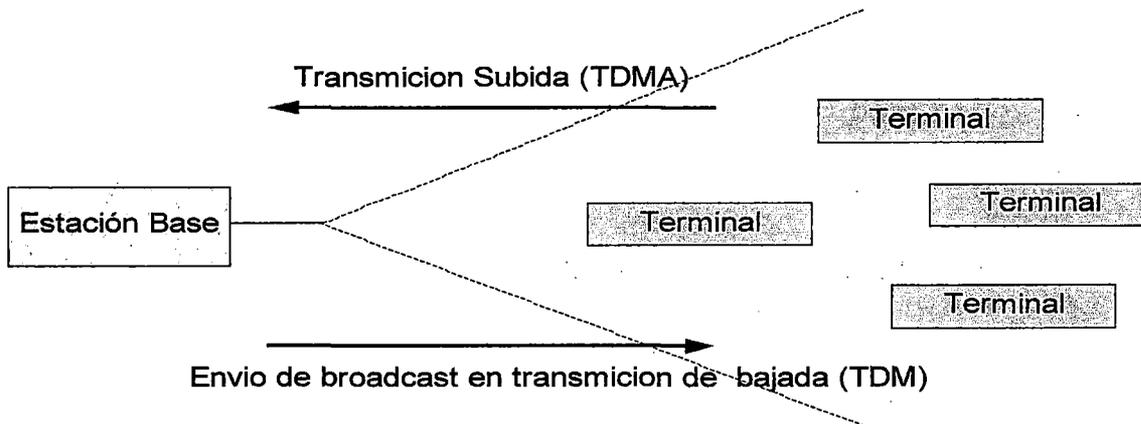


Figura 3.16 Transmision de Subida y Bajada

3.3.8.4 .Formato de la unidad del protocolo CELLMAC

Flujo de bajada (Downstream) .- La bajada esta en un flujo continuo .la unidad de dato del protocolo (PDU) CELLMAC se observa en la siguiente figura 3.17

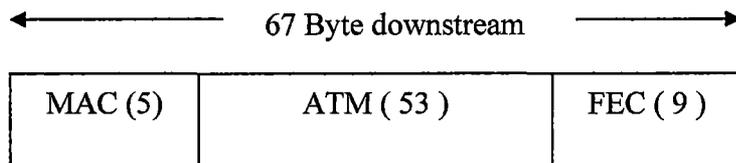


figura 3.17 Formato de la MAC para bajada

La cabecera de la MAC y la cabecera de la celda ATM de 5 byte incluye entre otros parámetros la siguiente información relacionada a la MAC

- Dirección del terminal destino CELLMAC si la celda es ATM
- VCI si la celda es ATM

- STI / VCI para transmitir una ráfaga de información en dirección del flujo de subida tipo grant.
- Campo de respuesta.

Flujo de subida (Upstream) .- existe tres tipos de PDUs en el flujo de datos de la subida, ellos son:

1. Cellmac ATM cell

En la figura 3.16 el formato MAC PDU para el flujo de subida de la celda ATM ilustra la estructura del flujo de subida de una celda ATM regular. El PDU es usado para llevar información del usuario y administración del tráfico de red. Esta es del mismo tamaño que el flujo de bajada PDU. Sin embargo, incluye 1 byte y 2 bytes de preámbulo con el propósito de sincronización en el soporte de la transmisión de ráfagas de subida.

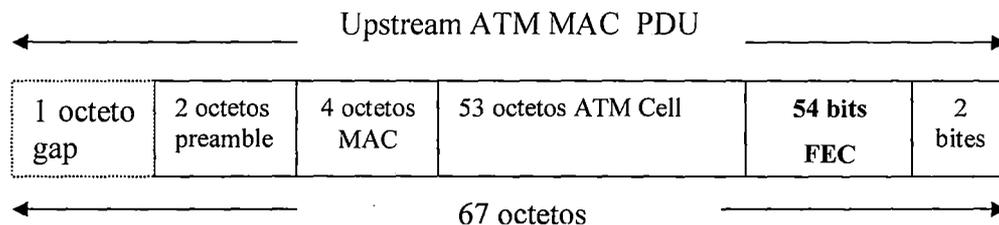


Figura 3.18 Formato de celda ATM para flujo de subida

La cabecera de la MAC de la celda ATM incluye la siguiente información

- Dirección Origen de la Cellmac
- VCI de la celda ATM
- VCI / COUNT -1 Para un circuito virtual que realiza un conteo de 0 a 7

2. Contenido del Slot

El contenido del slot es usado para el requerimiento de transmisión. Es una celda Cellmac ATM dividida en 6 con 11 bytes en un mini slot como se muestra en la figura 3.19. Este mini slot contiene :

- Una dirección origen de la celda MAC requerida.
- VCI / COUNT -1 Para un circuito virtual que realiza un conteo de 0 a 7.

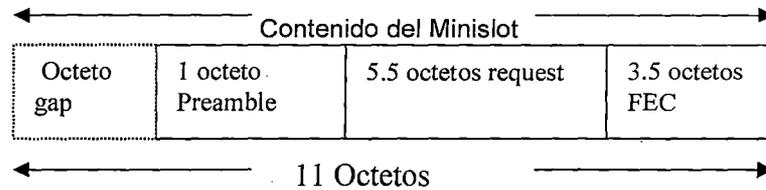


Figura 3.19 Contenido del formato del mini Slot PDU

3 Slot de Admisión

El Slot de admisión es usado para registrar a un nuevo usuario terminal, los 32 byte de slot de admisión nos concede el periodo en el cual los nuevos usuarios suscritos pueden transmitir sus requerimientos, la información clave en el envío de estos requerimientos es la MAC de 48 bits cuyo formato está dado por la IEEE para identificarlo como dispositivo único.

CAPITULO IV

Diseño de una Celda LMDS

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

4.1 Penetración del sistema y calidad de servicio.

La calidad del servicio que se brinda en el sistema LMDS, se mide por medio del porcentaje de usuarios que poseen un nivel de señal adecuado para alcanzar una calidad de servicio.

En el caso de nuestra ciudad el factor clave de penetración del sistema es superar las grandes construcciones, cerros, vegetación en menos grado, Si el haz del radio enlace se obstruye por árboles o vegetación, el impacto sobre el nivel de señal es significativa. A frecuencias milimétricas, como son los sistemas LMDS, la situación es más crítica. 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 (LoS, Line of Sight).

En el caso de las construcciones y cerros estas en definitiva evitan la línea de vista, en cuanto a la vegetación, los valores de atenuación 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 de bloqueo del haz, el solapamiento entre celdas o la redundancia del sistema también afectan a la calidad de servicio. El solapamiento entre celdas es un factor de diseño importante de tal forma que se garantice que un abonado situado cerca del borde de la celda pueda recibir servicio de múltiples direcciones. Un valor típico de solapamiento es el 15 %, el cual puede variar dependiendo de la densidad de población y de la obstrucción causada por grandes edificios.

Otro factor a tratar es el tiempo de caída del sistema en el caso de fallas o degradación del enlace, pueden utilizarse transmisores, receptores y antenas de reserva (redundancia de equipos). Cuando el sistema de gestión detecta un fallo en un determinado equipo se conmuta al equipo de reserva en unos pocos microsegundos. Los transmisores y receptores digitales de banda ancha poseen tarjetas de monitorización cuya función es medir parámetros tales como potencia de salida, temperatura, etc. Todos estos valores analógicos se digitalizan y se transmiten hacia el centro de control de red, el cual se encarga de comprobar los márgenes de funcionamiento y conmutar al equipamiento de redundancia en caso de falla.

La calidad de servicio o fiabilidad suele medirse por medio del porcentaje de tiempo que el sistema funciona correctamente. Valores típicos oscilan entre el 99,9 % y el 99,999 % dependiendo también de la distancia que el usuario se encuentre de la estación base. Adicionalmente, para aumentar este porcentaje pueden emplearse técnicas de diversidad. Las técnicas de diversidad pueden realizarse en el dominio espacial, frecuencial o temporal y consisten en proporcionar rutas distintas para transmitir y recibir información redundante. La idea se basa en que ahora es necesario que ocurra un desvanecimiento de la señal simultáneamente en todas las posibles rutas para cortar el enlace. De este modo, suponiendo que disponemos de dos rutas diferentes con una

fiabilidad o calidad de servicio del 99,9 %, la calidad resultante empleando diversidad llegaría hasta el 99,999 %.

4.2 Balance de Potencias

El balance de potencias se utiliza para calcular la distancia máxima de la estación base a la que debe situarse un usuario para mantener una determinada calidad de señal. En este cálculo intervienen todas las ganancias y pérdidas del sistema, incluyendo transmisores, repetidores, antenas, propagación en espacio libre, convertidores de frecuencia, amplificadores, desvanecimientos por lluvia o vegetación, etc. Los parámetros de calidad que se utilizan en el balance de potencias son:

- La relación portadora a ruido (**CNR**, Carrier to Noise Ratio)
- La relación portadora a interferencia (**CIR** Carrier to Interface Ratio).
- Los niveles de distorsión de tercer orden (**CTB**, Composite Triple Beat).

La CNR global del sistema se relaciona directamente con la tasa de errores (BER, Bit Error Rate) en recepción. Suponiendo la presencia de ruido blanco gaussiano y las figuras de ruido asociadas a cada componente, el BER se calcula a partir de un modelo teórico basado en el esquema de modulación empleado y el algoritmo utilizado para la corrección de errores. Generalmente se emplean técnicas de corrección de errores en recepción (FEC, Forward Error Correction) basadas en códigos convolucionales y Reed Solomon. Por otro lado, el nivel de distorsión acumulado a lo largo del sistema debe mantenerse en unos niveles aceptables para realizar la demodulación en el receptor correctamente. Los productos de íntermodulación 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 ínter modulación de tercer orden respecto ala de portadora) de unos -35 dB.

Por último, un importante parámetro de diseño en sistemas inalámbricos punto a multipunto es la CIR, dado que se trata de sistemas celulares sujetos a interferencias. La CIR produce una degradación de la CNR del sistema, conduciendo finalmente a un aumento del BER. En la figura 4.1 se representa el BER obtenido en recepción para una modulación 64QAM en función de E_b/N_0 (energía de bit respecto a densidad espectral de ruido) para distintos niveles de CIR, donde se puede observar el aumento que se produce en el valor de E_b/N_0 requerido para una cierta probabilidad de error conforme disminuye la CIR. El valor de E_b/N_0 se encuentra directamente relacionado con la CNR, por lo que un determinado valor de CIR conduce a una nueva CNR efectiva del sistema.

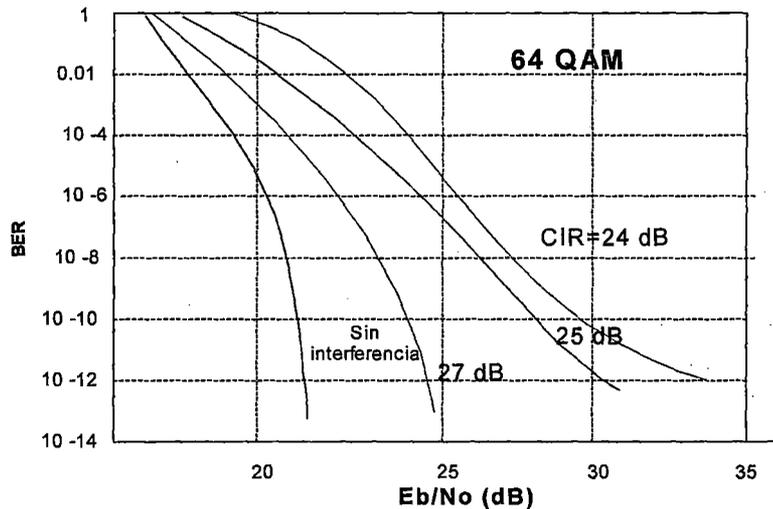


Figura 4.1 . Curvas de BER para una modulación 64QAM y varios niveles de CIR.

En la tabla 4.1 se resume el balance de potencias de un sistema típico LMDS operando a 40 GHz. Estos datos han sido obtenidos del proyecto CRABS (Cellular Radio Access for Broadband Services) del programa ACTS.

Parámetros	Enlace de Subida	Enlace de Bajada
Frecuencia	40 GHZ	40 GHZ
Potencia Transmitida	14 dBm	27 dB
Canales por amplificador	1	3
Ganancia de antenas transmisoras	34 dBi	17 dBi
PIRE	16 dBw	6.2 dBw
Perdida de radioenlace (2 Km)	130.6 dB	130.6 dB
Perdida de Lluvia (99.99%)	18.5 dB	18.5 dB
Ganancia de una antena receptora	17 dBi	34 dBi
Figura de ruido	5 dB	7 dB
Ancho de banda del canal	8.5 MHz	8.5 Mhz
CNR	14.2 dB	11.8 dB
CIR	14 dB	14 dB

Tabla 4.1 Parámetros típicos de un enlace LMDS

4.3 Tamaño de celda y coste del sistema

El tamaño máximo de celda se encuentra directamente relacionado con la calidad de servicio exigida y puede calcularse por medio del balance de potencias. El tamaño de celda puede variar dentro de la zona de cobertura debido al tipo de antena utilizado, a su altura, a las pérdidas por vegetación, al esquema de modulación empleado y a otros efectos anteriormente comentados. En el caso de la banda de 26 GHz los radios típicos de celda oscilan entre 5 a 7 Km, mientras que la banda de 3,5 GHz proporciona alcances de 15 a 20 Km. No obstante no siempre se cumple estos parámetros como observamos en el caso de las antenas de 26 GHz de Netro

Se puede observar que el tipo de área (urbana, suburbana o rural) condiciona enormemente el tamaño de celda por cuestiones de tráfico. A pesar de que los distintos abonados pueden disponer de un nivel de señal suficiente, el ancho de banda disponible es un recurso compartido. De este modo, en el caso de zonas con alta densidad de usuarios o grandes consumos de ancho de banda (edificios de empresas de la capital).

El coste total del sistema depende de una serie de factores: balance de potencias, tamaño de celda, solapamiento entre celdas, número de celdas, capacidad de tráfico, número de sectores por celda y coste por celda. La sectorización de las celdas se realiza por cuestiones de tráfico, ya que permite la reutilización de las frecuencias y por lo tanto del ancho de banda disponible. En general, el coste del sistema depende del número de celdas necesarias para cubrir 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 utilizan herramientas y software informático para optimizar costes.

4.4 Reutilización de frecuencia

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 no se aprovecha la capacidad de tráfico, se emplea técnicas de reutilización de frecuencia 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 la sectorización tanto con el fin de aumentar la directividad de las antenas como para independizar el tráfico de un grupo de usuarios.

Las configuraciones habituales consisten en 4 sectores por celda utilizando antenas con un ancho de haz de 90 grados. El diagrama de radiación de una antena sectorial de 90 grados típica se muestra en la figura 4.2 (curva de color rojo). Se puede observar que la radiación se mantiene prácticamente constante desde -45 hasta 45 grados con una caída bastante suave fuera de la región de trabajo. Precisamente esta caída no abrupta (atenuación de tan sólo 10 dB para 75 grados) provoca interferencia en los sectores adyacentes. Un tipo particular de interferencia es la causada por el lóbulo posterior de la antena (ángulo de 180 grados). La relación entre la densidad de potencia radiada por la antena en la dirección útil y la que radia por el lóbulo trasero se conoce como relación delante y detrás (forward/backward, F/B) y es un importante parámetro de diseño de la antena en lo relativo a interferencias. El ángulo azimut hace referencia al plano horizontal de la antena. Adicionalmente, la antena de la estación base también posee un diagrama de radiación vertical (ángulo de elevación) que se diseña para concentrar el máximo de radiación para aquellos ángulos por debajo de la horizontal que es donde se agrupan los abonados (téngase en cuenta que las antenas suelen instalarse en posiciones elevadas).

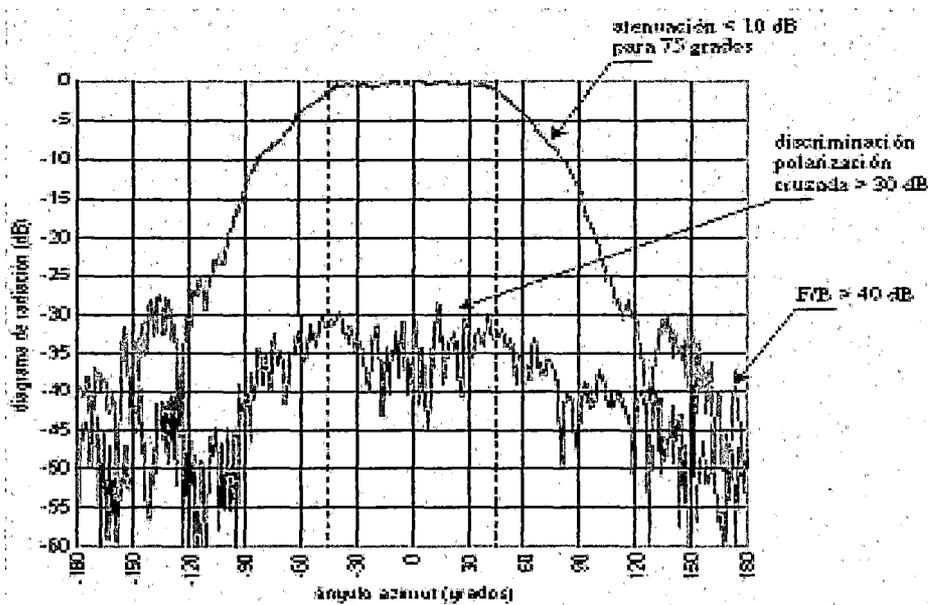


Figura 4.2 Diagrama de radiación de una antena sectorial de 90 grados.

Por los motivos de interferencia, es necesario realizar un aislamiento entre sectores adyacentes, tenemos dos maneras de realizarlo: Empleando frecuencias distintas, o bien mediante polarizaciones distintas.

De este modo, se llegaría a un esquema de planificación celular como el mostrado en la figura 4.3. En un principio, hemos supuesto un sistema que emplea únicamente polarización vertical. En este tipo de sistemas se escoge una geometría de las celdas cuadrada 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 4.3 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 F1 y F3, mientras que las celdas de tipo B trabajan a frecuencias F2 y F4. Al lado de cada celda de tipo A existe una celda de tipo B para evitar interferencias 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 %.

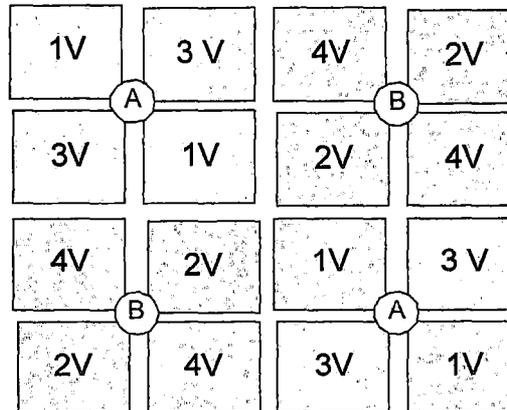


Figura 4.3 Planificación celular con 4 frecuencias, 1 polarización y sectores de 90 grados.

Un esquema de planificación celular alternativo sería el mostrado en la figura 4.4. En este caso, se emplean polarizaciones vertical y horizontal en cada uno de los sectores de las celdas. Inicialmente se utiliza polarización vertical dado que proporciona menores pérdidas de propagación y posteriormente, para completar el exceso de tráfico se utilizan enlaces con polarización horizontal. La reutilización de frecuencias es ahora del 200 %, por lo que el sistema de la figura 4.4 es el doble de eficiente que el de la figura 4.3. Adicionalmente, en algunos sectores con mayores niveles de tráfico es posible aumentar la sectorización. En la figura 4.4 se muestra esquemáticamente el modo de realizar una sectorización de 30 grados en uno de los sectores de la celda de tipo A.

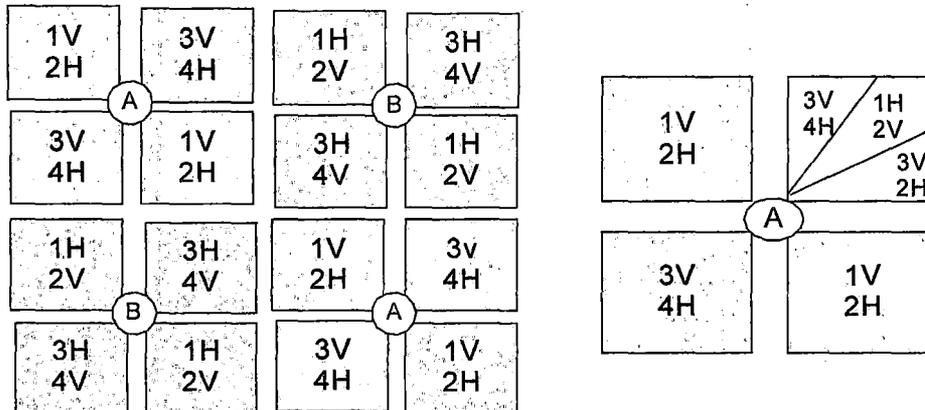


Figura 4.4 Planificación celular con 4 frecuencias, 2 polarizaciones y sectores de 90 y 30 grados.

4.5 Calculo de interferencias

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 cocanal y de canal adyacente. Como se ha visto en la figura 4.1, las interferencias degradan el BER, siendo necesario un aumento de la potencia de señal recibida para compensar esta degradación. Existe pues un nivel mínimo de CIR que debe imponerse al sistema, el cual depende del esquema de modulación empleado.

Normalmente, el valor del CIR requerido es de 12 dB para una modulación 4QAM / QPSK, 18 dB para 16 QAM ó 24 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 4.2 se presentan estos valores para las modulaciones 4QAM, 16QAM y 64QAM. Como ejemplo, el receptor puede atenuar 10 dB la potencia de un canal adyacente con modulación 4QAM. Lógicamente, conforme los canales se encuentran más alejados la

selectividad es más elevada. En el caso que se tenga una modulación 64 QAM donde el nivel de interferencia sería 2 dB superior a la potencia del 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. En la figura 4.2 anterior se representa el diagrama de radiación de la antena para la polarización cruzada (curva de color azul), donde se observa que existe una atenuación mínima de unos 30 dB con respecto al nivel de señal útil. Estos valores deben considerarse en cualquier diseño. A continuación realizaremos algunos ejemplos típicos de cálculo de interferencias que se realizan en el diseño de este tipo de sistemas celulares.

Canal Adyacente	4QAM	16 QAM	64 QAM
Primero	10 dB	4 dB	2 dB
Segundo	20 dB	14 dB	8 dB
Tercero	30 dB	24 dB	18 dB

Tabla 4.2 Selectividad de canal adyacente para diversas modulaciones.

Observemos en primer lugar en la celda de tipo A de la figura 4.3. La primera interferencia que se observa es la que produce el canal de frecuencia F1 sobre el canal de frecuencia F3 y misma polarización del sector adyacente. De acuerdo con la tabla 4.2 se obtienen unos valores de selectividad de segundo canal adyacente de 20 dB para 4QAM, 14 dB para 16QAM y 8 dB para 64QAM. Dado que los niveles de CIR requeridos son de 12, 18 y 24 dB para 4QAM, 16QAM y 64QAM respectivamente, se necesita que el diagrama de radiación de la antena se atenúe fuera del ancho de haz de 90 grados en 4 dB para 16QAM y en 16 dB para 64QAM para que el sistema funcione correctamente. Las mismas conclusiones se obtendrían para los sectores a frecuencias F2 y F4 con polarización horizontal.

Analicemos a continuación la interferencia entre sectores opuestos. En este caso, ambos sectores emplean la misma combinación de frecuencia y polarización, por lo que la interferencia será cocanal (analizando el peor caso) sin embargo, el diagrama de radiación de la antena se encuentra por debajo de 30 dB para un margen de ángulos entre -180 y -135 grados y entre 135 y 180 grados, por lo que cualquiera de las modulaciones cumplirá el requerimiento de CIR que es inferior de los 30 dB.

La utilización de sectorización de 30 grados merece una mención especial. El sector central opera ahora a la misma frecuencia pero distinta polarización que los sectores de 90 grados adyacentes, por lo que se asegura una CIR superior a los 30 dB para todas las modulaciones y se minimizan los requerimientos sobre el diagrama de radiación de las antenas de 90 grados. Ahora bien, la problemática se encuentra en el caso de los sectores de 30 grados. En especial, el sector central produce una interferencia de canal adyacente a la misma polarización (vertical) entre los canales de frecuencias F2 y F3.

Esto significa que la selectividad obtenida en el receptor para cada modulación es de 10 dB, 4 dB y -2 dB para 4QAM, 16QAM y 64QAM respectivamente. Luego tomando los requerimientos de CIR anteriores, se necesita asegurar una atenuación del diagrama de radiación fuera del sector de 2 dB, 14 dB y 26 dB respectivamente. Aunque las antenas de ancho de haz de 30 ° son más directivas solo sería posible en la práctica cumplir los requerimientos para las modulaciones 4QAM o 16 QAM .

La situación alternativa de emplear en el sector central dos canales a frecuencia F1 y polarización vertical, y frecuencia F2 y polarización horizontal sería incluso más problemática. En este caso se tendrían interferencias copolares de segundo canal adyacente tanto para polarización vertical (F1 sobre F3) como para polarización horizontal (F2 sobre F4), las cuales se tratarían de igual forma a como se ha comentado anteriormente. Sin embargo, en este caso el requerimiento impuesto a los diagramas de radiación de las antenas de 90 grados son más estrictos, dado que existen interferencias cocanales y copolares entre el sector de 30

grados central y los sectores de 90 grados adyacentes. Las antenas de estos últimos deberían pues, presentar una atenuación superior a 12 dB, 18 dB y 24 dB para las modulaciones 4QAM, 16QAM y 64QAM respectivamente, para ángulos comprendidos entre 75 y 105 grados. En la figura 4.2 se observa que este requerimiento es difícil de cumplir, especialmente en el caso de las modulaciones 16 QAM y 64QAM

Finalmente, las interferencias entre polarizaciones cruzadas no afectan debido a la atenuación mínima de 30 dB impuesta por el diagrama de radiación. No obstante, el aumento de la potencia interferente en 2 dBc en el canal adyacente de la modulación 64QAM debe tenerse en cuenta en el diseño.

4.6 Cálculos de la capacidad de una celda

Al momento de realizar los cálculos para la capacidad que se tendrá en una celda se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- La cantidad de canales que permite el usar el espectro asignado al proveedor
- La capacidad por canal existente por la modulación
- Cantidad de canales por sector
- Máxima Capacidad de datos por sector
- Cuantos sectores se puede tener por Hub

4.6.1 La cantidad de canales que permite el usar el espectro asignado al proveedor

Para esto en nuestro caso observaremos el ancho de banda proporcionado en la frecuencia de 26 GHz.

Tenemos un ancho de banda de 84 MHz de TX y Rx

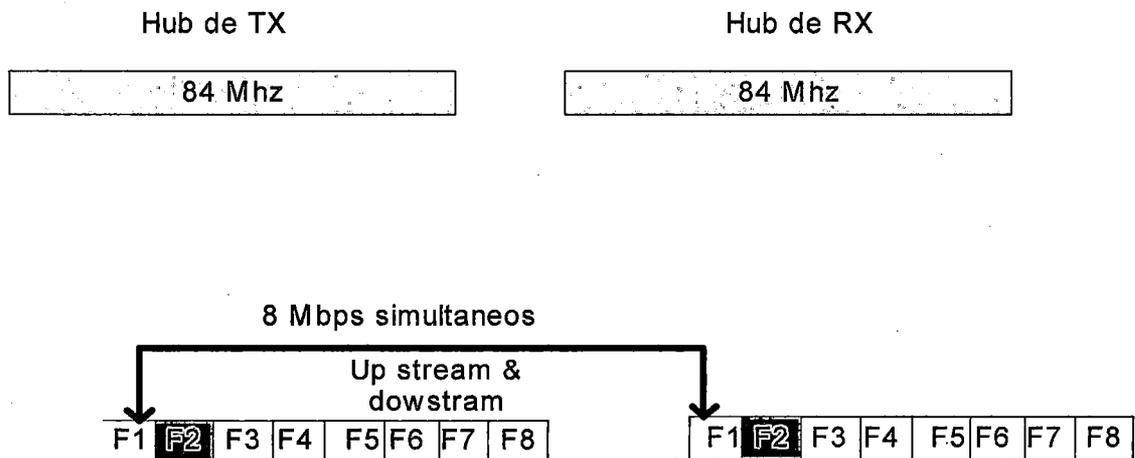


Figura 4.5 Esquema del espectro asignado a un operador

Numero de canales = Tx o Rx / BW del canal

Según ETSI (Bw = 7,14,28,56 Mhz)

Para nuestro caso por indicación del equipo se asume 7

Numero de canales = 84 Mhz / 7 = 12 Canales tanto para subida como bajada (Upstream and Dowstream)

4.6.2 Capacidad por canal existente por la modulación (4QAM)

En este calculo se determina por el tipo de modulación por el tipo de modulación usado.

Para esto se sabe que el ancho de banda utilizado es $1/T$ que es la frecuencia de símbolo multiplicado por $(1 + \alpha)$ donde α = factor de Roll-Off (60% o 70%) dependiendo del diseñador de los equipos

Sabemos que en nuestro caso estamos con una modulación 4QAM

$$7 \text{ Mhz} \times 4 \text{ QAM} = 7 \text{ Mhz} \times 2\text{bps/hz} / (1+0.7) = 8.23\text{Mbps}$$

4.6.3 Cantidad de canales por sector

Para detallar este parámetro comenzaremos con un calcular el numero de canales máximo por sector pero sin diversidad de polarización

Cantidad de canales por sector = #de canales disponibles /2

Remplazando los datos

$$12/2=6$$

4.6.4 Máxima Capacidad de datos por sector

Vendría a ser la multiplicación de la cantidad de canales por la capacidad por sector

$$\text{Capacidad por sector} = 6 \times 8 = 48 \text{ Mbps/Sector}$$

4.6.5 Cuantos sectores se puede tener por Hub

Se pueden tener los siguientes sectores

$$4 \times 48$$

$$8 \times 48$$

$$12 \times 48$$

$$16 \times 48$$

$$24 \times 48$$

Resumiendo en nuestro caso tenemos lo siguiente:

4 sectores de 48 Mbps sin diversidad de polarización con 6 canales por sector y cada canal con una capacidad de 8 Mbps

4.7 Mejoramiento de la capacidad a través de la modulación

Como se observa se puede mejorar la capacidad de una celda variando el tipo de modulación por ejemplo por una de 16 QAM al incrementar la fases pero se debe tener en cuenta que la sensibilidad disminuirá y en la forma practica el radio de cobertura disminuirá en estos caso el ingeniero debe hacer un estudio de sus clientes actuales y los clientes en potencia para asi poder realizar los cambios pertinentes

Por ejemplo si realizamos los cálculos anteriores pero con una modulación de 16 QAM

4.7.1 Capacidad por canal existente por la modulación (16 QAM)

En este calculo se determina por el tipo de modulación por el tipo de modulación usado.

Para esto se sabe que el ancho de banda utilizado es $1/T$ que es la frecuencia de símbolo multiplicado por $(1 + \alpha)$ donde $\alpha = \text{factor de Roll-Off (60\% o 70\%)}$ dependiendo del diseñador de los equipos. Sabemos que en nuestro caso estamos con una modulación 16QAM

$$7 \text{ Mhz} \times 16 \text{ QAM} = 7 \text{ Mhz} \times 4 \text{ bps/hz} / (1 + 0.7) = 16.47 \text{ Mbps}$$

4.7.2 Cantidad de canales por sector

Para detallar este parámetro comenzaremos con un calcular el número de canales máximo por sector pero sin diversidad de polarización

$$\text{Cantidad de canales por sector} = \# \text{ de canales disponibles} / 2$$

Remplazando los datos

$$12 / 2 = 6$$

4.7.3 Máxima Capacidad de datos por sector

Tendría a ser la multiplicación de la cantidad de canales por la capacidad por sector

$$\text{Capacidad por sector} = 6 \times 16 = 96 \text{ Mbps/Sector}$$

Como se podrá observar se ha mejorado la capacidad de los sectores de nuestro sistema pero como se indicó esto tiene como dificultad la disminución de la cobertura que se tendría con el diseño anterior.

Capítulo V

Implementación y diseño de la red para transmitir voz dato y video para la Universidad Nacional del Callao (UNAC)

5.1 Marco Teórico y Requerimientos Operacionales

5.1.1 Transmisión de voz dato y video

Desde tiempo atrás se ha planteando soluciones para poder realizar la transmisión de voz y video aprovechando el enlace de transmisión de datos existente,

Para nuestro caso se opto por la solución a través de la tecnología Frame Relay para la interconexión lógica, implementada sobre la plataforma del sistema LMDS que nos servirá como la intercomunicación física para la comunicación entre los locales de la Universidad Nacional del Callao (UNAC).

El hecho de converger en una sola red servicios que antes era proporcionado por redes diferentes posibilita gestionar una única red en lugar de varias. Y esta reducción de numero de redes reduce los costos de gestión.

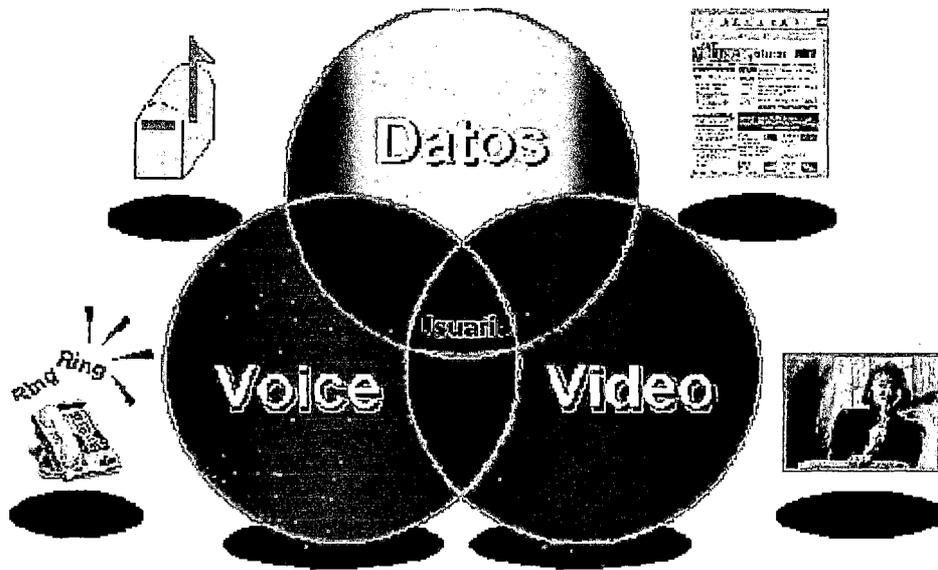


Figura 5.1 Esquema de transmisión de voz, dato y video

Mientras que distintos servicios se transmiten por redes distintas, al ancho de banda contratado en una red se sigue consumiendo, aunque esto no este en uso y esto significa un ancho de banda no aprovechado y que repercute económicamente en el usuario.

Con la integración de servicios, al ancho de banda contratado se le pone en cada momento a disposición de quien lo necesite. Por ejemplo, en los momentos en que no haya conversaciones todo el ancho de banda contratado puede ser usado para la transmisión de datos o video según sea la necesidad del cliente. obteniendo el máximo rendimiento de la capacidad que se paga.

En el caso del tratamiento para la transmisión de voz, previamente se digitaliza si el dispositivo conectado es analógico, y a continuación se comprime a 8 Kbps gracias al uso de algoritmos de predicción lineal, a demás , se dispone de la facilidad de supresión de silencios, que consiste en transmitir solo cuando el usuario habla. Mientras un usuario permanece en silencio escuchando a su interlocutor no se transmite nada a través de la red, pero si genera ruido confortable en el extremo distante debe suprimirse para evitar que el interlocutor remoto tenga la sensación que se ha cortado la comunicación.

Por la línea de acceso a la red, una para cada oficina del cliente, viaja las tramas Frame relay de voz dato y video. El equipo multiplexor resulta imprescindible para insertar el tráfico de las diversas líneas en una sola línea física. La dimensión de esta línea se dimensiona de acuerdo a los requerimientos de canales de voz y velocidades de datos y necesidad de realizar una video conferencia por el cliente.

Pero no es necesario reservar una parte de esta capacidad para la voz, todo el ancho de banda esta a disposición de quien lo necesite. Por ejemplo durante las horas de oficina en que normalmente son frecuentes las comunicaciones de telefonía los datos dispondrán de una pequeña capacidad no usada por la voz ,pero en la noche período en el cual no es previsible que no hay llamadas telefónicas, todo el ancho de banda podrá ser usado por datos, de igual manera cuando se realice una video conferencia todo el ancho de banda de voz y datos será usada para la video conferencia si esto lo requiere.

5.1.2 Posibles problemas de la transmisión de voz y video.

5.1.2.1 Retardo en la comunicación

La calidad de la voz y de la transmisión del video son susceptibles a los retardos, estos a su vez se ven influidos por varios factores, como el numero de conmutadores cuatro se consideran como el nivel optimo antes que la calidad de voz se deteriore, el tipo de troncal desplegada (Frame Relay o ATM) distancia (Local, Nacional e Internacional) actividad de red y gestión (pocos usuarios, mucho tráfico, tipo de tráfico) y la compresión de voz (la codificación y decodificación incrementan el retraso). El retardo de extremo a extremo, caracterizado por los paquetes de voz llegan tras largas interrupciones fijas, provoca conversaciones interrumpidas, en caso extremos se conduce además al fenómeno conocido como hablar doble.

Por otra parte el retardo diferencial, cuando el retardo de voz es variable produce conversaciones entrecortadas y un deterioro perceptible de la calidad de voz.

Para subsanar estos problemas se ha realizado lo siguiente:

Para compensar el efecto de retraso fijo de extremo a extremo los fabricantes incorporan canceladores de eco en sus FRAD (Frame Relay Acces Dives). El retraso diferencial es tratado por la memoria intermedia (buffer) de fluctuación de fase (Jiter) del FRAD, y se puede establecer manualmente a través de prueba de errores o automáticamente basándose en la medida del retraso diferencial anual .

Para ayudar a minimizar el retardo de extremo a extremo y mitigar los efectos del retardo diferencial es preciso aplicar algún tipo de priorización de tramas de voz dato y video que se encuentran en la red.

Los fabricantes del FRAD implementan la priorización permitiendo a los usuarios la opción de definir niveles de prioridad (de 1 a 4 o de 1 al 8) por DLCI (Data Link Conection Identifier).

Pero estos no son suficientes. Como la longitud de las tramas de voz dato y video son distintas, es necesario contar con un mecanismo de nivelación capaz de nivelar y asegurar que las tramas ve voz y video tengan las mismas oportunidades de entrara ala red. Una solución sencilla es asignar un DLCI a cada puerto y fijar diferentes niveles de prioridad para los puertos de voz, video y datos, Pero aunque económicamente factible en una red privada, esta solución resulta cara en una red publica, ya que los usuarios se les factura según los números de PVCs (Private Virtual Chanel), DLCI (Data Link)

Los usuarios pueden evitar esta limitación enviando los tráficos de voz y video y otros que sean sensibles al tiempo, como SNA (Systems Network Architecture) por un PVC (DLCI) y el tráfico LAN por otro. Esto es posible una técnica de sub-direccionamiento basada en la doble encapsulación de paquete Frame Relay en un

modo similar al mundo ATM, donde cada puerto físico tiene un identificador de canal virtual (virtual channel Identifier), si bien solo existe un identificador de camino virtual (virtual path identifier) por conexión WAN por destino.

La ventaja de este enfoque es que permite ahorrar dinero a los usuarios y asimismo en caso sea necesario, cada sub DLCI puede ser un número de teléfono distinto.

5.1.3 Codificación de Voz

En el caso en que se está transmitiendo tráfico de voz el VFRAD es el encargado de digitalizar la voz

Usando la codificación PCM se obtiene una tasa de 64 Kbps, la cual es muy alta para transmitir muchos flujos de voz simultáneos, es por eso que se usan otros codificadores de voz (detallados en la siguiente tabla) que permite reducir la tasa de bits sin degradar la calidad de voz.

Documento de referencia	Descripción
ITU G.729	Codificación de voz a 8 Kbps usando codificación estructurada conjugada-codificada predictiva lineal excitada algebraica (CS –ACELP)
ITU G711	Modulación de pulso codificado
ITU G726	Modulación de pulso codificado adaptiva diferencial a 40,32,24, 16 Kbps(ADPCM)
ITU G727	Modulación de pulso codificado Adaptiva diferencial de muestra elevada de 5,4,3 y 2 bits
ITU G 764	Protocolo de voz paquetizada
ITU G.728	Codificación de voz a 16 Kbps usando codificación de predicción lineal de bajo retardo
ITU G 723.1b	Codificador de voz para comunicaciones multimedia de doble velocidad transmitiendo a 5.3 y 6.3 Kbps
ITU G 723.1 Anexo A	Esquema de compresión de silencio

Tabla 5.1 Tipos de codificación para Voz

5.1.4 Estándar H.233

Este estándar permite la implantación de los servicios de voz tradicional en redes de datos como :

- Frame relay (Vo Fram)
- ATM (Vo ATM)
- IP (Vo Ip)

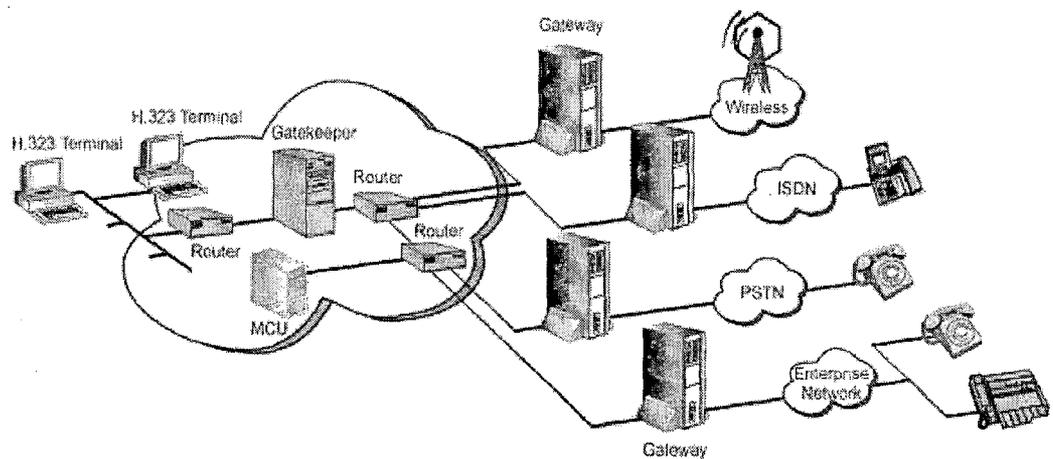


Figura 5.2 Esquema de una red H.233

El H.233 a su vez tiene una serie de estándares y se apoya en una serie de protocolos que cubren distintos aspectos de comunicación

Direccionamiento:

1. RAS (Registration, Admission and Status). Protocolo de comunicaciones que permite a una estación H.323 localizar otra estación H.323 a través de el Gatekeeper.
2. DNS (Domain Name Service). Servicio de resolución de nombres en direcciones IP con el mismo fin que el protocolo RAS pero a través de un servidor DNS

Señalización:

1. Q.931 Señalización inicial de llamada
2. H.225 Control de llamada: señalización, registro y admisión, y paquetización y sincronización del stream (flujo) de voz
3. H.245 Protocolo de control para especificar mensajes de apertura y cierre de canales para streams de voz

Compresión de Voz:

1. Requeridos: G.711 y G.723
2. Opcionales: G.728, G.729 y G.722

5.1.5 Transmisión de Voz:

1. UDP. La transmisión se realiza sobre paquetes UDP, pues aunque UDP no ofrece integridad en los datos, el aprovechamiento del ancho de banda es mayor que con TCP.
2. RTP (Real Time Protocol). Maneja los aspectos relativos a la temporización, marcando los paquetes UDP con la información necesaria para la correcta entrega de los mismos en recepción.

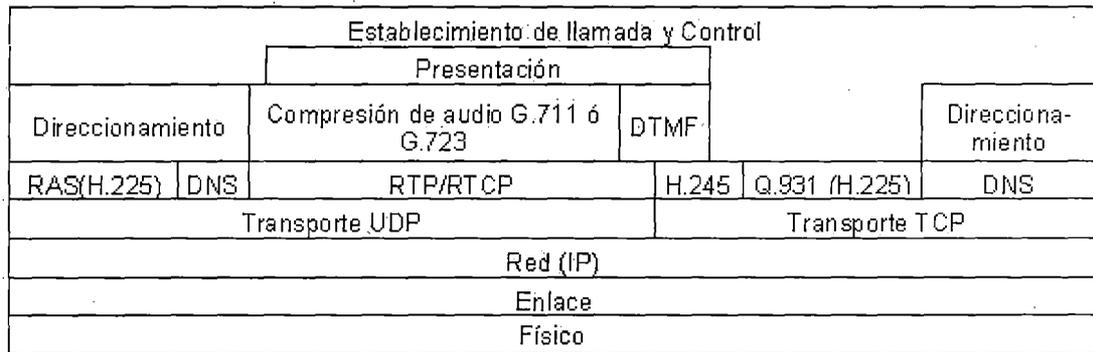


Figura 5.3 Esquema de control de transmisión

RTCP (Real Time **C**ontrol Protocol). Se utiliza principalmente para detectar situaciones de congestión de la red y tomar, en su caso, **acciones** correctoras.

El Gateway es un elemento esencial en la mayoría de las redes pues su misión es la de enlazar la red Voz con la red telefónica analógica o RDSI. Podemos considerar al Gateway como una caja que por un lado

tiene un interfase LAN y por el otro dispone de uno o varios de los siguientes interfaces:

- **FXO**. Para conexión a extensiones de centralitas ó a la red telefónica básica.
- **FXS**. Para conexión a enlaces de centralitas o a teléfonos analógicos.
- **E&M**. Para conexión específica a centralitas.
- **BRI**. Acceso básico RDSI (2B+D)

5.2 Introducción al Proyecto

5.2.1 Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de los puntos a los que se les dará el servicio en mención son:

La Ciudad Universitaria ubicada en Av. Juan Pablo II s/n Bellavista
Callao

El Rectorado de la Universidad ubicado en la Av. Sáenz Peña 1060

5.2.2 Importancia del proyecto

Se brindara una servicio de comunicación de datos voz y video a través de una arquitectura convergente altamente escalable y abierta a nuevas innovaciones con una ventaja competitiva de otras tecnologías, todo esto en una plataforma LMDS manejando servicios en banda ancha.

Poniendo al usuario con una tecnología de una eficacia del 99.999% así mismo se observara las confiabilidad de esta tecnología inalámbrica.

5.2.3 Producto

Dentro de las especificaciones del producto principal tendremos:

1. Implementación del servicio de voz (comunicación Telefónica con uso de Frame Relay), los usuarios requieren cada vez mas servicios que no pueden obtener de sus PBX, adicionando a esto la antigüedad de

sus circuitos y luego lo mas importante el ahorro económico que le brinda este servicio a la empresa o cliente que se vera reflejado en sus evaluaciones financieras anuales.

2. Implementación de un servicio de datos que interconecte la ciudad Universitaria y el Rectorado, esto le brinda una transmisión mas rápida y segura de la información que se proporciona a las diferentes facultades con el Rectorado.

Y adicionando la seguridad que cierta información solo será observada por personas que deben tener cierta información .

3. Implementación de un circuito de video conferencia, que nos ayudara a brindar servicio de aprendizaje en línea para alumnos y docentes de la universidad , adicionalmente se puede tener reuniones entre autoridades de otras universidades para realizar convenios con universidades extranjeras e interconexión de información tecnológica científica, con el respectivo ahorro de viajes y viáticos en personas y que por motivos de tiempo no puedan viajar.
4. Aceleración de proyectos con la participación de personas de otras universidades.
5. Ofrecer a los alumnos una variedad de cursos que serian implementados a los adicionales en tiempo real .
6. Adicionalmente la implementación de circuitos de banda ancha para brindar el servicio de internet corporativo.

5.3 Descripción del sistema

La solución aquí presentada está orientada a establecer una red de acceso de banda ancha que permita la comunicación de voz, datos y video de forma efectiva entre la Ciudad Universitaria y el Rectorado y el servicio de Internet de banda ancha si es requerido.

La comunicación entre ambos puntos será a través de la tecnología inalámbrica (LMDS), que tiene creado tres circuito de comunicación trasmisión de datos, trasmisión voz, video y si el cliente lo desea se puede

agregar un circuito para la salida a internet utilizando el mismo soporte de los equipos ya usados en el servicio anterior.

La asignación dinámica del ancho de banda en momentos que los otros servicios no se estén brindando pone un ahorro sustancial ala universidad o al cliente que este teniendo el servicio por esta tecnología.

La solución LMDS esta compuesta de tres elementos principales; un conjunto de equipos ubicados en la estación base (BS), un conjunto de equipos ubicados en la oficina del cliente y el sistema de gestión de red que nos permite la gestión integral y supervisión de la red las 24 horas .

5.4 Matiz de insumo

Los materiales necesarios requeridos para ofrecer el servicio de voz dato y video a través de la tecnología inalámbrica se muestran en el siguiente cuadro:

ITEM	Cantidad	Descripción.	P. Unita \$	P. Total \$
01	2 unidades	Router Cisco (1700, 2600) con tarjeta E1	2900.00	5800.00
02	2 unidades	Pandatel (Adaptador de E1 a V35)	600.00	1200.00
03	2 unidades	SAS (Modem del lado del cliente)	4500.00	9000.00
04	2 unidades	Antena SRU de 26 GHZ Integral.	1200.00	2400.00
05	2 unidades	Soporte para la antena	45.00	90.00
06	2 unidades	Cable V 35	75.00	150.00
07	04 unidades	Adaptadores	2.00	8.00
08	04 unidades	Conectores	4.00	16.00
09	50 metros	Cable a tierra 12 AWG	0.5	25.00
10	60 metros	Cable coaxial Belden	2.00	120.00
		Total		18809.00

Tabla 5.2 Materiales y costos requeridos para el proyecto

Estos costos son desde el punto de vista de compra pero para obtener el servicio el proveedor asume estos costos principalmente el del SRU, router pandatel, SAS (modem) y solo se cobra el uso de sistema y un margen como alquiler de los equipos según sea el tiempo de contrato establecido. También se debe tener en cuenta los costos por mano de obra que son:

ITEM	DESCRIPCION	P.TOTAL \$
01	Estudio de Campo	30.00
02	Instalación en el lado del cliente	150.00
	Total	180.00

Tabla 5.3 Costo de mano de obra del proyecto

5.5 Estudio de vista

Antes de la aceptación e implementación del proyecto se debe realizar un estudio de vista necesaria para la tecnología LMDS, de esto dependerá poder dar los siguientes pasos. Y con esto plantear posibles soluciones que se le pueden adicionar observando la factibilidad tecnológica y económica de la misma, para esto se realizan los siguientes pasos.

- Se ubica al cliente en la carta geográfica respectiva
- Se toma los valores requeridos como las coordenadas geográficas de los puntos en mención adicionalmente se toma los puntos de altitud de referencia de las cartas correspondientes por donde se ha realizado el trazo directo del nodo al local del cliente.
- Se traslada los datos a un análisis para determinar si el enlace es factible, como se observa en los cuadros 5.5 y 5.6 que ingresan luego al software pathloos.
- El análisis nos indicara si existe un línea de vista al cliente si no es así se desecha el proyecto con está tecnología y si el resultado es positivo se pasara a realizar el siguiente paso.
- una vez determinado que se tiene una vista sin obstáculos se indicara si la distancia esta dentro de la cobertura de la base del operador.

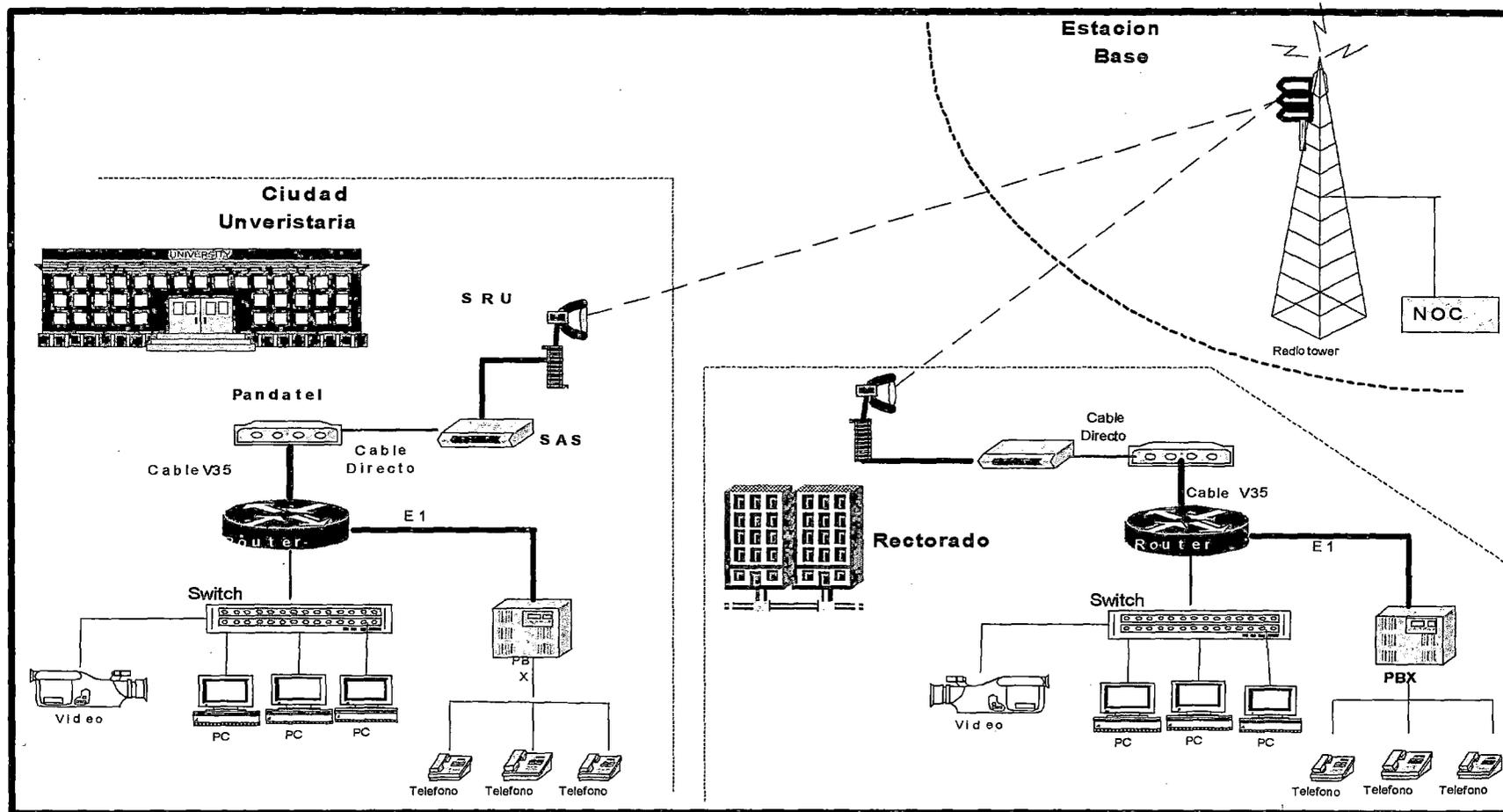


Figura 5.4.: Esquema del proyecto General de la UNAC

5.6 Calculo del estudio de vista desde el nodo en el centro de Lima hacia la Ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Callao

Estudio de vista desde la base del proveedor en el centro de Lima ala Universidad Nacional del Callao específicamente ala facultad de ingeniería eléctrica y electrónica

Centro de Lima – Ciudad universitaria

Datos

Cm	H(m)
0	142
7.4	130
10.8	120
13.5	115
17.6	112.5
19.3	110
21.3	107.5
22	105
23.6	100
27.9	95
31.2	90
36.3	85
38	82.5
39.3	80
40.9	77.5
42.8	75
44.5	70
50	80

52.5	60
54.5	57.5
55.5	55
58.5	50
62.4	47
64.5	44
68	42.5
71.5	39
73.5	37.5
74.3	32
77	30
78.8	27
84.4	25
88.5	26
90.2	26

Tabla 5.4 Cuadro de datos (Centro de Lima – Ciudad Universitaria)

Luego se realiza el ingreso los datos al software llamado Patloos que nos ayudara en determinar si existe vista entre los puntos.

Luego este nos proporcionara la altura de las torres si es necesario en el lado del cliente.

Observando la distancia de 9.02 Km a la ciudad universitaria se utilizara un SRU integral de 26 Ghz por que estas nos proporcionan el alcance deseado

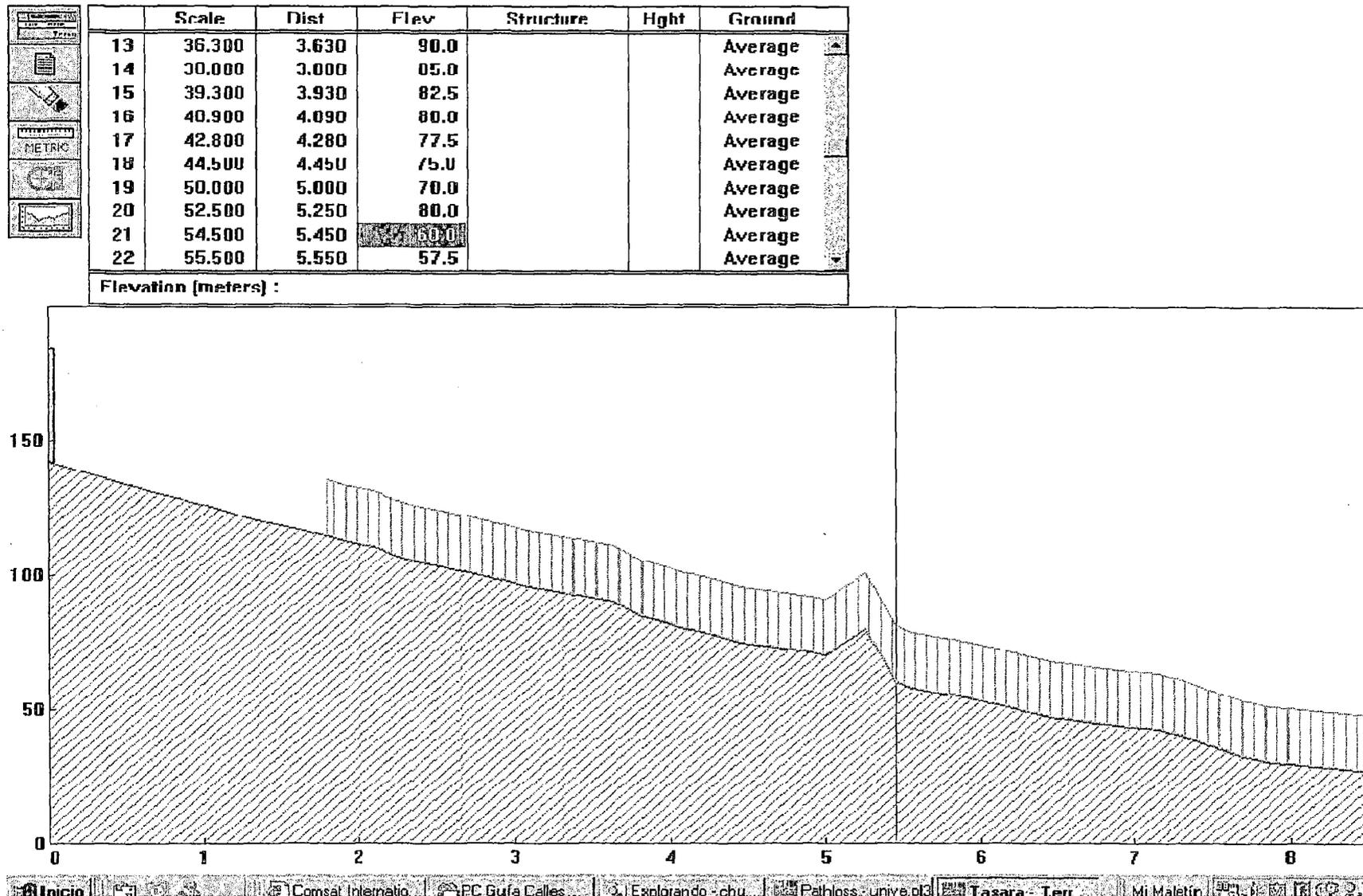


Figura 5.5: Estudio de Vista (Estación Base – Ciudad Universitaria)

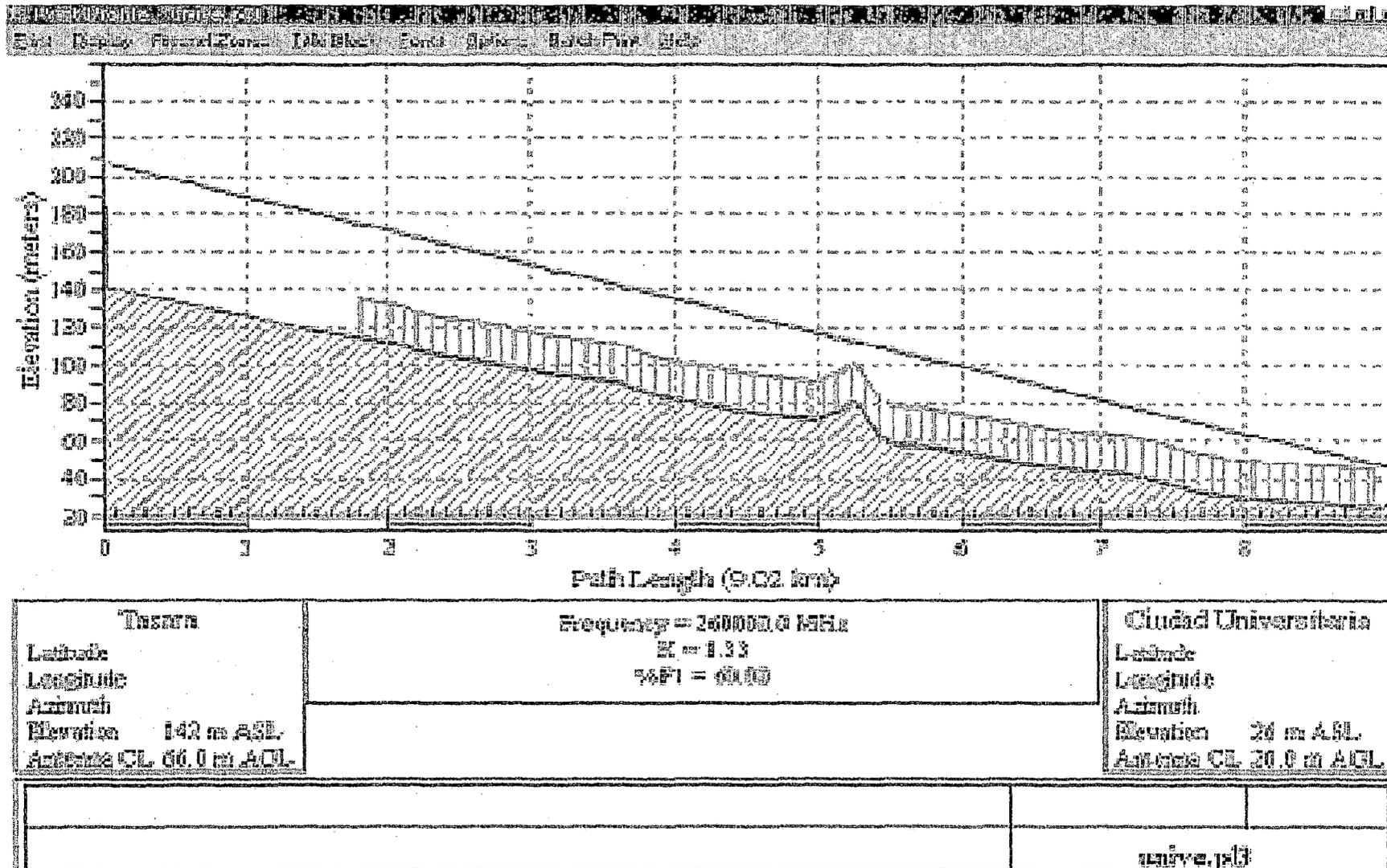


Figura 5.6: Resultado del Estudio de Vista (Estación Base – Ciudad Universitaria)

5.7 Calculo del estudio de vista desde el nodo en el centro de Lima hacia el Rectorado de la Universidad Nacional del Callao

Luego se realiza el estudio de vista para el rectorado de la universidad nacional del
callao para determinar la puesta en marcha del proyecto

Centro de Lima – Rectorado del a UNAC

Datos

Cm	H (m)
0	142
6.9	130
10.4	125
13.6	120
15.1	119
18.9	112.5
21.8	107.5
23.4	105
25.7	102.5
27.9	99
30.3	100
33.2	92.5
34.7	90
36.2	87.5
37.5	85
39.2	82
40.8	80
43	77.5

44.3	79
46.1	72.5
47.7	76
50.3	76
51.8	62.5
53.5	60
55.3	57.5
57.4	55
60.2	52.5
61.8	50
64.8	48
66.5	45
70.4	42.5
72.8	40
74.5	37.5
77.1	35
79.2	22.5
81.5	20.5
83.6	17.5
87.3	15
98	12

Tabla 5.5 Cuadro de datos (Centro de Lima – Rectorado de la UNAC)

Luego se realiza el ingreso los datos al software llamado Patloos que nos ayudara en determinar si existe vista entre los puntos.

Luego este nos proporcionara la altura de las torres si es necesario en el lado del cliente.

Observando la distancia de 9.8 Km a la ciudad universitaria se utilizara un SRU integral de 26 Ghz por que estas nos proporcionan el alcance deseado.

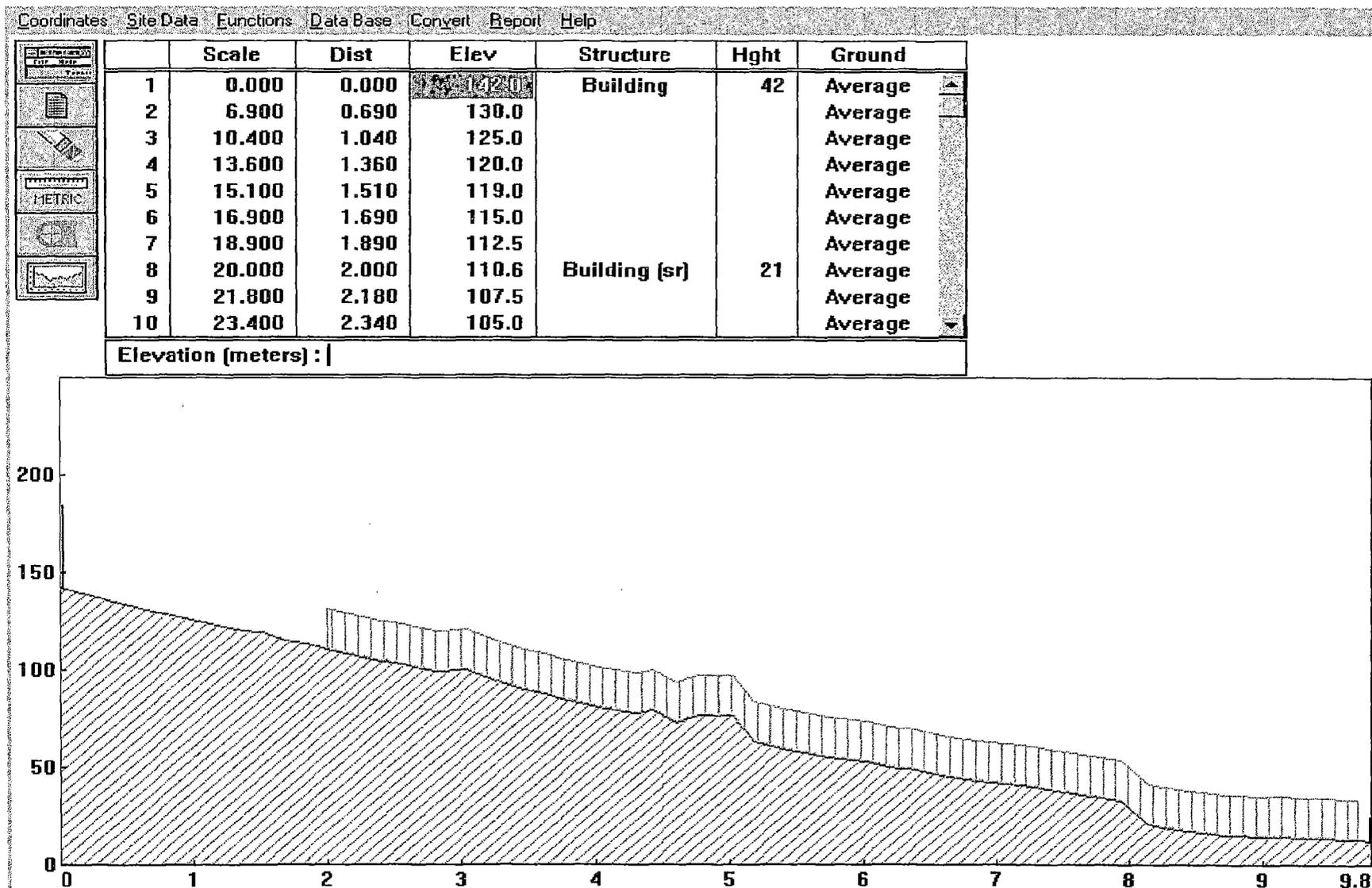


Grafico 5.7 : Estudio de Vista (Estación Base – Rectorado de la UNAC)

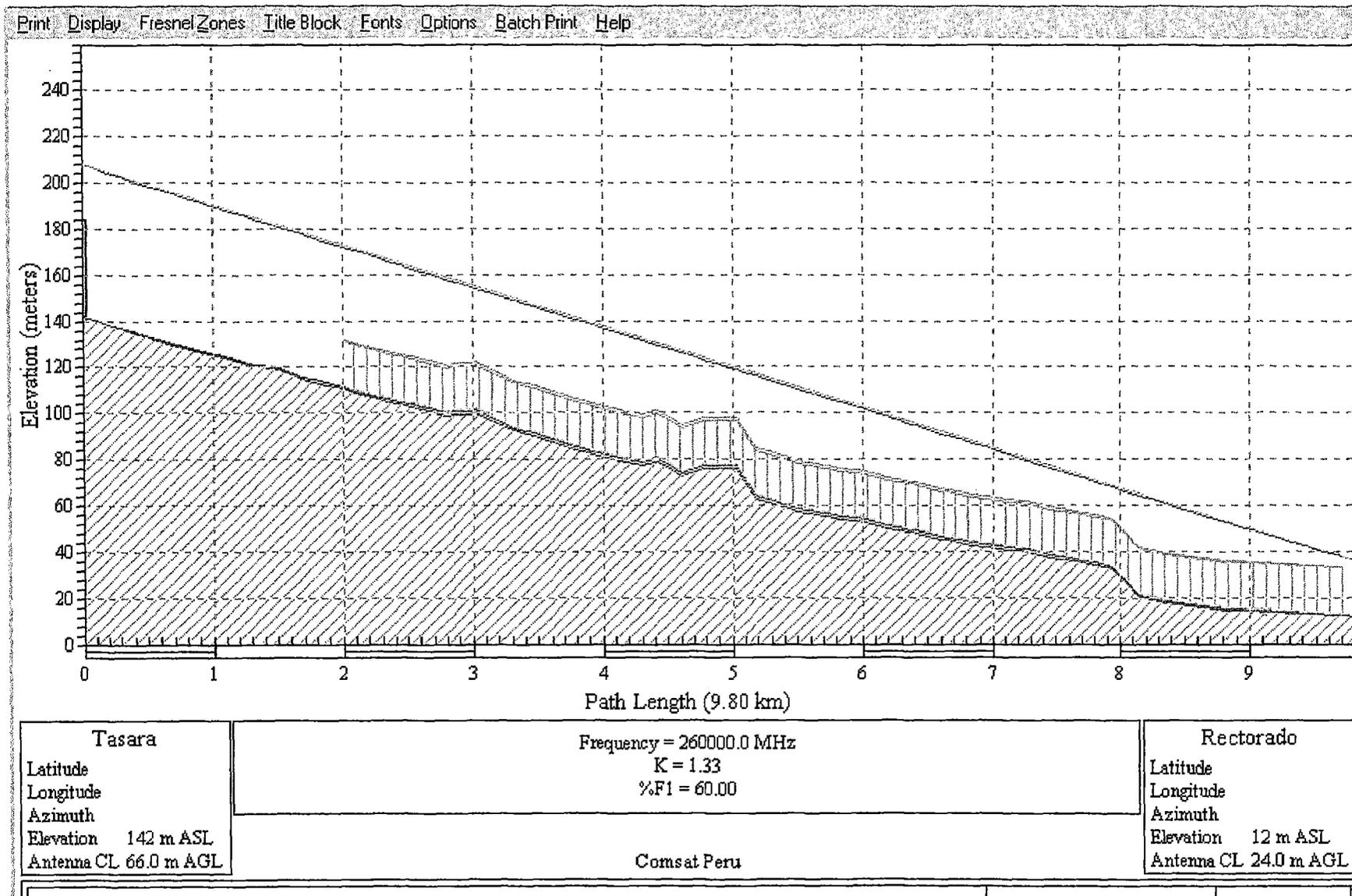


Figura 5.8: Resultado de estudio de Vista (Estación Base – Rectorado de la UNAC)

5.8 Implementación de la Red

Una vez determinado la línea de vista se pondrá en marcha la implementación de la red, para lo cual se realizara los siguientes pasos

1. Puesta de las torres en el lado del cliente con la respectiva altura requerida para la línea de vista
2. Instalación de los SRU en el lado del cliente, se realiza su alineamiento para poder obtener el mejor nivel para la transmisión realizando una coordinación con el NOC y realizando la medida del voltaje en el SRU.
3. Se inscribe el SAS a través de su MAC address en el Airview link (el sistema operativo de monitoreo ,en este caso para el sistema Netro)
4. Se realiza la inscripción del circuito en la línea a usar para esto se le asigna un VPI y un VCI.
5. Se crea un circuito en le Switch ATM
6. Se le amara con el switch Frame relay y se construye los circuitos en mención asignándoles el DLCI respectivo
7. Una vez establecido los circuito el enlace se termino y se pasa a poner a servicio del cliente

CONCLUSIONES

1. LMDS es una tecnología de comunicaciones inalámbricas de banda ancha que se inscribe en el marco de la multimedia y se basa en la concepción celular, por no presentar la posibilidad de traspaso de comunicaciones entre células, está considerado en el contexto de las comunicaciones fijas; además las señales de transmisión están situadas en alta frecuencia donde la comunicación establecida es bidireccional.
2. LMDS se sitúa como una alternativa muy atractiva en el escenario general de la convergencia de las comunicaciones partiendo de que toda las aplicaciones se pueden generar a través de una misma plataforma, adicionando en lo que se refiere al contexto de protocolos, LMDS aparece como un sistema neutro lo cual aumenta su potencial integrador pudiendo trabajar en entornos ATM, TCP, MPEG2, frame relay.
3. es una característica básica de los accesos inalámbricos fijos que a mayor ancho de banda requerido es necesario el uso de bandas de frecuencias más altas que también involucran un radio de celda menor.
4. La característica básica de la relación frecuencia a distancia observada en el párrafo anterior tiene una salvedad en el caso de los equipos Netro, donde las antenas de 26 GHz tiene una mayor cobertura que las antenas de 10 GHz se tuvo especial interés de esta característica de los equipos al realizar la investigación correspondiente, se observó que esto es a consecuencia que los equipos de 26 Ghz poseen una mayor ganancia en sus antenas que se reflejan en la cobertura de hasta 16 Km compensando la atenuación por espacio libre y adicionando la característica de bajas lluvias en Lima
5. Las limitaciones de la transmisión en altas frecuencias han sido subsanadas por tres estrategias técnicas como son:
6. Mas allá del marco regulatorio hay una realidad; el problema de costos, que a medida que se ha ido a un mercado convergente crea un ahorro significativo que el usuario pretende tener y esto a la vez crea en los operadores la competencia y la calidad del servicio ofrecido, por lo tanto, la calidad de este

- tendrá que manejarse de una manera eficaz. Adicionando que si uno se resiste a vender un servicio otro lo realizara.
7. Con respecto a la modulación el incremento de los niveles de fase mejora la eficiencia espectral y aumenta la capacidad del sector pero reduce la sensibilidad del demodulador y con esto reduce el radio de cobertura de la celda esto es un factor de mejora que se debe tener en cuenta en el diseño del sistema LMDS se ha observado que se podría agregar una tarjeta CAG (controladora de ganancia) que cense el nivel de transmisión y con esto observar el mejor tipo de modulación a aplicarse para cada cliente, un ejemplo; si tenemos un cliente cercano al NOC se podría utilizar una modulación 64 QAM en cambio si esta muy lejano se podría usar una modulación 4 QAM.
 8. El ahorro de potencia de emisión y recepción permite utilizar equipos más pequeños y contribuyen a contrarrestar la creciente polución electromagnética y minimiza el efecto pernicioso en la salud como se observa en los cálculos realizados.
 9. La bidireccionalidad de las comunicaciones LMDS permiten la implementación de servicios interactivos además de los convencionales de comunicación unidireccional, esto hace posible dar los servicios en una misma plataforma de voz, video , data e internet de alta velocidad adicionando su factibilidad de trabajar con diferentes tecnologías.
 10. La voz paquetizada en frame relay, ATM u otra tecnología se ha vuelto una alternativa razonable para hablar entre usuarios de sede distintas u oficinas alejadas físicamente empleando las instalaciones ya desplegadas para cursar el tráfico de datos interno, realizando el uso de las llamadas entre los locales sin dejar de realizar la transmisión de la información entre los usuarios u otro servicio como una video conferencia a lo que se le agrega que cumple las funciones esenciales de los servicios telefónicos convencionales.

Anexo 1

Términos y definiciones

En esta parte daremos una definición de algunos de los términos que se han usado en el trabajo:

ANTENA

Un dispositivo de radiación o receptor de energía de radiofrecuencia (RF).

CAMPO ELECTRICICO

La región que rodea una carga eléctrica, en el cual la magnitud y dirección de la fuerza sobre una prueba de carga hipotética esta definida en algún punto.

CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

El movimiento de cargas eléctricas en un conductor (como la antena da una emisora de radio o TV) origina ondas de campo eléctrico y magnético (denominadas ondas de campo electromagnéticas que se propagan a través del espacio vacío a la velocidad c de la luz ($C= 300\ 000\text{Km/s}$).

Cuando en una región del espacio existe una energía electromagnéticas, se dice que en esa región hay un campo electromagnético, que se describe en términos de la intensidad de campo eléctrico (E) y/o la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) en esa posición. Para medir la intensidad de campo eléctrico se emplea la unidad "voltio/metro" mientras que para medir la densidad del flujo magnético se utiliza la unidad "tesla" (T) y a veces el Gauss (G). Un Tesla equivale a 10 000 Gauuss.

CAMPO MAGNETICO

Región de espacio que rodea una carga en movimiento (de un conductor) siendo definida en cualquier punto por la fuerza a la que estaría expuesta otra hipotética carga en movimiento. Un campo magnético ejerce fuerza sobre partículas cargadas solo si están en movimiento, y las partículas cargadas producen campos magnéticos sólo cuando están en movimiento.

DENSIDAD DE POTENCIA

La tasa de flujo de energía electromagnética por la unidad de área de superficie usualmente expresado en W/m^2 o mW/cm^2 .

EXPOSICIÓN

El hecho de estar sometido a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos, diferentes a aquellos que se origina debido a procesos fisiológicos en el cuerpo u otro fenómeno natural.

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

Se da con respecto a los campos de RF cuando las personas están expuestas como consecuencias de su ocupación y están completamente conscientes del potencial para exposición y pueden ejercer el control sobre el mismo. Los límites de Exposición Ocupacional también se aplican cuando sus niveles están sobre los límites poblacionales, con tal que la persona expuesta este enteramente consciente del potencial de exposición y pueda ejercer el control abandonando el área o por algún medio conveniente.

EXPOSICIÓN POBLACIONAL

Se aplica para el público en general cuando las personas expuestas como consecuencia de su ocupación podrían no estar conscientes del potencial de la exposición o no puedan ejercer control sobre dicha exposición. Por lo tanto, el publico en general siempre cae bajo esta categoría cuando la exposición no esta relacionada con la ocupación.

GANANCIA DE ANTENA

El incremento en la potencia transmitida o recibida por una antena direccional cuando es comparado con una antena standard, la cual es usualmente una antena isotrópica ideal. La ganancia es una relación de potencias y podría ser expresado en decibeles (dB) o como un numero adimensional.

INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

Cantidad de campo vectorial que representa la fuerza producida por una carga de prueba positiva infinitesimal (q) en un punto, dividida entre el valor de dicha carga eléctrica. Se expresa en unidades de voltios sobre metro (V/m).

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO

Campo vectorial igual a la densidad de flujo electromagnético dividida entre la permeabilidad del medio. Se expresa en unidades de amperios sobre metro (A/m)

LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE

Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bien estar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente.

LONGITUD DE ONDA (λ)

La longitud de onda (λ) de una onda electromagnética

PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)

Es el producto de la potencia suministrada a una antena por la ganancia de la antena, en una dirección dada, relativa a un radiador isotropico.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

LA emisión o transferencia de energía a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas.

Anexo 2

Cálculos de la densidad de Potencia

(Según los límites permisibles de radiación)

Estos cálculos se tendrán que compara de acuerdo a los cuadros vistos en el capítulo 2 (tabla 2.7 y 2.8) dispuesto por el MTC.

Realizaremos el cálculo del PIRE para las antenas de 10GHz y 26 GHz:

Por la formula descrita en el capítulo 2:

$$\text{Pire} = \text{Ptx} \times \text{Gtx} \dots\dots\dots(1)$$

Ptx : Potencia de transmisión

Gtx: Ganancia de transmisión

Para 10 Ghz

De los datos obtenidos del cuadro 3.1 (antenas BRU = 10 GHZ)

$$\text{Ptx} = 16 \text{ dBm}$$

$$\text{Grx} = 26 \text{ dBi}$$

Pero

$$\text{Ptx} = 16 \text{ dBm} = 39.81 \text{ mW} = 0.03981 \text{ W}$$

$$\text{Prx} = 26 \text{ dB} = 398.17$$

$$\text{Pire (10 Ghz)} = 15.848 \text{ W}$$

Calculando la densidad de potencia:

$$S = \frac{\text{Pire} \times 0.64}{\pi \times r^2} \dots\dots\dots(2)$$

Tomando como referencia los siguientes radios de cobertura :

$r = 50 \text{ m}$ (Exposición ocupacional)

$r = 1000 \text{ m}$ (Exposición Poblacional)

$$S = \frac{15.848 \text{ W} \times 0.64}{\pi \times 50^2} = 1.29 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$S = \frac{15.848 \text{ W} \times 0.64}{\pi \times 1000^2} = 3.228 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

Para 26 Ghz

De los datos obtenidos del cuadro 3.1 (antenas BRU = 10 GHZ)

$P_{tx} = 16 \text{ dBm}$

$G_{rx} = 26 \text{ dBi}$

$P_{tx} = 18 \text{ dBm} = 63.095 = 0.063 \text{ W}$

$G_{tx} = 28 \text{ dBi} = 630.95$

$P_{ire} (26 \text{ Ghz}) = 25.118 \text{ W}$

Tomando como referencia los siguientes radios de cobertura:

$r = 50 \text{ m}$ (Exposición ocupacional)

$r = 1000 \text{ m}$ (Exposición Poblacional)

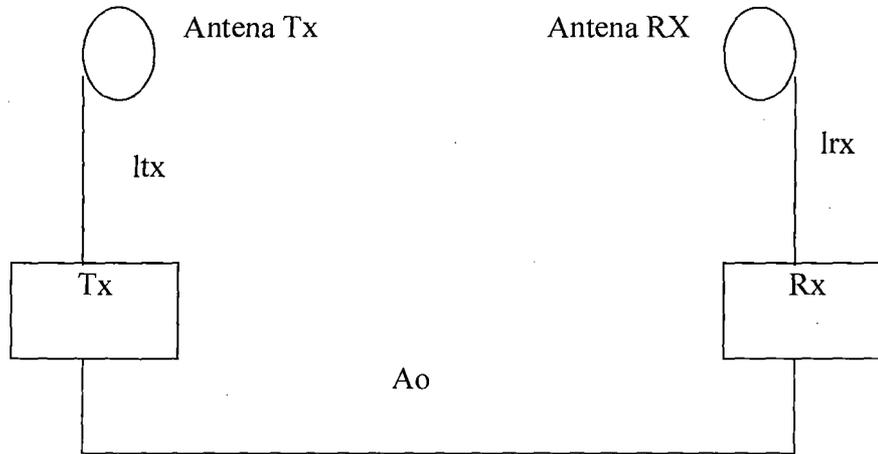
$$S = \frac{25.118 \text{ W} \times 0.64}{\pi \times 50^2} = 2.05 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$S = \frac{25.118W \times 0.64}{\pi \times 1000^2} = 3.228 \times 10^{-6} W / m^2$$

Observando los parámetros dentro de los permisibles por el MTC y poniendo en confirmación que el LMDS es un sistema que minimiza el posible efecto pernicioso a la salud de las personas.

Anexo 3

Cálculos para enlace microondas



Luego

En la ecuación del balance del sistema:

$$Prx = Ptx - Ltx + Gtx - Ao + Grx - Lrx \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- Prx : Potencia de transmisión
- Ptx : Potencia de recepción
- Ltx: perdidas por trasmisión
- Gtx: Ganancia por transmisión
- Ao: Atenuación por el espacio
- Grx: Ganancia de recepción
- Lrx: Perdidas en la recepción

Hallaremos las atenuaciones de transmisión Ltx y atenuación de recepción :

Realizaremos el calculo de la atenuación

$$Ltx = d (m) x \alpha (dB/m) \dots\dots\dots(2)$$

pero el $\alpha = 0.12363$ dB/m para una $IF = 350$ Mhz en el BRU y el SRU.

reemplazando en la ecuación (2)

Teniendo en cuenta una distancia de 50m de cable en la estación base:

$$L_{tx} = 20m \times 0.1263 \text{ dB/m} = 2.526 \text{ dB/m}$$

En el lado del cliente se tomara con promedio una distancia de 5 m de cable:

$$L_{rx} = 5 \text{ m} \times 0.1263 \text{ dB/m} = 0.6305 \text{ dB/m}$$

Luego hallamos las perdidas por espacio de la formula

$$A_0 = 32.4 + 10 \log (F \times d) \dots\dots\dots(3)$$

Donde

F: frecuencia en Mhz

d : distancia en metros

Remplazando en la formula 3

Para el tramo del Centro de Lima (Estación Base) al rectorado de la UNAC

F = 26 Ghz (Frecuencia de transmisión)

d = 9.8 Km

$$A_0 = 32.4 + 10 \log (26000 \text{ Mhz} \times 9.8 \text{ Km.})$$

$$A_0 = 140.523 \text{ dBm}$$

Remplazando los datos calculado para cada tramo y las perdidas en transmisión y recepción en la ecuación 1

$$P_{rx} = 16 \text{ dBm} - 2.526 \text{ dB} + 41 \text{ dbi} - 0.631 \text{ dB} + 15 \text{ dBm} - 140.523 \text{ dBm}$$

$$P_{rx} = -71.68 \text{ dBm.}$$

Para el tramo de la estación base en el centro de Lima a la ciudad universitaria

$$F = 26 \text{ Ghz}$$

$$d = 9.02 \text{ Km}$$

$$A_0 = 32.4 + 10 \log (26000 \text{ Mhz} \times 9.02 \text{ Km})$$

$$A_0 = 139.8 \text{ dBm}$$

Remplazando los datos calculado para cada tramo y las perdidas en transmisión y recepción en la ecuación 1

$$Prx = 16 \text{ dBm} - 2.526 \text{ dB} + 41 \text{ dbi} - 0.631 \text{ dB} + 15 \text{ dBm} - 139.8 \text{ dBm}$$

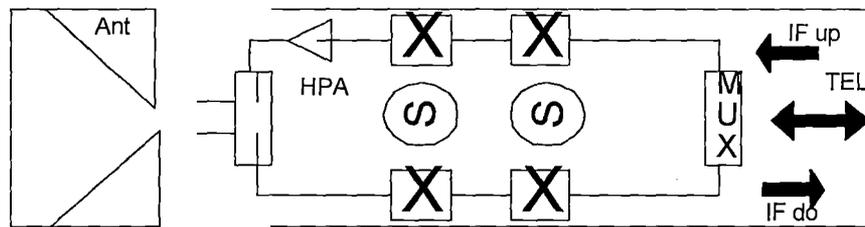
$$Prx = -71.7145 \text{ dBm.}$$

Anexo 4

Características de los equipos Netro

Características del BRU

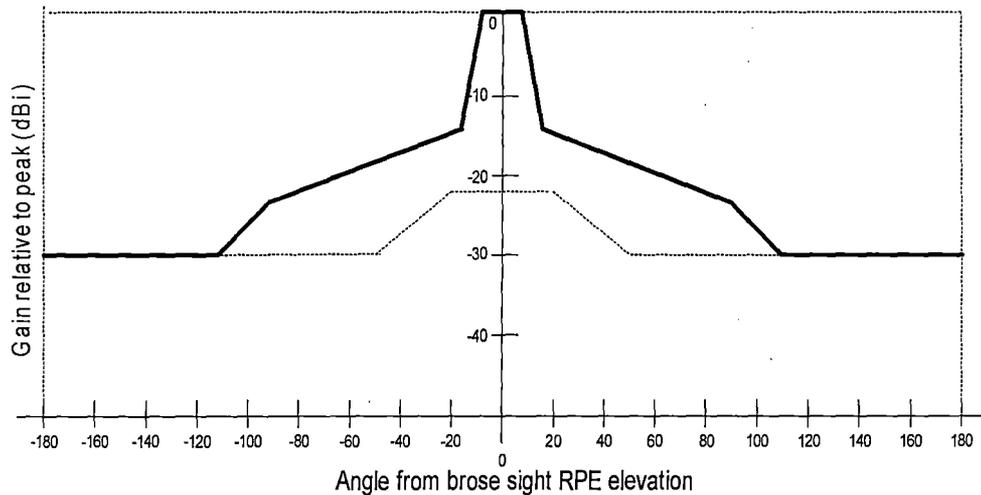
Diagrama de bloques del BRU



Ant = Antena
 HPA = High power Amplifier
 DIPL= Diplexer
 IF up= IF BMU to BRU is 350 MHz

IF do = IF BRU to BMU is 140 MHz
 TEL= Telemetry
 MUX = IF Multiplexar

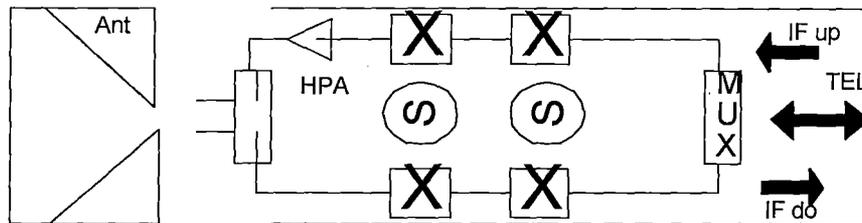
Patrón de Radiación



Angulo	Co-Polar	Angulo	Cros Polar
0	0	0	-25
6	0	15	-25
15	-15	45	-35
90	-25	180	-35
110	-35		
180	-35		

CARACTERISTICAS DEL SRU

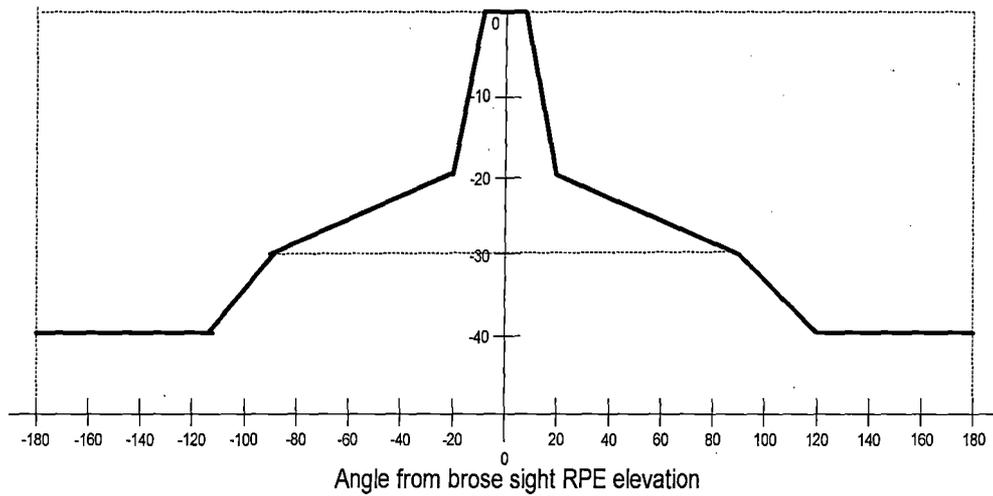
Diagrama de bloques del BRU



Ant = Antena
 HPA = High power Amplifier
 DIPL= Diplexer
 IF up= IF BMU to BRU is 350 MHz

IF do = IF BRU to BMU is 140 MHz
 TEL= Telemetry
 MUX = IF Multiplexar

Patrón de Radiación



ANGULO	CO-POLAR	CROSS-POLAR
-180	-40	-40
-130	-40	-40
-90	-30	-30
-15	-20	-30
-10	-10	-30
-5	0	-30
0	0	-30
5	0	-30
10	-10	-30
15	-20	-30
90	-30	-30
130	-40	-40
180	-40	-40

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Digital Microwave Radio
NEC corporation Tokio Japón
Technical Information O NNECS DMP
Código MSD 3004/ 8711-01

- Calculo de Cobertura de Sistemas WLL y LMDS
Autor : Pérez García
CETUC PUC Rio de Janeiro, Abril 2000

- The Promise of Broadband wireles
Autor: Biesecker K.
IP profesional Vol 2, Numero 6, Diciembre 2000

- System Funcional Specification For Airstar
Autor : Linda Xiaos
Damian Dalgeish

- Cisco Obice over Frame Relay ATM IP
Cisco System
Volumen I version 2.1

- Administrador Airlink para sistemas Punto Multipunto
Autor : Huges Network System INC

- Sistemas de Comunicaciones Electrónicas
Autor : Wayne Tomás

- Post Grado en Comunicaciones Fijas Inalámbricas
Curso Comunicaciones Fijas Inalámbricas
Autor : INICTEL

Diarios :

- Diario El Peruano . Normas Legales (Peru) domingo 6 de julio del 2003
Pag 247642- 247649.
- Periódico COMPUTERWORLD (Venezuela) año XV numero 1 2003
Pág. (10-12) Telefonía Ip como cambiara las telecomunicaciones

Separatas y Cursos:

- Servicio de Distribución Multipunto Local (LMDS) INICTEL
Ing Julio Cesar Lozano .
- Planificación Celular en sistemas de acceso de radio punto multipunto
Francisco Ramos Pascual
- Curso Practico de estudio de oportunidades en un operador LMDS
Esther Alvarez Gonzales
Pablo Perez de Mendiola
Guillermo Gavilán montenegro

Direcciones web

<http://www.srtelecom.com/>

<http://www.srtelecom.com/html/en/product/airstar/technology.php>

www.alcatel.com

http://www.alcatel.com/solutions/solution_desc.jhtml?solution=solselsolution31

www.hughes.com

http://www.synopsys.com/products/success/netro_ss.pdf

<http://www.radioptica.com/Radio/lmds.asp>

http://www.radioptica.com/Radio/calculo_radioenlaces.asp

http://www.albertomurillo.com/MOD_Digital.htm