

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“ESTUDIO Y ANALISIS DEL DISEÑO DE UNA RED LMDS  
PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa obtención del Título:**

**Ingeniero en electrónica y telecomunicaciones**

**Presentado por**

**Luis Chaw Sánchez  
Jaime Sánchez Alava**

**Guayaquil – Ecuador**

**2004**

A todos los que hicieron posible éste proyecto

A Dios  
A nuestros padres

**TRIBUNAL DE GRADUACION**

---

**Ing. Hernán Gutiérrez**

---

**Ing. Hernán Córdova**

---

**Ing. Juan Carlos Avilés**

---

**Ing. César Yépez**

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

---

Luis Chaw Sánchez

---

Jaime Sánchez Alava

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el de dar las bases adecuadas para el desarrollo, diseño y despliegue de una red LMDS en la ciudad de Guayaquil, teniendo en cuenta las zonas demográficas en las que el servicio puede ser aprovechado en su máxima capacidad.

Aquí presentamos una nueva tecnología de transmisión inalámbrica denominada LMDS (Local Multipoint Distribution System). Esta tecnología permite la transmisión de voz, datos y video sin necesidad de equipos adicionales para cada servicio. LMDS complementará las redes inalámbricas existentes dando servicio de backbone y backhaul, gracias a su gran ancho de banda.

Diseños de sistemas inalámbricos son construidos tomando en cuenta tres metodologías de acceso primario: TDMA, FDMA Y CDMA.

El proceso de diseño usado por un sistema LMDS, involucra varios aspectos del diseño punto a punto de microonda como del diseño de sistemas celular. Este diseño consiste en proveer un camino o plan desde el cual recursos limitados, pueden ser efectivamente dirigidos y utilizados.

Algunas de las tecnologías que podrían competir con LMDS son: WLL, GPRS, FWPMP, MMDS MDS IFTS, y XDSL; las cuales se describen en el desarrollo del proyecto.

Debido a que el sistema LMDS trabaja en frecuencias muy altas, los cálculos de trayectoria son puramente líneas de vista. En este trabajo se incluyen los cálculos de pérdidas por trayectoria realizados a distancias de 2 y 5 Km.

Los equipos necesarios para establecer una red LMDS son: la Estación Base Digital, la Estación Base de Radio de Polarización Cruzada, la Terminación de Radio de Polarización Cruzada y la Terminación de Red; y para controlar la red tenemos el Administrador de la red.

Para entender mejor el proceso de modulación y demodulación QPSK, utilizado en este proyecto, hemos incluido una simulación de la misma, con la ayuda del programa MATLAB, en el cual vemos claramente el proceso que toma la señal al ser enviada desde el transmisor y recibida en el receptor.

Se incluye también un estudio de prefactibilidad así como un análisis legal para el comportamiento de una empresa de comunicaciones que trabaja con la tecnología LMDS.

**INDICE GENERAL**

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>XIII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1.- ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
1.1. Situación actual	3
1.2. Situación propuesta	4
<b>CAPITULO 2.- CONCEPTOS DE RF</b>	<b>6</b>
2.1. Transmisión	7
2.2. Modulación	7
2.2.1. Ancho de banda	8
2.3. Antenas	9
2.3.1. Criterio de desempeño de antenas	10
2.4. Filtros	18
2.4.1. Características generales	19
2.4.2. Criterio de desempeño de filtros	21
2.5. Recepción	26
2.5.1. Etapas de un sistema de recepción	28



2.5.2. Criterio de desempeño de un receptor	35
2.6. Propagación	38
2.6.1. Espectro de radiofrecuencia	38
2.6.2. Propagación de ondas de radio	39
2.6.3. Pérdidas de transmisión	39
2.6.4. Atenuación de espacio libre	40
2.6.5. Efecto de la difracción	41
2.6.6. Atenuación por condiciones atmosférica	44

### **CAPITULO 3.- SISTEMA MULTIPUNTO DE DISTRIBUCION LOCAL**

<b>(LMDS)</b>	<b>46</b>
3.1. Definición	46
3.2. Arquitectura de la red	47
3.3. Arquitectura opcional	48
3.4. Enlaces inalámbricos y opciones de acceso.	49
3.5. Planificación de la red	53
3.6. Aplicaciones	55
3.7. Tecnologías opcionales	56
3.7.1. WLL	57
3.7.2. GPRS	58
3.7.3. FWMP	58
3.7.4. MMDS	59

3.7.5. XDSL	61
3.8. Diseño del sistema RF para LMDS	62
3.8.1. Introducción	62
3.8.2. Proceso de diseño	63
3.8.3. Metodología	65
3.8.4. Decisiones tecnológicas	67
3.8.5. Presupuesto de enlace	68
3.8.6. Cálculo de pérdidas por trayectoria	71
3.8.7. Sitios de celda	73
3.8.8. Requerimientos de cobertura	77
3.8.9. Capacidad requerida de sitios de celda	81
3.8.10. Planeación de frecuencia	86
<b>CAPITULO 4.- EQUIPOS DE RADIO PARA EL SISTEMA</b>	<b>92</b>
4.1. DBS	92
4.2. RBS	96
4.3. XPol RT	102
4.4. NT	104
4.5. Administración de la red	110
<b>CAPITULO 5.- CALCULO DEL ENLACE</b>	<b>112</b>
5.1. Enlace Previsora – Finansur (2Km)	112

5.2. Enlace Previsora – Centrum (5Km)	117
<b>CAPITULO 6.- SIMULACION EN MATLAB</b>	<b>121</b>
6.1. Simulación de una modulación QPSK	121
6.2. Simulación usando Simulink de un modulador QPSK	126
6.3. Simulación usando el Toolbox de Comunicaciones de Simulink	128
<b>CAPITULO 7.- ANALISIS ECONOMICO</b>	<b>132</b>
7.1. Estudio de prefactibilidad	132
<b>CAPITULO 8.- ASPECTO LEGAL</b>	<b>143</b>
8.1. Norma para la implementación y operación de sistema de espectro ensanchado	143
8.1.1. Solicitud de aprobación	143
8.1.2. Homologación	144
8.1.3. Derechos para la operación de sistemas de espectro ensanchado	144
8.2. Reglamento de tarifas de uso de frecuencia	145
8.2.1. Tarifas por autorización para uso de frecuencias en los servicios fijo y móvil terrestre	146
8.2.2. Tarifas por uso de frecuencias para los sistemas de los servicios fijo y móvil terrestre	147
8.3. Reglamento para la homologación de equipos terminales de telecomunicaciones	147
8.3.1. Del certificado de homologación	147
8.3.2. De las etiquetas de homologación	149

8.3.3. Obligaciones de los proveedores de equipos terminales	150
8.4. Reglamento para otorgar concesiones de los servicios de telecomunicaciones	150
8.4.1. De las concesiones	150
8.4.2. Del procedimiento para el otorgamiento de concesiones de servicio mediante adjudicación directa	157
8.4.3. Del procedimiento para el otorgamiento de concesiones de servicio mediante proceso público competitivo de ofertas	159
8.4.4. Del procedimiento para el otorgamiento de concesiones de servicio mediante proceso de subasta pública de frecuencias	163
8.4.5. Del servicio universal y del Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones	165
<b>CAPITULO 9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>167</b>
<b>CAPITULO 10.- GLOSARIO</b>	<b>169</b>
<b>CAPITULO 11.- BIBLIOGRAFIA</b>	<b>174</b>

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Tipos fundamentales de modulación	8
Figura 2. Representación de un patrón de antena	11
Figura 3. Representación del lóbulo principal de una antena	12
Figura 4 .Tipos de filtros	20
Figura 5. Componentes de la respuesta de frecuencia	22
Figura 6. Esquema básico de un radio receptor	31
Figura 7. Efecto de la difracción	41
Figura 8. Elipsoide de Fresnel	43
Figura 9. Esquema general LMDS	47
Figura 10. Esquema del equipo receptor LMDS	48
Figura 11. Asignación de frecuencias para TDMA	52
Figura 12. WLAN (Wireless LAN)	53
Figura 13. Configuración de 2 sectores	74
Figura 14. Configuración de 4 sectores	74
Figura 15. Configuración de 6 sectores	75
Figura 16. Configuración de 8 sectores	76
Figura 17. Configuración de 12 sectores	76
Figura 18. Ubicación típica de la estación base	80
Figura 19. Obstrucción de la línea de vista	81

Figura 20. Problema con usuarios adyacentes a la estación base	81
Figura 21. Sistema de rejillas	85
Figura 22. Patrón de reuso para dos canales igual polarización	89
Figura 23. Patrón de reuso para dos canales polarización dual	90
Figura 24. Plan de frecuencia cuando hay 3 canales disponibles	91
Figura 25. Plan de frecuencia cuando existen 4 canales	91
Figura 26. Digital Base Station	92
Figura 27. Radio Base Station	98
Figura 28. Terminación de Radio	102
Figura 29. Terminación de Red	105
Figura 30. Señal original del programa	124
Figura 31. Señal modulada en fase	124
Figura 32. Señal modulada con ruido	125
Figura 33. Señal demodulada	125
Figura 34. Esquema de un modulador QPSK	127
Figura 35. Señal de entrada 1	127
Figura 36. Señal de entrada 2	127
Figura 37. Señal modulada en QPSK	127
Figura 38. Señal con ruido	128
Figura 39. Señal demodulada 1	128
Figura 40. Señal demodulada 2	128
Figura 41. Esquema QPSK usando el toolbox de comunicaciones	129

Figura 42. Señal original	130
Figura 43. Constelación QPSK	130
Figura 44. Constelación QPSK con ruido	131
Figura 45. Señal recuperada	131

**INDICE DE TABLAS**

Tabla I.	Bandas de frecuencias utilizadas en las comunicaciones	38
Tabla II.	Tipos de DSL	61
Tabla III.	Ejemplo de presupuesto de enlace de bajada	69
Tabla IV.	Ejemplo de presupuesto de enlace de subida	69
Tabla V.	Tablas de análisis económico	135



## INTRODUCCION

Con proyecto presentamos una nueva tecnología de transmisión inalámbrica denominada LMDS (Local Multipoint Distribution System). Esta tecnología tiene una gran acogida alrededor del mundo. En ciertos países su utilización y despliegue está muy avanzado, inclusive en nuestro continente ya existen algunos países como Colombia y Perú que la están implementando. Es por esto que, siguiendo con el auge de las comunicaciones inalámbricas en nuestro país, como las futuras redes de WLL , LMDS complementará las redes inalámbricas existentes dando servicio de backbone y backhaul, gracias a su gran ancho de banda.

El objetivo primordial de este proyecto es el de dar las bases adecuadas para el desarrollo, diseño y despliegue de una red LMDS en la ciudad de Guayaquil, teniendo en cuenta las zonas demográficas en las que el servicio puede ser aprovechado en su máxima capacidad.

Con esto se pretende demostrar que un servicio de tal magnitud y eficiencia puede ser desplegado en nuestra ciudad. Para crear esta red se harán estudios para establecer cual es el punto geográfico, en la ciudad de Guayaquil, que podría abarcar la mayor cantidad de usuarios que utilizarían el servicio.

Además presentamos los cálculos para un enlace utilizando esta tecnología, y una simulación en el programa MATLAB para modulaciones QPSK. Asimismo, hacemos un análisis económico y legal para crear una empresa de telecomunicaciones de este tipo y comprobar su rentabilidad.

## **CAPITULO 1.- ANTECEDENTES**

### **1.1. Situación actual**

La ciudad cuenta con un sistema telefónico compuesto por redes alámbricas. Estas redes la conforman miles de pares de cobre que conectan a los usuarios con las centrales telefónicas respectivas. Todas las centrales telefónicas están enlazadas entre sí por medio de cables de fibra óptica. La ciudad de Guayaquil junto con Durán cuenta con un total de 24 centrales telefónicas. Dado el creciente desarrollo social y urbanístico de la ciudad, la necesidad de dar el servicio telefónico a un mayor número de abonados, ha llevado a la compañía telefónica dominante a expandir su cobertura, teniendo el problema de accesibilidad a lugares remotos donde el servicio telefónico, anteriormente, era escaso o no existía.

Otro problema, es el de servir como medio para la transmisión de datos, donde la velocidad de la transmisión y el ancho de banda disponible son críticos para el usuario, teniendo en cuenta que los requerimiento para las empresas en un mundo

competitivo como el actual, así lo demandan. Puesto que la compañía telefónica no abastece la demanda actual, han surgido compañías que se dedican exclusivamente a la transmisión de datos.

Las compañías de televisión como otro medio de comunicación, están divididas en televisión abierta y televisión por cable o pagada. Siendo la televisión por cable la que mayor demanda ha tenido en los últimos años y con una red creciente, se esta convirtiendo poco a poco en una fuerte empresa de telecomunicaciones que en un futuro puede abarcar otros servicios aparte de la televisión.

Todos estos servicios se ofrecen en forma individual, es decir, se debe tener una red para el acceso telefónico y datos, en algunos casos, y una red para el acceso a televisión.

## **1.2. Situación propuesta**

Nuestro estudio se basa en la conformación de una red digital inalámbrica de banda ancha que facilita el acceso a estos servicios utilizando la misma red. Es decir, el usuario no necesitara una red independiente para telefonía, datos y video. Además por el hecho de ser inalámbrica se eliminan esos molestos problemas de interrupción de líneas debido a los cables de par trenzado.

Puesto que la red carece de conexión física, los gastos de última milla, como son armarios, cables de pares trenzados, cables de fibra óptica, cajetines, postes, y demás equipos de transmisión y acceso son eliminados, el usuario solo tendrá que colocar una antena receptora y su equipo correspondiente. Además todos los molestos trabajos de conformación de la red (esto es, tendidos de cable subterráneo, abertura de pozos para empalmes y colocación de postes) quedan totalmente fuera del problema.

El diseño que proponemos utiliza tecnología LMDS, sistema que ha sido denominado como “la fibra óptica inalámbrica” por su gran ancho de banda y velocidad de transmisión, dando así un servicio rápido y eficiente a un número determinado de usuarios, dejando abierta la posibilidad de expansiones e incremento de servicios, para poder llegar y dar servicios a aquellos lugares que lo necesitan y actualmente no lo tienen.

También se hará referencia a otras tecnologías similares que se están ofertando en la actualidad como solución inalámbrica al problema de acceso a la telefonía, datos y video. Así como un estudio de factibilidad de implementación en la ciudad de Guayaquil.

## **CAPITULO 2.- CONCEPTOS DE RF**

Un sistema LMDS utiliza el espectro de radiofrecuencias como medio de transporte como muchos otros sistemas inalámbricos pero con una ventaja con respecto a otros, el usuario final no se encuentra en movimiento si no fijo; así, se eliminan muchas de las complicaciones que ocurren en un sistema inalámbrico móvil habitual.

Como ya es sabido, los componentes principales en cualquier sistema de comunicación son:

- Antenas
- Filtros
- Receptores
- Transmisores
- Moduladores
- Demoduladores
- Propagación

Cada uno de estos componentes debe ser considerado para lograr un óptimo diseño y el máximo desempeño de la red. A continuación una descripción de estos componentes.

### **2.1. Transmisión**

Existen diversos tipos de transmisores o amplificadores en un sistema de comunicación, la mayoría de veces el amplificador yace en el receptor aunque la diferencia primordial entre el amplificador del transmisor y el del receptor radica en el tipo de energía que es capaz de amplificar y enviar a la carga deseada. Los conocimientos con respecto a transmisores de RF y diferentes técnicas combinadas permitirán maximizar la eficiencia de un área de comunicación al mejorar la cantidad de energía enviada al sistema de antenas o reduciendo la cantidad de antenas en el área establecida.

### **2.2. Modulación**

La elección en el tipo de modulación y demodulación a utilizar en un sistema depende directamente del contenido de la información, el espectro disponible para enviar dicha información y el costo que este conlleva. La meta fundamental de modular cualquier señal es la de obtener la máxima eficiencia espectral o densidad de información por Hertz.

Aunque existen diversos tipos de modulación y demodulación utilizados para enviar información, todos los formatos de comunicación se apoyan si no es en uno, en dos de los tres tipos fundamentales de modulación: AM, FM y PM (Fig. 1); cada uno utilizado de acuerdo a sus características.

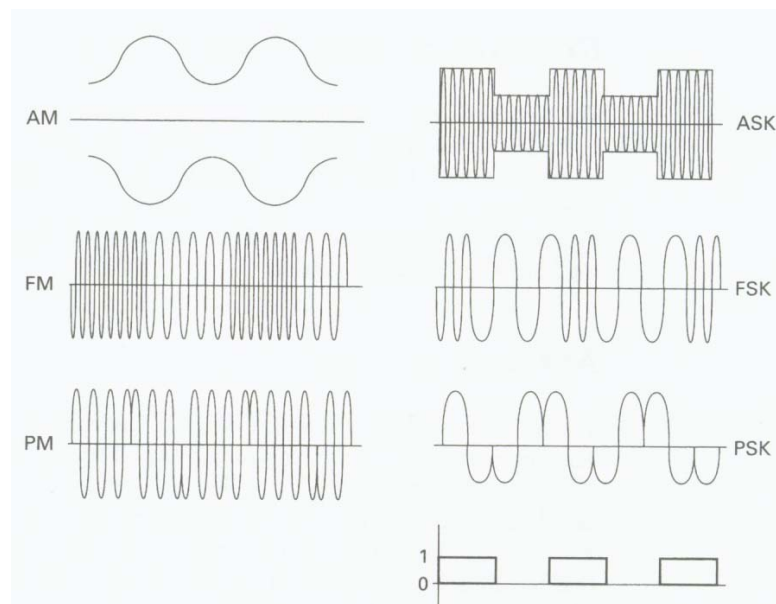


Figura 1. Tipos fundamentales de modulación

### 2.2.1. Ancho de banda

La información y el ancho de banda del canal son parámetros críticos en determinar que esquema de modulación utilizar para el sistema de comunicaciones: A veces, el ancho de banda es definido y luego la técnica de modulación apropiada debe ser aplicada; así mismo, el producto de un sistema LMDS establece la cantidad de información que el sistema puede



soportar para un ancho de banda de una canal dado. La capacidad de un canal se define por medio de la ecuación de Shannon-Hartley

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

C.- Capacidad

B.- Ancho de banda

S/N.- relación señal al ruido

### 2.3. Antenas

La antena es la interface entre el sistema de radio y el ambiente exterior. Para un sistema LMDS, el sistema de antenas puede consistir de una o múltiples antenas en la estación base y una sola en la terminal del cliente.

Existen varios tipos de antenas en el mercado, cada una con funciones y características específicas. Conjuntamente con el tipo de antena entra en consideración la noción de *antenas activas y pasivas*. La antena activa usualmente tiene componentes electrónicos asociados con ella para que aumenten su desempeño; en cambio la antena pasiva es la antena clásica en la que no existen componentes electrónicos asociados con su uso por lo que consiste enteramente de elementos pasivos. La mayoría de sistemas LMDS utilizan antenas activas ya que elementos de transmisión y de recepción están integrados en el sistema de antenas encima de la torre de la antena.

Otro valor de antena es su patrón relativo, el cual indica la dirección en que la energía emitida o recibida de ella va a ser direccionada. Hay dos clasificaciones primarias de antenas con respecto a su directividad: *omnidireccional* y *direccional*; siendo este último usado por un sistema LMDS con sus variantes asociadas con ganancia, apertura, anchos de haz vertical y horizontal y por supuesto su polarización.

### **2.3.1. Criterio de desempeño de antenas**

Existen muchos parámetros a considerar en el desempeño de una antena, estos parámetros que definen el funcionamiento general de una antena pueden ser referidos como *figuras de mérito* o FOM (*Figures Of Merit*), las cuales son aplicadas a cualquier antena que es seleccionada a usar en un sistema de comunicaciones.

La siguiente es una lista de algunas **FOM** para una antena que debe ser cuantificada por el proveedor de antenas.

#### **- Patrón de antena**

La representación gráfica de elevación y azimut para una antena omnidireccional se muestran en la figura 2.

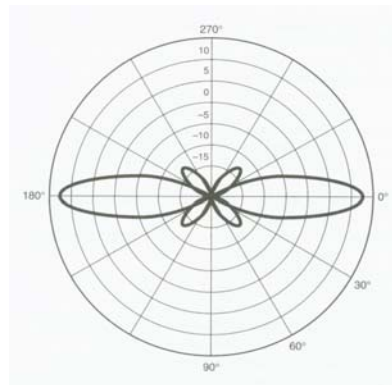


Figura 2. Representación de un patrón de antena

El patrón de antena escogido deberá cumplir los requerimientos de cobertura de la estación base para el área deseada o estimada en el diseño. Se debe tomar en cuenta también las caídas de la señal por condiciones eléctricas.

#### **- Lóbulo principal**

Este, es el lóbulo de radiación que contiene la dirección de la máxima potencia irradiada. El lóbulo principal es referido por el tipo de polarización que utiliza la antena y simplemente refleja la directividad de la misma. Fig.

3.

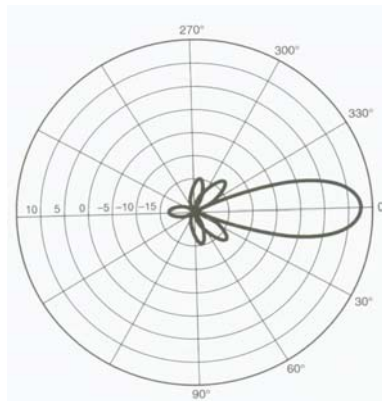


Figura. 3. Representación del lóbulo principal de una antena

#### - Lóbulos laterales

Son aquellos lóbulos de radiación que apuntan en cualquier dirección diferente a la del lóbulo principal. Estos lóbulos son muy importantes, ya que crean problemas con la interferencia generada. En condiciones ideales, no deberían existir los lóbulos laterales para cualquier patrón de antena.

#### - Impedancia de entrada

Esta es la impedancia presentada por la antena en sus terminales y es usualmente de naturaleza compleja. La impedancia de entrada para una antena debería maximizar la transferencia de poder desde el transmisor hacia la antena para una eficaz radiación. La impedancia nominal de antena es de  $50 \Omega$  la cual es afín a la del cable coaxial usado para conectar el transmisor con la antena. Una desigualdad en la impedancia de entrada

obviamente tendrá un impacto en la transferencia de energía y en el decrecimiento de la potencia de salida en general.

#### **- Eficiencia de radiación**

Esta es la relación de la potencia total irradiada por una antena con respecto a la potencia de la red disponible por una antena desde el transmisor. La ecuación es la siguiente:

$$e = \textit{Potencia irradiada} / (\textit{Potencia irradiada} + \textit{Pérdida de potencia})$$

Esta cantidad indica cuanta energía es perdida en la antena misma, asumiendo un acoplamiento ideal con la línea de alimentación y la impedancia de entrada.

#### **- Ancho de haz**

Esta es la separación angular entre dos direcciones en las cuales intereses de radiación son idénticos. El punto medio de potencia para el ancho de haz es usualmente la separación angular donde haya una reducción de 3 dB en el lóbulo principal.

Normalmente, mientras más ancho sea el haz, más baja será la ganancia de la antena; es por eso que se dice que para cada vez que se despliegue una cantidad de elementos asociados con la antena, una ganancia de 3 dB tendrá efecto; sin embargo, por cada incremento de 3 dB en ganancia, el ancho del haz se reduce a su vez a la mitad.

### **- Directividad**

Se denomina directividad a la relación de intensidad de radiación en una dirección dada con respecto a la intensidad de irradiación promedio. Su ecuación es la siguiente:

$$G(D) = \frac{\text{Máxima intensidad de potencia irradiada}}{\text{Intensidad promedio irradiada}}$$

La directividad de una antena puede ser mejorada a través del uso de reflectores o a través de la estructura de la torre de la antena misma.

### **- Ganancia**

La ganancia es la tasa de intensidad de radiación en una dirección dada sobre la de una señal irradiada isotrópicamente. La ecuación para la ganancia de antena es la siguiente:

**$G = \text{Máxima intensidad de radiación de antena} / \text{Máxima intensidad de radiación de antena isotrópica}$**

O

$$G = e G(D)$$

Así, si en un caso la antena no hubiera tenido pérdidas en su potencia,  $e = 1$ ; entonces:

$$G = G(D)$$

#### **- Polarización de antena**

Se define como el campo de polarización irradiado por la antena. La polarización de la antena está definido por el vector campo eléctrico  $E$ .

Según la ley de Poynting:

$$S = H \times E$$

Siendo  $S$  el vector de Poynting, el cual da la dirección a donde viaja la onda electromagnética y  $H$  el vector de campo magnético.

PCS y sistema celulares utilizan polarización vertical, mientras que otros sistemas como el LMDS pueden utilizar tanto polarización vertical como horizontal.

### **- Ancho de banda de antena**

Se define como el ancho de banda de una antena como el rango operante de frecuencias de una antena, se lo representa usualmente como SWR; además del rango de frecuencias, este es constante.

El ancho de banda de la antena debe ser seleccionado minuciosamente no solo para configuraciones actuales, sino también para futuras opciones de configuración en la misma celda.

### **- Relación frontal a trasero**

Esta es la relación que se encarga de mostrar cuanta energía es direccionada en dirección opuesta del lóbulo principal de la antena. La IEEE se refiere a ella como "La tasa de máxima directividad de una antena con respecto a su directividad en una dirección específicamente contraria". Esta FOM solo es aplicable en antenas direccionales.

### **- Disipación de potencia**

Es la potencia total que una antena puede aceptar en sus terminales de entrada. Esta en especial es una característica muy importante a la hora de



elegir una antena, ya que las antenas escogidas deberán trabajar a la máxima carga establecida sin que esto afecte su funcionamiento.

### **- Intermodulación**

La intermodulación por antena es introducida en la red por la interferencia de fuertes señales presentes en el ambiente; esta intermodulación que se hace referencia debe ser probada con anticipación, esto significa que para un operador de LMDS, el nivel de intermodulación que existe en una antena debe ser un valor conocido. La forma con que los operadores estiman el nivel de intermodulación es por medio de tonos. Conjuntamente con saber cuantos tonos son usados, se debe saber la frecuencia de operación, el ancho de banda y por supuesto los niveles de potencia que causaron la intermodulación.

### **- Construcción**

So importantes los atributos de construcción como por ejemplo, dimensiones físicas, requerimientos de montaje, materiales a usar, ventilación, conectores y color. Estos atributos deben tomarse en consideración dependiendo del tipo de material usado y su tiempo de vida en el medio ambiente donde va a ser desplegado.

### **- Costo**

No importa que tan bien se desempeñe una antena, el costo asociado con ésta deberá ser facturado en la decisión de adquirirla. Económicamente hablando, se escogerá la antena que cumpla con los requisitos establecidos al menor costo posible.

## **2.4. Filtros**

Con la proliferación de diversos tipos de comunicaciones inalámbricas inmiscuidas con LMDS y otras bandas, la necesidad de prestar atención a las características de filtrado tanto en la estación base como en la terminal del cliente se vuelve cada vez más drástica. Esta proliferación ha aumentado la demanda de celdas de menor tamaño con mejores características de atenuación de señales no deseadas sin distorsionar la señal en consideración.

Existen varios tipos de filtros disponibles en el mercado para su uso, y cada uno tiene características particulares. Estas características están estrechamente ligadas a su construcción física; así pues la selección de cual filtro usar está basado en la misión del filtro y su costo, tanto en términos de espectro como en términos monetarios.

Hay cuatro tipos de clasificaciones de filtros generales usados por todo el ámbito de las telecomunicaciones; estos se mencionan como referencia:

- Filtro pasa bajo (LPF)
- Filtro pasa banda (BPF)
- Filtro pasa alto (HPF)
- Filtro discriminador de banda (Filtro Notch)

Si bien es cierto que estos filtros pueden ser combinados para alcanzar especificaciones especiales dependiendo de la aplicación a la que van a ser usados, cabe resaltar que existen muchas perturbaciones con respecto a la combinación de los filtros ya listados.

Idealmente, un filtro debería dejar pasar todas las frecuencias que se encuentren dentro de una banda específica sin atenuarlas mientras discriminaría todas aquellas frecuencias fuera de banda mencionada; adicionalmente, el tiempo de respuesta sería tal que la salida sería igual a la entrada con solo un ligero retardo de diferencia. Dado que este tipo de filtro no existe en la realidad, el tipo de filtro seleccionado para un sistema LMDS deberá tener la menor cantidad de imperfecciones y desventajas que puedan ser mejor toleradas.

#### **2.4.1. Características generales**

A continuación se muestra (Fig. 4) y se explica brevemente las características que cada filtro ofrece.

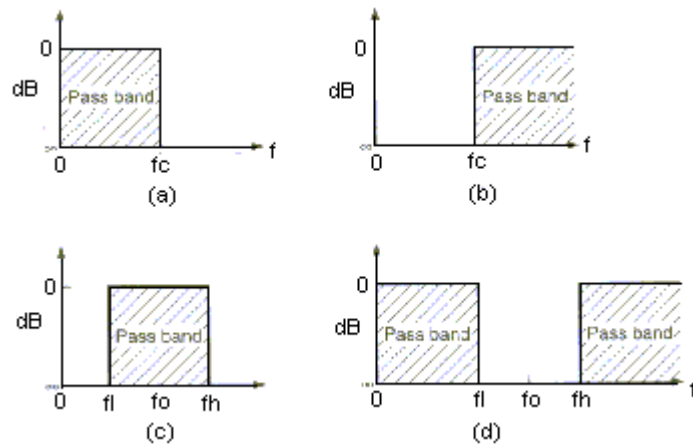


Figura 4 .Tipos de filtros

### LPF

- Rechazo a interferencias de alta frecuencia
- Limita la banda
- Supresión de armónicos

### BPF

- Limita la banda
- Filtrado tipo peine
- Elimina interferencia

### HPF

- Limita la banda
- Reduce el ruido en el canal
- Elimina interferencia
- Condicionador de Tx general (*broadcast*)

### NOTCH

- Rechazo selectivo de frecuencia
- Reducción de ruido
- Eliminación de interferencia

## 2.4.2. Criterio de desempeño de filtros

Existen muchos aspectos y criterios que establecen el desempeño de un filtro. A continuación se mencionan algunos de los criterios que se deben definir durante la fase de diseño del sistema de comunicaciones.

### **- *Respuesta de frecuencia***

Define que frecuencias van a ser atenuadas y cuales serán admitidas. Los componentes que comprenden las características de respuesta de frecuencia son (Fig. 5):

#### *1. Pasabanda*

El pasabanda define que frecuencias serán pasadas a través del filtro y cuales serán discriminadas; normalmente se define al pasabanda como el área del filtro que experimenta el nivel más bajo de atenuación. Idealmente esta zona es de 0 dB y tiene un rizo de bajo nivel.

#### *2. Frecuencia de corte*

Es la frecuencia donde la pasabanda alcanza una atenuación de 3 dB e incluso denota el fin de la pasabanda deseada.

#### *3. Banda de transición*

Es la porción de la respuesta de frecuencia del filtro que está entre la frecuencia de corte y la frecuencia de parada; esto es, la parte de la respuesta del filtro donde ocurre el mayor cambio en la atenuación.

#### 4. *Filo de la banda de parada*

Es la frecuencia más alta en donde el rizo del pasabanda ocurre; también se lo define como el punto de transición donde un ligero aumento en la frecuencia produce un gran aumento en la atenuación. Para un transmisor, la frecuencia de banda de parada normalmente se especifica con respecto a la banda de recepción.

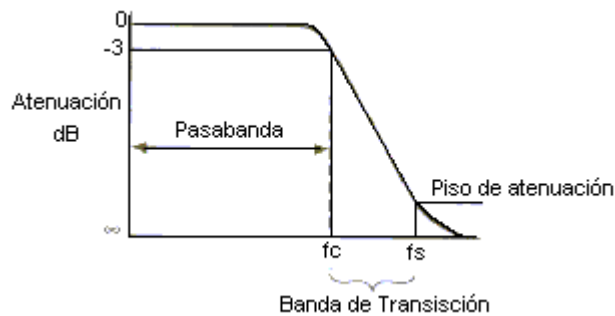


Figura 5. Componentes de la respuesta de frecuencia

**- Pérdida por inserción**

Define cuanta pérdida impondrá el filtro a la señal cuando ésta pase por él. Idealmente, esta pérdida debería ser de 0 dB, sin embargo esto no es factible en la realidad.

Conjuntamente con la pérdida por inserción existe también un factor de pérdida por ganancia, el cual es una parte de la pérdida por inserción que el filtro produce. Este error de ganancia es la diferencia entre la ganancia del pasabanda en la práctica y el especificado por el productor.

**- Rizo de la pasabanda**

El rizo de la pasabanda es una variación en ganancia o pérdida por inserción sobre el pasabanda, también se los describe como variaciones de la señal dentro de la banda. Típicamente un filtro tendría un 1% o 2% de rizo sobre la mayoría de pasabandas.

**- Piso de atenuación**

Es el más alto nivel de atenuación del filtro en la frecuencia de corte. La referencia denominada piso de atenuación,  $f_s$ , es donde la respuesta de roll-off de la banda de transición del filtro cruza el piso de atenuación.

**- Error de fase**

También referido como linealidad de fase, este factor se define como la linealidad del cambio de fase versus la frecuencia. Si no hay un error de fase la linealidad de la fase deberá ser una línea recta la cual a su vez no va a producir retardo de grupo, puesto que la derivada de una constante es igual a cero, y se define al retardo de grupo como la derivada del error de fase.

#### ***- Retardo de grupo***

Se lo define como el retardo de tiempo que sufre un pulso de señal al pasar a través de un filtro en una cantidad finita de tiempo. Idealmente el retardo de grupo para un filtro deberá ser constante a través del pasabanda; un retardo de grupo que no es constante a través del pasabanda puede causar overshoots o ringings en la misma pasabanda.

El retardo de grupo está matemáticamente representado como una respuesta de fase versus la frecuencia. La magnitud actual del retardo de grupo no es realmente importante, si no que tan plano es sobre toda la banda; ésta es la clave para el correcto desempeño del filtro y además una medida importante de distorsión.

Si el retardo de grupo no es lo suficientemente plano (constante) sobre el ancho de banda del pasabanda, algún tipo de distorsión de forma de onda se producirá; así pues, mientras más estrecha en ancho de banda sea la señal



deseada, será menos probable que tenga algún tipo de retardo de grupo. Además de lo dicho, si existe algún problema con los desajustes en la impedancia, el sistema producirá también un retardo de grupo; la tolerancia del retardo de grupo sobre el filtro pasabanda es llamada rizado de retardo de grupo, el cual es medido en milisegundos u otra medida de tiempo.

#### **- *Selectividad (Q)***

La selectividad del filtro es otro atributo clave en las características que debe de tener un filtro. Mientras mayor sea la selectividad, mejor será la discriminación de señales no deseadas de ser pasadas a través de un filtro sin ser atenuadas. Un filtro idealmente debería ser extremadamente selectivo y solo permitir pasar las señales pertinentes sin ningún tipo de distorsión.

La Q de un filtro se ha definido como la relación entre la frecuencia central y el ancho de banda del filtro.

#### **- *Estabilidad de temperatura***

La estabilidad de temperatura de un filtro es un criterio a considerar muy importante. Específicamente el filtro debe ser definido en términos de su tolerancia a la temperatura, esto es en partes por millón para diferencia de grados de temperatura mmp/°C.

Debido a que un filtro se compone de varios factores, estos cambiarán sus dimensiones físicas a medida que la temperatura vaya cambiando, esto influenciará en un gran cambio en la respuesta de frecuencia. Una técnica usada en la construcción de filtros es el uso de materiales que compensen sus formas y características físicas a medida que la temperatura cambie.

## **2.5. Recepción**

El receptor y el sistema de recepción utilizado por un sistema LMDS es un elemento crucial de la red, siendo su función primordial la de extraer la señal deseada de un mar de señales y ruidos que existen en el ambiente. Se refiere como receptor a la parte de la red de telecomunicaciones que se encarga de la recepción y demodulación de la señal para así, extraer de ella la información deseada. Pero debido a que la etapa de recepción consiste no solo de la etapa de demodulación, sino de varias etapas, se debe tratar al sistema como uno solo ya que todos los componentes influyen directamente al rendimiento del receptor.

El tipo de receptor ha utilizar para un sistema dado debe ser seleccionado, de modo que el proceso de obtener el contenido de la información recibida se efectúe de la manera más eficiente.

Normalmente el receptor de un sistema de comunicación debe enfrentarse con una señal espectral que contiene mucho más que solo la señal deseada; las múltiples

señales que un receptor debe soportar simultáneamente, afecta en gran manera a la linealidad del grupo para cada una de sus etapas.

El receptor, ya en modo operativo, debe seleccionar la señal portadora de las demás señales que se encuentran dispersas en el medio de comunicación, amplificar la señal deseada y después demodularla.

Las mayores funciones a tomar en cuenta para un receptor típico son las siguientes:

- Rango de frecuencias
- Rango dinámico
- Ruido de fase
- Resolución de sintonización
- Velocidad de sintonización
- Sensibilidad
- Distorsión
- Ruido
- Otros

El diseño del receptor debe incorporar el funcionamiento deseado para el sistema y al mismo tiempo minimizar el número de etapas entre la porción de RF y la IF del sistema; este número de etapas depende del tipo de modulación elegido.

### **2.5.1. Etapas de un sistema de recepción**

#### **1. Sistema de antenas**

El sistema de antenas es la primera etapa del receptor. Su propósito es el de recoger la energía electromagnética del atmósfera y transferirla a la línea de alimentación.

#### **2. Línea de alimentación**

Es el elemento físico que une la antena con el resto del sistema de recepción al medio de transmisión de propagación que es usado para transportar la información. La línea de alimentación comprende cables y jumpers que en condiciones normales conectan la antena con los filtros de recepción.

#### **3. Filtros**

En un receptor, normalmente existen varios filtros con el fin de dejar pasar la señal deseada sin ninguna atenuación y eliminar cualquier tipo de frecuencia fuera de la pasabanda. Tomando en cuenta observaciones ya mencionadas, la mejor opción de un filtro determinará el desempeño del receptor.

#### **4. Preamplificador**

Usualmente es el primer componente activo en la parte de recepción del sistema de comunicación, su función básica consiste en incrementar la relación señal ruido de la señal recibida. Debido a que el preamplificador RF recibe la señal en el nivel más bajo de la trayectoria de recepción de la celda, ruido u otras formas de interferencias introducidas en esta etapa tienen un efecto mayor.

El desempeño de la celda receptora con respecto a las señales débiles, depende directamente del desempeño del preamplificador. El problema más sobresaliente que existe en los preamplificadores es que estos no discriminan entre lo que es señal y lo que es considerado ruido en la pasabanda del amplificador, por lo que el preamplificador amplificará la señal en consideración incluyendo al ruido que la acompaña.

El preamplificador deberá tener suficiente ganancia para ayudar a la sensibilidad del receptor; sin embargo, demasiada ganancia tiene el efecto no deseado de crear mayor intermodulación en presencia de señales fuertes. Adicionalmente, cualquier amplificador tiene restricciones de potencia sin importar su ganancia; así pues, el preamplificador para una celda amplificará las emisiones fuera de banda que lograron pasar a través del

filtro en la celda. Dependiendo de la cantidad de emisiones fuera de la banda permitida por el filtro, se notará un decremento general en la ganancia del sistema.

### **5. Multiacoplador**

Es un aparato que asegura que las señales recibidas sean direccionadas apropiadamente a los receptores indicados. Un multiacoplador, por lo general, tiene muchas etapas de partición (*splitting*), además incluye normalmente al elemento preamplificador como parte de su configuración. Si en un caso el preamplificador no estuviera incluido en su diseño, el multiacoplador solo tendría una combinación de particionadores RF.

La ventaja primordial al utilizar multiacopladores es que estos permiten que la antena receptora esté conectada a varios radios y al hacer esto, se reduce la cantidad de antenas y líneas de alimentación requeridas en una celda. Dependiendo del sistema LMDS escogido, el uso de multiacopladores puede ser irrelevante si solo existe una relación de 1 a 1 entre la antena y el receptor.

### **6. Radio receptor**

El radio receptor, ya sea que este se encuentre ubicado en la estación base o la terminal del cliente, es referido como la parte que convierte la energía RF

en energía utilizable. El radio receptor puede tener desde uno hasta varias vías e recepción conectadas a él. Normalmente hay dos caminos conectados al radio receptor en una celda y solo uno para una unidad móvil.

El esquema básico de un radio receptor se muestra en la siguiente figura 6.

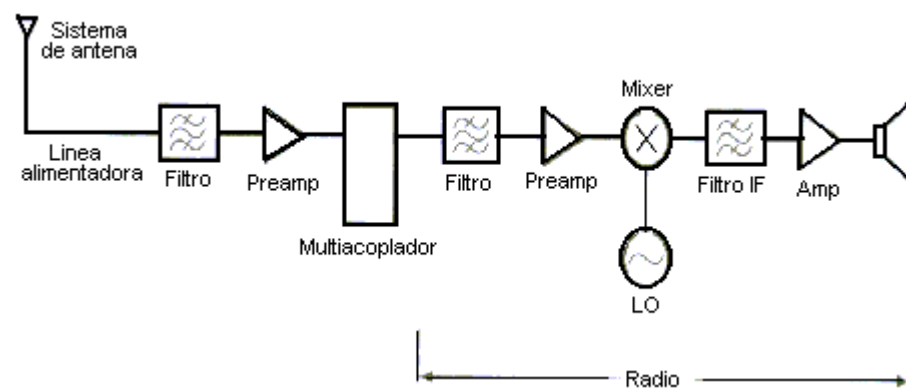


Figura 6. Esquema básico de un radio receptor

El radio receptor incluye las siguientes etapas en su diseño:

#### - *Filtro receptor*

Su primer objetivo es mejorar la selectividad del radio al hacer que el filtro elimine toda la energía no deseada que haya sido generada en el camino de recepción del sistema y haya podido llegar hasta esta etapa. El segundo objetivo, y el más importante, es el de proteger al amplificador en la radio de desensibilidad y sobrecargas debido a emisiones fuera de la banda que

puedan ocurrir. El filtro usualmente puede operar sobre toda la banda espectral de interés y aún más; es por eso, debido a que el filtro receptor es muy amplio, que se instiga a que el filtro en el comienzo de la etapa anterior de la recepción debe ser extremadamente discriminante.

#### **- *Preamplificador***

El amplificador en el radio receptor tiene el propósito de ayudar a establecer el nivel de ruido como también la sensibilidad de la radio misma además de compensar cualquier pérdida experimentada en las etapas anteriores como resultado del mezclador o del filtro.

#### **- *Mezclador (conversión de bajada)***

Generalmente definido como multiplicador, el mezclador receptor tiene la función crítica de convertir la señal RF que llega en una señal IF, idealmente, sin adicionarle ruido o intermodulación en el trayecto. Actualmente existen dos mezcladores utilizados en los radios como parte del proceso de conversión en la recepción.

El proceso en que esto ocurre es el siguiente: La señal RF que llega de las etapas anteriores pasa por el mezclador donde es multiplicada por otra señal que generalmente es la señal del oscilador de frecuencia local; el producto de esto es la señal RF con la frecuencia aumentada y disminuida. En la



mayoría de receptores existen dos procesos de conversión; el primero consiste en reducir la señal inicial RF a un nivel en el que se pueda procesar mejor en el receptor. Esto se logra convirtiendo la señal RF a una frecuencia intermedia, y luego se la mezcla de nuevo para reducir aún más la frecuencia y alcanzar así un segundo nivel IF con el fin de mejorar el rendimiento general del receptor.

### **- IF**

Existen dos criterios básicos a la hora de escoger el nivel IF a usar:

a) La selectividad.- Es probablemente una de las especificaciones más importantes para un receptor. Para obtener suficiente protección contra interferencias entre canales que puedan ocurrir en el receptor se selecciona un IF específico. La selectividad de una sección IF es medida a través de la respuesta total de todas las secciones IF, si existieran varias en el proceso; esta selectividad debe ser suficiente para permitir la amplificación de una señal deseada modulada uniformemente a través de la banda pertinente, a la vez que rechaza todo tipo de energía de más. Esta selectividad se la define usualmente en términos del parámetro  $Q$

b) El rechazo de imagen.- Usado generalmente como especificación del filtro y se lo define como el nivel de dB entre la señal deseada y la potencia de la señal imagen. Se la mide de la siguiente manera:

Rechazo de imagen = Pot recibida - Pot imagen detectada

Pot recibida = Pot deseada = Pot imagen antes de filtrar

Idealmente el rechazo de imagen debe ser infinito, o por lo menos del mismo valor que la potencia recibida, esto significaría que no hay energía de imagen detectada.

#### **- Etapa de información**

Es la etapa del receptor donde la información es extraída de la señal y utilizada de acuerdo a su función, por lo que puede estar conectada a los terminales de un aparato cualquiera o en una etapa de audio si esta lo requiera, donde la señal es demodulada y transformada en información.

#### **2.5.2. Criterio de desempeño de un receptor**

Se denomina criterios de desempeño a los elementos claves que ayudan a determinar si la radio seleccionada para extraer la información contenida en una forma utilizable lo hará de manera exitosa o no. Estos criterios se mencionan a continuación solo como material de referencia para el proceso de selección del equipo de radio para la red del sistema.

**SENSIBILIDAD**

Es la capacidad que tiene un receptor para detectar una señal débil, lo cual es muy importante para un receptor, ya que en orden de que éste sea efectivo la sensibilidad debe ser tal que pueda detectar la mínima señal discernible (MDS) del ruido de fondo. El MDS es una medida de sensibilidad que difieren entre receptores dependiendo del ancho de banda de las señales recibidas. La relación para la sensibilidad de un receptor está definida como:

$$S = 10 \log (KTB) + 10 \log (BW [\text{Hz}]) + NF (\text{dB})$$

Siendo:

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

$T$  = Temperatura en  $K^\circ$

$B$  = BW en Hz

## SELECTIVIDAD

Es una medida de protección que recibe la radio de interferencias de otros canales. El grado de selectividad es mayormente la responsabilidad del sistema de filtros dentro del receptor. La porción IF del receptor permite los mayores beneficios para la selectividad.

## RANGO DINAMICO

El rango dinámico define el número o rango de señales que el receptor puede soportar dentro del desempeño específico del receptor. Hay varias maneras de especificar el rango dinámico del sistema, una de estas maneras es definiendo el campo que hay entre el MDS y el punto de compensación de 1 dB del receptor; esto es llamado frecuentemente como rango dinámico bloqueado.

## DISTORSION

Distorsión significa simplemente las señales no deseadas que afectan en la salida de cualquier equipo RF, siendo uno de los lugares más frecuentes donde ocurre esto a la salida de los amplificadores.

Dependiendo de su gravedad, esta distorsión puede afectar el contenido de la información.

Generalmente la distorsión toma más de una forma, por lo que existen tres tipos comunes de distorsión:

- Distorsión armónica.- ocurre cuando las señales no deseadas de múltiples portadoras son un valor múltiple de la señal inicial.

- Distorsión por cruce.- sucede cuando la señal modulada por amplitud desde un transmisor es transferida a otra portadora a la salida del equipo.

- Distorsión por intermodulación.- es el tipo más común de distorsión y es el producto de la mezcla de varias señales; la cantidad y niveles de distorsión por intermodulación (IMD) son directamente proporcionales a la cantidad de señales que están disponibles para ser mezcladas en cualquier locación.

## RUIDO

El ruido, sea cualquier tipo de ruido, afecta el rendimiento general del sistema. Si el ruido total que experimenta un receptor aumenta, la señal deseada deberá ser incrementada sin que el nivel de ruido aumente, para que así, se asegure el mantenimiento de la relación apropiada. Cabe destacar que existen varios tipos de ruidos que afectan al sistema: térmico, de disparo o de sistema, siendo este último posible reducir con el uso apropiado del planeamiento de frecuencia, control de potencia y el uso adecuado de filtros junto con técnicas de aislamiento. Los valores de ruido térmico y de disparo se juntan en un parámetro llamado figura de ruido.

Esta, es una de las medidas fundamentales en el desempeño de un receptor y debe ser medido en una ubicación predeterminada en el receptor mismo. La

figura de ruido aumenta en cada etapa que pasa, por lo que un punto común donde es medido es en la salida de audio del equipo. Para radios digitales, donde no existe este tipo de salida, se lo mide a la salida de la etapa IF.

## 2.6. Propagación

### 2.6.1. Espectro de radiofrecuencia

El espectro electromagnético se extiende sobre toda la gama de frecuencias utilizadas.

Número de la banda	Rango de frecuencia	Designaciones
2	30-300Hz	ELF (Extreme Low Frequency)
3	0,3-3KHz	VF (Voice Frequency)
4	3-30KHz	VLF (Very Low Frequency)
5	30-300KHz	LF (Low Frequency)
6	0,3-3MHz	MF (Mediium Frequency)
7	3-30MHz	HF (High Frequency)
8	30-300MHz	VHF (Very high Frequency)
9	0,3-3GHz	UHF (Ultra High Frequency)
10	3-30GHz	SHF (Super High Frequency)
11	30-300GHz	EHF (Extreme High Frequency)
12	0,3-3THz	Luz infrarroja
13	3-30THz	Luz infrarroja
14	30-300THz	Luz infrarroja
15	0,3-3PHz	Luz visible
16	3-30PHz	Luz ultravioleta
17	30-300PHz	Rayos X
18	0,3-3EHz	Rayos gamma
19	3-30EHz	Rayos cósmicos

**Tabla I. Bandas de frecuencias utilizadas en las comunicaciones**

### **2.6.2. Propagación de ondas de radio**

Las ondas de radio se pueden propagar de acuerdo a los siguientes modos: propagación por onda terrestre, propagación en línea recta (LOS) y propagación por onda espacial.

#### ***Propagación por línea de vista (LOS)***

La propagación por línea de vista se caracteriza porque, la onda emitida desde la antena transmisora, viaja en forma directa a la antena receptora sin tocar tierra ni la ionosfera.

En este tipo de propagación, las alturas de las antenas y la distancias entre ellas tienen una importancia fundamental en la comunicación.

### **2.6.3. Pérdidas de transmisión**

La atenuación total entre los terminales de salida del transmisor y los terminales de entrada del receptor, se denomina pérdidas de transmisión. La atmósfera y la Tierra sobre las que viaja la señal de radio tienen un efecto modificador en las pérdidas en un trayecto de radio y existe una pérdida característica para una frecuencia y distancia dadas.

Las pérdidas de espacio libre son definidas como las pérdidas que se obtendrían entre dos antenas isotópicas en el espacio libre donde no hay

influencias de la Tierra ni obstrucciones, en otras palabras, donde existe bloqueo, refracción, difracción y absorción.

#### 2.6.4. Atenuación de espacio libre

El modelo de propagación considera que la misma se realiza en un medio que no es dispersivo (se tiene igual velocidad de fase en función de la frecuencia). Otra hipótesis que se considera es que solo el rayo directo o casi directo une las antenas (no hay reflexión ionosférica).

El modelo puede formalizarse considerando a las antenas como isotrópicas emitiendo igual densidad de energía en todas las direcciones. Es imposible captar toda la energía emitida. Si la transmisión se realiza en el espacio libre de obstáculos se tiene una atenuación de espacio libre:

$$A_0 = 32.5 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

Donde

$A_0$  es la atenuación del espacio libre en dB,

$f$  es la frecuencia del enlace en MHz y

$d$  es la longitud en Km.



### 2.6.5. Efecto de la difracción

Según el Principio de Huygens cada punto del espacio que es atravesado por una onda puede ser considerado una fuente puntual de ondas en sí mismo.

Así, la fuente de las ondas puede reemplazarse, desde el punto de vista de quien recibe las ondas, por una serie de infinitas fuentes puntuales extendidas sobre una superficie que separe a fuente de receptor.

Se habla de “Difracción de Fresnel” cuando se satisface que:

$\lambda \ll h^2/d$ , figura 7.

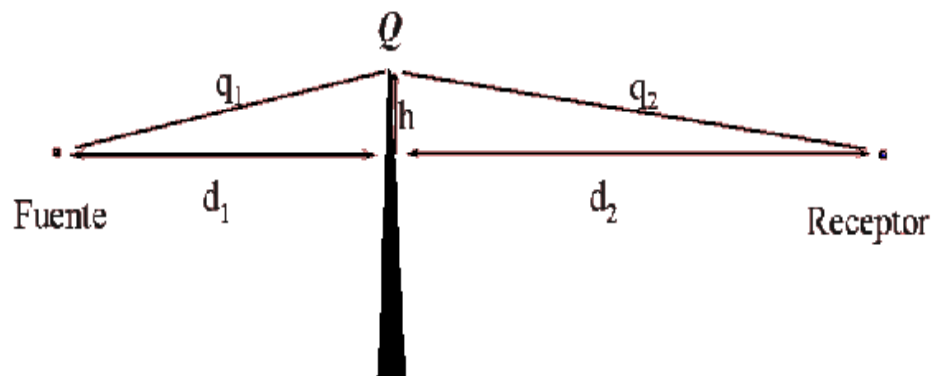


Figura 7. Efecto de la difracción

El valor del ángulo de desfase con la onda directa depende de h.

Los valores de  $h$  para los cuales la diferencia de fase es un múltiplo  $n$  de  $\lambda/2$ , corresponden a un haz que está en contrafase con el directo si  $n$  es impar, y en fase si  $n$  es par. Por esto tales valores son de especial interés:

$$\Delta(h_n) = n \lambda/2$$

Los haces dentro del primer círculo difieren en fase entre sí, a lo más en  $\pi$ . Su composición produce una resultante de fase  $\pi/2$  respecto del haz de referencia.

Las zonas entre estos círculos se denominan Regiones de Fresnel.

Nótese que las regiones pares contienen aportes que se interfieren constructivamente entre sí, al igual que las impares.

No obstante, las regiones pares contribuyen con ondas “en contrafase” respecto de las regiones impares (interferencia destructiva).

Una consecuencia interesante de lo anterior es que si obstruimos las zonas pares, llegará al receptor una onda más intensa que si dejamos el camino completamente despejado.

Se dice que hay difracción cuando se obstruyen zonas de Fresnel, y la difracción será más severa cuanto menor sea el índice  $n$  de las regiones

afectadas. El grado “ensombrecimiento” depende de la frecuencia ( $1/\lambda$ ) y la posición del obstáculo ( $d_1$ ,  $d_2$ )

Una regla empírica es que cuando la primera zona de Fresnel está despejada en al menos un 55% un mayor despeje de zonas de Fresnel tiene poco efecto sobre el enlace.

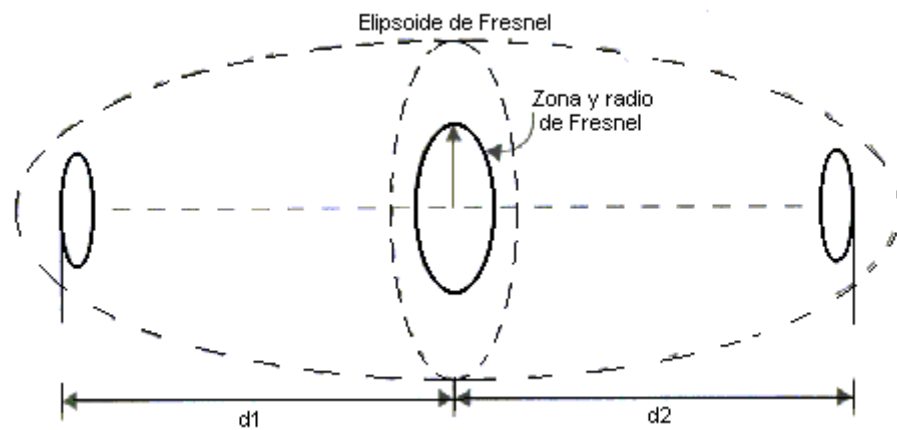


Figura 8. Elipsoide de Fresnel

El efecto queda determinado en el elipsoide de Fresnel de la fig. 8, se denominan zonas de Fresnel a las coronas circulares concéntricas que determinan los rayos difractados en fase y contrafase en forma alternativa. Dentro de este elipsoide de revolución la primera zona de Fresnel está caracterizada por el radio  $r_f$  que se calcula mediante:

$$R_f = 17.3 \sqrt{(d_1 \cdot d_2) / (f(d_1 + d_2))}$$

Donde:

$d_1$  y  $d_2$  son las distancias desde las antenas al punto de obstáculo en Km,

$f$  es la frecuencia en GHz y

$r_f$  es el radio de Fresnel de la primera zona en m.

Las zonas impares tienen una contribución aditiva y las pares sustractivas.

La potencia de recepción es la suma de todas las contribuciones cuya amplitud disminuye con el aumento del orden.

#### **2.6.6. Atenuación por condiciones atmosférica**

Los efectos de precipitaciones (lluvia, niebla, nieve y granizo), gases y partículas sólidas (polvo y arena) debido a cambios en las condiciones atmosféricas, producen una atenuación que se puede considerar plana dentro de la banda del canal.

Los efectos de la lluvia se aprecian a frecuencias superiores a los 5GHz, por lo que estas condiciones atmosféricas se deben tener muy en cuenta en los equipos LMDS. La lluvia produce atenuación por absorción, dispersión de la onda y despolarización de la onda.

Se puede observar que los gases y la niebla solo tienen importancia en frecuencias muy altas. La nieve carece de influencia por debajo de los 50GHz; el granizo, en cambio, es importante por encima de los 2GHz, pero el porcentaje de tiempo de ocurrencia en la ciudad de Guayaquil es tan reducido que no se lo considera.

## **CAPITULO 3.-**

### **SISTEMA MULTIPUNTO DE DISTRIBUCION LOCAL (LMDS)**

#### **3.1. Definición**

El sistema LMDS es la tecnología sin hilos de banda ancha usada para entregar voz, datos, Internet, y los servicios video en los 25-GHz.

Como resultado de las características de la propagación de señales en esta gama de frecuencia, los sistemas de LMDS utilizan el celular como arquitectura de red, aunque los servicios proporcionados son fijos, no móviles.

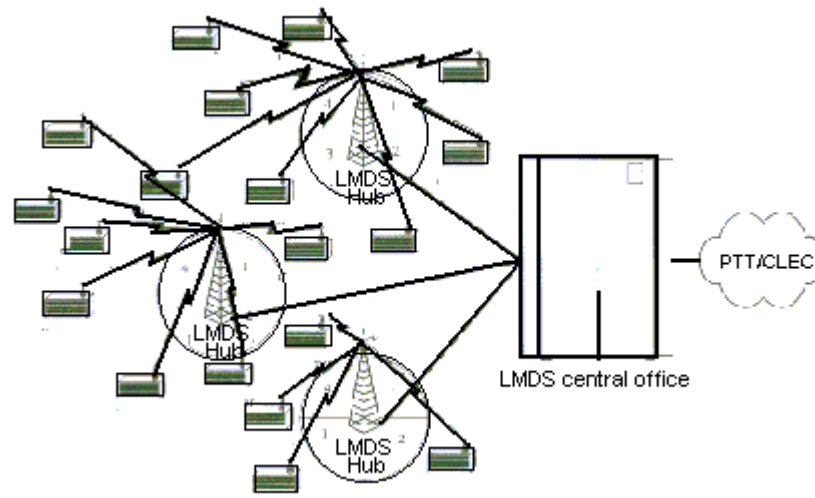


Figura 9. Esquema general LMDS

### 3.2. Arquitectura de la red

Varias arquitecturas de red son posibles con el diseño del sistema LMDS. La mayoría de operadores de sistemas usarán diseños de sistemas inalámbricos, aunque sistemas punto a multipunto y sistemas de distribución de TV pueden ser proveídos por LMDS. Se espera que los servicios LMDS sean una combinación de voz, datos y video.

La arquitectura de una red LMDS consiste básicamente de cuatro partes:

Centro de operaciones de la red (NOC), infraestructura basada en fibra, estación base y CPE.

El NOC contiene el sistema de administración de la red (NMS) que maneja grandes regiones de la red del cliente. Múltiples NOCs pueden ser interconectados.

La estación base es donde se convierte la estructura de fibra en inalámbrica. El equipo incluye la interface para la terminación de la red de fibra, funciones de modulación y demodulación; equipo de transmisión y recepción de microondas, ubicado típicamente en el techo o en una torre.

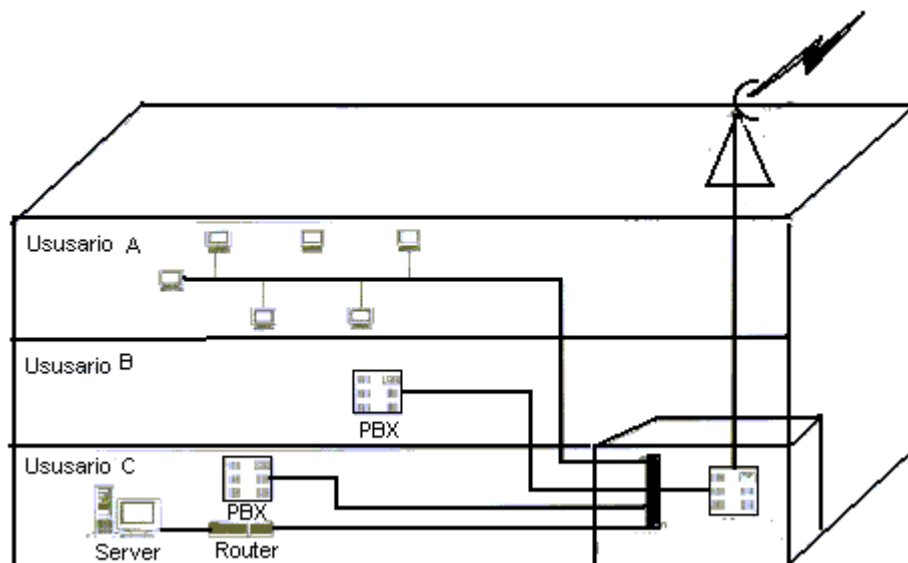


Figura 10. Esquema del equipo receptor LMDS

Tarifación, administración del tráfico, registro y autenticación son desarrolladas centralmente.



Los CPE varían dependiendo del proveedor. Primeramente, toda configuración incluirá equipo de microondas montadas al exterior y un equipo digital interno que proveerá de modulación, demodulación, control y funcionalidad de la interface CPE.

### **3.3. Arquitectura opcional**

El sistema de arquitectura usado será diferente entre operadores; dependiendo del servicio que ofrecen, socios financieros, estrategias de negocios y sistemas legales.

El tipo de arquitectura más común usa un equipo co-situado para la estación base. El equipo interno digital se conecta con la infraestructura de red y el equipo externo de microondas montado en el techo es ubicado en el mismo sitio.

Típicamente la radiofrecuencia (RF) planteada para esta red usa un sistema de microondas de múltiples sectores donde antenas-sector transmisoras y receptoras proveen más de 90, 45, 30, 22.5 o 15° de ancho de haz.

El área circular ideal de cobertura alrededor del sitio de la celda es dividida en 4, 8, 12, 16 o 24 sectores.

Arquitecturas alternativas incluyen conectar la unidad de estación base interna a múltiples sistemas de transmisión y recepción de microondas con conexiones entre la unidad interna de datos (IDU) y la unidad externa de datos (ODU).

Este enfoque consolida el equipo digital, proveyendo un incremento de redundancia, reducción de costos de servicios e incremento del compartimento de fuentes digitales sobre un área extensa.

#### **3.4. Enlaces inalámbricos y opciones de acceso.**

Diseños de sistemas inalámbricos son construidos tomando en cuenta tres metodologías de acceso primario: TDMA, FDMA Y CDMA.

CDMA es una plataforma de tecnología *spread spectrum*, que permite múltiples usuarios ocupar el mismo espacio de radio por canal y espectro de frecuencia al mismo tiempo. CDMA está siendo utilizado para comunicaciones punto a punto, comunicaciones satelitales y comunicaciones celulares.

Con CDMA cada uno de los usuarios o subscriptores utiliza su propio código, el cual es único, diferenciándolos de otros usuarios; CDMA ofrece muchas características particulares incluyendo la capacidad de eliminar interferencia y mejorar la inmunidad contra efectos de multitrayectoria (*multipath*) debido a su ancho de banda. Los beneficios asociados con CDMA son:

- Mayor capacidad del sistema en comparación con sistemas analógicos o TDMA.
- Protección mejorada contra interferencias.
- No requiere un plan de frecuencia entre canales CDMA.
- Hand-offs más suaves.
- Mayor protección contra fraudes debido a mayor encriptación y autenticación.
- Acomodo a nuevas características inalámbricas.

La introducción de CDMA en un sistema AMPS necesitará obligatoriamente el establecimiento de bandas de guardia; esto es, con el fin de asegurar que las interferencias provenientes del sistema AMPS no tenga un impacto negativo en el desempeño del sistema CDMA.

TDMA es una tecnología de transmisión digital, que permite a un número de usuarios acceder a un canal RF sin interferencia, asignando una única ranura de tiempo para cada usuario dentro del canal.

El sistema también provee una variedad de servicios para el usuario final, como voz, datos, fax, servicio de mensajes escritos cortos (SMS) y radiodifusión de mensajes. TDMA ofrece una interface de aire flexible, dotando de una gran capacidad, cobertura y un ilimitado soporte de movilidad y capacidad para manejar las diferentes necesidades de los usuarios.

La transmisión digital tiene algunas ventajas sobre la analógica.

- Economiza ancho de banda.
- Permite una fácil integración con los equipos PCS.
- Mantiene una calidad de transmisión de voz superior en largas distancias.
- Es difícil de decodificar.
- Puede usar una potencia de transmisión baja.
- Tiene receptores y transmisores más pequeños y menos costosos.
- Ofrece privacidad de voz.

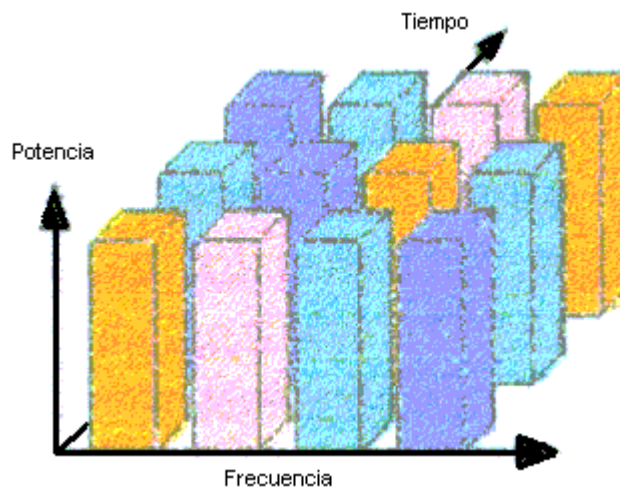


Figura 11. Asignación de frecuencias para TDMA

En la dirección de bajada (downstream), desde la estación base hacia las premisas del cliente, la mayoría de las compañías provee "streams" TDMA tanto a lugares específicos (punto a punto) como a múltiples sitios (punto multipunto).

Con los accesos de enlace TDMA y FDMA, ya sea de subida o bajada, existe aún un número de factores que afectan su uso y eficiencia. Para enlaces FDMA, el ancho de banda asignado al lugar del cliente es, o constante en el tiempo, o variará lentamente en el mismo. Para enlaces TDMA el ancho de banda asignado al cliente para responder a ráfagas de datos desde el lugar del cliente.

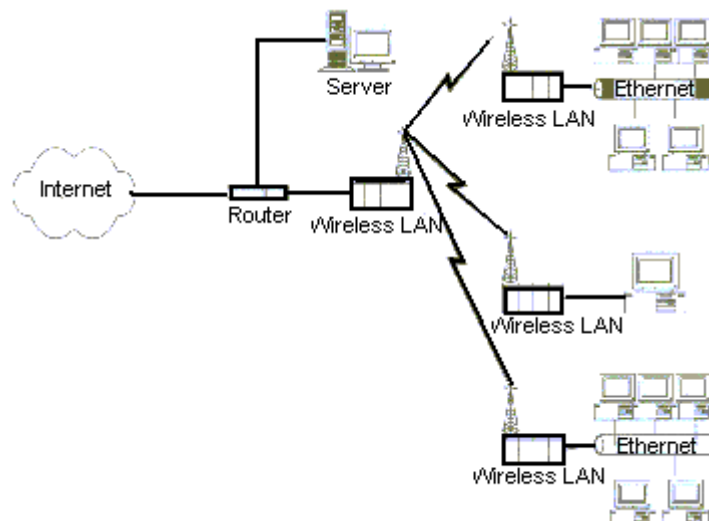


Figura 12. WLAN (Wireless LAN)

### 3.5. Planificación de la red

Al planear las localidades de las celdas para una red LMDS es importante considerar los siguientes atributos:

#### Penetración del suscriptor

El desempeño del sistema de distribución es medido por la penetración del suscriptor, esto significa el porcentaje de suscriptores que tienen suficiente nivel de señal para alcanzar una excelente calidad del servicio.

### **Calidad del servicio (QoS)**

Puede ser afectado por varios factores como obstrucción en la trayectoria de la señal, "overlaps" de celda (15% es normal) y redundancia en el sistema.

### **Presupuesto del enlace**

El presupuesto del enlace es usado para estimar la máxima distancia en la cual un suscriptor puede ser localizado desde una celda y obtener aún un desempeño aceptable del servicio. El presupuesto abarca todas las ganancias y pérdidas del sistema a través de varios tipos de equipos.

### **Selección del tamaño de celda**

El máximo tamaño de celda para el área de servicio es relacionado al nivel de desempeño deseado obtenido del *presupuesto del enlace*. El tamaño de la celda puede variar en un área de cobertura debido al tipo de antena, su altura y pérdida de señal. Estos efectos son generalmente relacionados al tipo de servicio de cobertura de un área como urbana, suburbana o cobertura de baja densidad.

### **Modelo costo-capital**

Es usado para estimar los requerimientos de capital de la red. El modelo requerido abarca: presupuesto de la red, "overlap" de celdas, número de celdas, capacidad de tráfico, número de sectores, costo de capital por celda y costo total de capital.

### **Optimización del reuso de frecuencia**

Las siguientes son técnicas para optimizar el reuso de frecuencia de redes LMDS:

- Minimización de multitrayectoria y polarización cruzada al hacer uso de antenas altamente directivas y posicionándolas lo más alto posible.
- Maximización de la directividad de la celda de la antena al sectorizar el sistema de distribución. El lugar del equipo de microondas de la celda es configurado generalmente en múltiples sectores, antenas, transmisores y receptores.
- Maximización del aislamiento entre sectores adyacentes a través de polarizaciones; polarizaciones verticales y horizontales pueden ser empleadas por todo el sistema en un patrón alternado entre sectores.

### **3.6. Aplicaciones**

Algunos de los servicios y aplicaciones que un sistema LMDS puede proveer a cualquier cliente se mencionan a continuación.

- LAN/WAN
- T1/E1
- Fracción de T1/E1
- Frame Relay

- Telefonía de voz (POTS)
- Video conferencia
- Conectividad de Internet
- Servicios web (e-mail, ISP virtual, etc)
- E-commerce
- Voz sobre IP (VoIP)
- Fax IP
- ISDN
- Telefonía a larga a distancia/internacional

Debe de tomarse en cuenta que los servicios listados no son todos inclusivos de lo que se puede enviar o será enviado. La única excepción que existe es que el servicio ofrecido no puede tener un requerimiento de ancho de banda mayor que el nivel de transporte que pueda soportar.

### **3.7. Tecnologías opcionales**

El apoyo por la eliminación de la red alámbrica local en los países desarrollados, ha producido numerosas tecnologías inalámbricas que operan sobre un amplio rango del espectro electromagnético; desde 400 MHz hasta 40 GHz. Los conceptos iniciales de acceso inalámbrico incluyen envío de servicios de voz, ya sean estos análogos o digitales, utilizando varias técnicas de modulación. Aunque servicios de Internet y otros servicios con necesidad de un gran ancho de banda se



han convertido cada vez en más rentables en nuestra sociedad, aún así los datos seguidos de servicios de voz es lo que viene.

A continuación se describen algunos de los diferentes tipos de plataformas que se ofrecen actualmente en el mercado de las telecomunicaciones y pueden dar cierta competencia al sistema LMDS.

### **3.7.1. WLL (Wireless Local Loop)**

El sistema WLL utiliza muchas plataformas similares (si no idénticas) a las usadas en los sistemas celulares o PCS y es principalmente enfocado en servicios de voz. Sin embargo WLL es diferente en el sentido de aplicación el cual es fija no móvil, por lo que a veces es referido como un sistema LMDS o FWPMP. A decir verdad, WLL puede ser ocasionalmente como LMDS en su colocación y aplicación.

WLL es un sistema que conecta un subscriptor a la compañía telefónica local a través de un radio enlace en vez de cables de cobre. Algunos de los servicios que abarca un sistema WLL incluyen desde teléfonos inalámbricos hasta sistemas celulares fijos.

### **3.7.2. GPRS (General Packet Radio Service)**

EL GPRS es un aumento a los sistemas tipo GSM que permite a un sistema GSM parecerse a una LAN, WAN del subscriptor y por supuesto a Internet. GPRS es un paso importante en la evolución de las redes telefónicas móviles de tercera generación como también en la extensión del rango de aplicaciones de otros servicios basados en IP con velocidades que alcanzan los 115 Kbps. GPRS permite a los operadores ofrecer una cantidad de servicios IP como e-mail y búsqueda de páginas; como la posibilidad de permitir un habilitador de e-commerce desde la perspectiva del cliente.

Para hacer esto posible, un operador de GSM tendrá que implementar en la actualización y aumento de varios sistemas para permitir que esta tecnología sea ofrecida a los clientes.

### **3.7.3. FWPMP (Fixed Wireless Point to Multipoint)**

Esta es la variante europea del sistema LMDS. El despliegue del equipo en conceptos generales es virtualmente idéntico al LMDS con la diferencia de que este sistema consiste de un plan de banda más unificado.

Así como el LMDS, FWPMP consiste de dos elementos principales; la parte física de transporte y la parte de servicios. Usando FWPMP un CLEC (portador de cambio competitivo local) puede desplegar un sistema

inalámbrico sin tener que invertir una fuerte cantidad de dinero en instalar una línea directa de cable para cada cliente.

FWPMP opera en la banda de 26 GHz (24.5-26.5 GHz y 27.5-29.5GHz); también hay la banda de 38GHz (37-39.5GHz) la cual está siendo desplegada actualmente. LMDS en cambio está asociada con las bandas de 24, 28 y 38 GHz.

Otras bandas comúnmente referidas como FWPMP son las de 3 GHz y 10 GHz, que gracias a su baja frecuencia su cobertura es mucho mayor, pero en contra tiene que su ancho de banda es reducido por lo que no les es posible proveer de ciertos servicios. Aún así, debido a su bajo costo, puede atraer a operadores que ofrezcan un servicio no tan exigente.

#### **3.7.4. MMDS MDS IFTS**

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System), MDS (Multipoint Distribution System) y IFTS (Instructional Fixed Service) son bandas hermanas de LMDS que en conjunto forman lo que se denomina como televisión por cable inalámbrica.

Las bandas fueron originalmente relacionadas con la transmisión puesto que estas plataformas solo eran orientadas en una sola dirección (simplex) a

excepción de IFTS, el cual tiene una parte de su banda reservada para comunicación de subida upstream.

El punto más importante de la banda es el tráfico de alta velocidad de Internet, IP, como comparación al video en conjunción con datos; para lograr esto, las bandas han sido puestas para comunicaciones de dos vías (duplex) con la particularidad de que los canales no están emparejados como usualmente sucede en otras bandas.

En nuestro país, el sistema MMDS es aplicado extensamente en lo que se refiere a servicios de televisión pagada, como lo utiliza la empresa UNIVISA.

Aunque las altas frecuencias en que trabajan los sistemas MMDS constituyen una molestia para la propagación de la señal (debido a consideraciones de LOS), la mayor desventaja de esta banda es la coordinación que el operador debe lograr para utilizar una frecuencia en particular en un área geográfica específica. Esta coordinación es muy engañosa debido a la existencia de operadores de MMDS, IFTS y MDS que tienen video como servicio primario ofrecido, por lo que el problema ocurre en el momento de la coordinación de las frecuencias de subida y bajada ya

que los operadores diseñan el sistema como un sistema cuyo propósito es dar un servicio de broadcast.

### 3.7.5. XDSL (X type digital subscriber line)

Es el término usado para describir una tecnología de línea digital del suscriptor de x tipo. Existen numerosas variantes para este tipo de tecnología pero todas tienen la misma premisa: convertir la línea de acceso de pares trenzados en una línea de datos de alta velocidad, permitiendo así mayor cantidad de servicios que pueden ser ofrecidos con la infraestructura de acceso existente (cables de cobre).

La tecnología DSL incluye diferentes tipos de modulación que aumentan la capacidad de transmisión de datos en una red de acceso existente.

DSL	Tasa de datos	Características
HDSL	1.544 Mbps o 2.048 Mbps	Simétrico, 2 pares
HDSL2	1.544 Mbps o 2.048 Mbps	Simétrico, 1 par
SDSL	768 kbps	Simétrico, 1 par
ADSL	1.5-8 Mbps de bajada 16-640 kbps de subida	Asimétrico, 1 par
RDSL	1.5-8 Mbps de bajada 16-640 kbps de subida	Asimétrico, 1 par, pero la tasa de datos cambia debido a la condición de la línea
CDSL	1 Mbps de bajada 16-128 kbps de subida	Asimétrico, 1 par
IDSL	64 kbps	Simétrico, 2 pares

VDSL	13-52 Mbps de bajada 1.5-6 Mbps de subida	Asimétrico, 1 par
------	--	-------------------

**Tabla II. Tipos de DSL**

LMDS por su parte puede tanto competir como utilizar conjuntamente plataformas XDSL dependiendo de su diseño o tipo de servicio. La competencia con XDSL en cambio, se origina de la capacidad de competir contra las diversas plataformas proveedoras de ancho de banda que un operador LMDS ofrece a negocios de pequeño o mediano tamaño. LMDS puede explotar los sistemas XDSL de diversas maneras, ya sea usándolos como un complemento en la estrategia de mercadeo del sistema o cuando revender un servicio XDSL es más efectivo en un área para un servicio total que colocar un equipo de radio; además LMDS puede servir como punto de última milla para una red XDSL.

### **3.8. Diseño del sistema RF para LMDS**

#### **3.8.1. Introducción**

El proceso de diseño de RF usado por un sistema LMDS, involucra varios aspectos del diseño punto a punto de microonda como del diseño de sistemas celular/PCS.

Con solo colocar un sitio, mientras se satisfacen los requerimientos iniciales del sistema para una posible cobertura del usuario o usuarios iniciales, se puede limitar toda la habilidad de salida o capacidad de transporte del sistema.

### **3.8.2. Proceso de diseño**

El diseño RF para un sistema nuevo como el propuesto, consiste en proveer un camino o plan desde el cual recursos limitados, pueden ser efectivamente dirigidos y utilizados.

- Configuración del sistema.
- Alteraciones para configuración del sistema planeado o existente sobre el periodo de diseño.
- Capacidad del sistema en Mbps.
- Ubicación de sitios de radio.
- Requerimientos de infraestructura.
- Plan de frecuencias.
- Fechas de cambio de activación y/o configuración.

Otro aspecto del diseño RF es la cantidad de radios físicos o capacidad de tráfico manejado para cada sitio de celda y capacidad de sector dentro del proceso del diseño. Esto se refiere a los Mbps, con el diseño estando a

Mbps/Km<sup>2</sup>. El proceso presentado puede ser usado por una TDD, FDD o cualquier combinación.

El proceso que debería ser seguido idealmente es el siguiente:

1. Determinar requerimientos técnicos.
2. Establecer o determinar el espectro disponible para uso potencial.
3. Determinar el diseño de *frames* de tiempo.
4. Establecer el requerimiento del mercado.
5. Determinar la metodología de implementación.
6. Hacer las decisiones de tecnología.
7. Definir los tipos de sitio de celda (4 u 8 por sector).
8. Establecer un presupuesto de enlace.
9. Establecer un sistema de rejilla PMP.
10. Definir los requerimientos de cobertura.
11. Definir los requerimientos de capacidad.
12. Completar el diseño del sistema RF.
13. Crear una búsqueda de área.
14. Sitios de aceptación/ Sitios de rechazo.
15. Uso del proceso titulado.
16. Integración.
17. Manejo de operaciones.



### 3.8.3. Metodología

Algunos de los aspectos de la metodología que necesitan ser identificados al inicio del estudio, son los siguientes:

- *Frames* de tiempo para el estudio en el que se van a basar
- Información demográfica del suscriptor
- Servicios ofrecidos, problemas futuros y legado
- Proyección de uso de suscriptor por tipo de servicio
- Migración de conmutación de circuito para predecir el uso de IP
- Criterio de diseño
- Números de sistemas de línea base para construir en el estudio de crecimiento
- Expectativas de construcción del sitio de celdas
- Despliegue de nueva tecnología y *frames* de tiempo
- Reducción de presupuesto
- Fecha esperada para el reporte

Los parámetros básicos de entrada necesarios para el diseño RF del departamento de mercadeo se enlistan a continuación:

- Identificación de áreas de cobertura claves en la red para encender el sistema.
- Crecimiento de suscriptores proyectado para el sistema sobre el frame de tiempo para el estudio.

- Decaimiento demográfico de tipos de usuarios, servicios y su ubicación lógica.
- Combinaciones de tráfico IP y conmutación de circuitos con porcentaje de migración potencial y usuarios existentes.
- Número de usuarios por terminal.
- Planes promocionales especiales sobre el periodo de estudio.
- Areas potenciales de venta para el sistema.

Los items en el criterio de diseño RF necesitan incluir lo siguiente como mínimo:

- Entrada al mercado.
- Espectro RF disponible para el plan RF
- Tipos de servicios que serán proporcionados.
- Requerimientos de cobertura.
- Identificación de sitios de cobertura.
- Tráfico en horas pico; promedio de 10 días por mes (sistema existente), el cual puede involucrar patrones de día y noche.
- Contracción de infraestructura de equipos.
- Consideraciones de nueva tecnología.
- Configuraciones de nuevos sitios de celda.
- Reuso de frecuencia.

- Alteraciones de sistemas que están disponibles para la ingeniería de diseño a utilizar.
- Número de sistemas de línea base.
- Consideraciones de despliegue de sitio de celda.

#### **3.8.4. Decisiones tecnológicas**

La tecnología escogida tendrá mucho que ver en la manera de como será diseñado el sistema.

La elección de realce de ancho de banda será colocada dentro del proceso de diseño. Esto significa que un cliente podrá solicitar un aumento en su ancho de banda dependiendo de lo que el cliente demande.

Otra área a considerar es la base terminal. El terminal puede solo soportar IP, así si la decisión es ofrecer un servicio de POTS como parte del portafolio del producto, presentará un problema potencial. También existe la solución para VoIP usando una plataforma adjunta, pero a menos que sean encontrados los requerimientos de estado latente y salida, entonces la distribución de este servicio podría considerarse.

El punto con la decisión tecnológica hecha, tendrá un impacto en los servicios que puedan ser proveídos por la operadora para el suscriptor así como también en el montaje de la red.

### **3.8.5. Presupuesto de enlace**

El presupuesto de enlace usado para el diseño LMDS es uno de los parámetros claves del proceso de diseño. El presupuesto de enlace determina directamente el rango y patrón de despliegue usado para el sistema LMDS. Pueden haber varios presupuestos de enlace en un sistema, basados en la frecuencia de operación, asignación del espectro, confiabilidad del enlace, componentes físicos para el sistema, diferencias en los métodos o protocolos de modulación de subida y bajada, y problemas de lluvia.

Adicionalmente, el presupuesto de enlace escogido para el sistema necesita considerarse no solo para los problemas físicos definidos, sino también para problemas de marketing. Puesto que los problemas de marketing direccionan la confiabilidad de trayectoria necesaria para el mercado al que está siendo apuntado.

El objetivo detrás del presupuesto de enlace es determinar la extensión de la trayectoria o mejor, el tamaño de los sitios de celdas necesarios para el diseño de la red. Además la confiabilidad del enlace escogido, determinará

el radio del sitio y también la distancia entre las celdas LMDS para consideraciones de cobertura y reuso.

A continuación se muestra un ejemplo de presupuesto de enlace en las Tablas III y IV para referencia.

<b>Enlace de bajada</b>	<b>Unidades</b>
Estación base Tx PA	DBm
PA Backoff	DB
Filtro de Tx	DB
Pérdida combinada	DB
Pérdida en cable y conector	DB
Ganancia de antena	DBi
Angulo de dirección	DB
Margen de desvanecimiento (99.999%)	DB
Sobreposición de celda adyacente	DB
Ganancia de antena receptora del host/Edge	DBi
Figura de ruido (NF + pérdida de cable)	DB
C/N	DB
Sensibilidad del receptor (X BER)	DBm
Ganancia del enlace de bajada	DB

**Tabla III. Ejemplo de presupuesto de enlace de bajada**

<b>Enlace de subida</b>	
Terminal Tx del host/Edge PA	dBm
PA Backoff	dB
Filtro de Tx	dB
Pérdida en cable y conector	dB
Ganancia de antena	dB <sub>i</sub>
Margen de desvanecimiento (99.999%)	dB
Ganancia de antena Rx de estación base	dB <sub>i</sub>
Figura de ruido (NF + pérdida de cable)	dB
C/N	dB
Sensibilidad del receptor (X BER)	dBm
Ganancia del enlace de subida	dB

#### **Tabla IV. Ejemplo de presupuesto de enlace de subida**

Las tablas capturan la mayoría de los componentes de ganancia y pérdidas importantes que comprenden el presupuesto de enlace. La razón para los cálculos de enlace de subida y bajada, es establecer el enlace más débil en el diseño de trayectoria para determinar los requerimientos de radio de celda.

Este presupuesto sirve para acomodar múltiples plataformas de tecnología y pasar sobre un amplio rango de problemas de espectro de radio, el formato de presupuesto de enlace presentado debe ser usado cuando se realiza el diseño de un sistema.

Las siguientes relaciones tienen que mantenerse para el rendimiento óptimo del sistema LMDS:

Ganancia de trayectoria de enlace de bajada  $\geq$  Pérdida de trayectoria para LOS

Ganancia de trayectoria de enlace de subida  $\geq$  Pérdida de trayectoria para LOS

Proveídas para ambas condiciones, la decisión de cual trayectoria es el caso limitante, y necesita ser establecido usando el siguiente método:

Ganancia de trayectoria de enlace de bajada - Ganancia de trayectoria de enlace de subida = X (dB)

Ganancia de trayectoria de enlace de subida - Ganancia de trayectoria de enlace de bajada = Y (dB)

Se puede usar el caso limitante para el diseño, que puede ser la trayectoria de subida o bajada para un sistema desbalanceado. En un sistema balanceado, la elección es irrelevante. Sin embargo, en la relación previa, si Y es menor que X, la trayectoria del enlace de subida, es el caso limitante en el diseño.

### **3.8.6. Cálculo de pérdidas por trayectoria**

Debido a que el sistema LMDS trabaja en frecuencias muy altas, en el rango de los 26,28 y 39 GHz, los cálculos de trayectoria son puramente líneas de vista.

La pérdida de trayectoria en espacio libre, se calcula como sigue:

$$\mathbf{PL \text{ (espacio libre)} = 32.4 + 20\log R + 20\log (f)}$$

Donde R = Km. y f = Mhz

El cálculo siguiente es una comparación de diferencias en rango, basado en la frecuencia de operación que un sistema puede tener

$$\text{Rango de sitio/sector} = \text{anti-log} \left( \frac{(32.4 - 20 \log (f) + \text{ganancia trayectoria})}{20} \right)$$

Adicionalmente, la plataforma de radio particular escogida, tendrá un impacto directo sobre las características de transmisión y recepción.

Para verificar el impacto del ancho de banda, se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Cambio de sensibilidad total (dB)} = 10 \log (\text{ancho de banda A} - \text{ancho de banda B})$$

Si comparamos un canal de 7Mhz (A) y otro de 14 Mhz (B), tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Cambio de sensibilidad total} &= 10 \log (7\text{Mhz}) - 10 \log (14 \text{ Mhz}) \\ &= 68.45 - 71.46 \\ &= -3.01 \text{ dB} \end{aligned}$$

entonces, si se dobla el ancho de banda del receptor, la sensibilidad decrece en 3 dB, resultando en una reducción del rango de alcance del sitio o del terminal host. A mayor ancho de banda, menor sensibilidad.



### 3.8.7. Sitios de celda

El tipo de sitios de celda que será escogido para el diseño de la red tendrá incidencia en el éxito o fracaso del mismo.

El uso de sitios de celda más pequeños es una manera de reducir los costos de licencia para un sistema. Sin embargo, esto es usado para un despliegue inicial del sistema, el número de sitios de celda requeridos para cubrir una misma área geográfica se incrementará.

El número de los diferentes tipos de celda que pueden existir simultáneamente en una red se muestran a continuación:

1. 2 – sector (90,0,90,0 grados por sector)
2. 4 – sector (90 grados por sector)
3. 6 – sector (60 grados por sector)
4. 8 – sector (45 grados por sector)
5. 12 – sector (30 grados por sector)

El primer tipo de configuración que se muestra es el de dos sectores (Fig 13). Este tipo de sitio es el que se utilizará en el momento del despliegue del sistema, ya que es requerido para propósitos de cobertura y capacidad.

Los otros sectores que no están en operación en este tiempo, entrarán en operación con un esfuerzo mínimo.

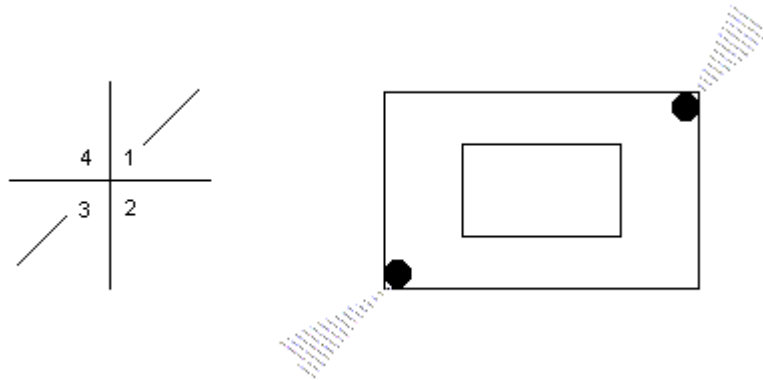


Figura 13. Configuración de dos sectores

El siguiente tipo de sitio presentado es una continuación del anterior, excepto que todos los cuatro sectores están ocupados con equipo de radio.

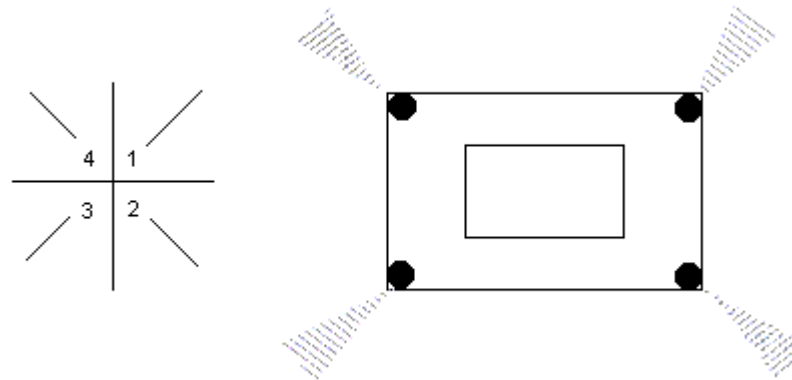


Figura 14. Configuración de 4 sectores

El sitio de tipo 4 – sector, mostrado en la Fig. 14, es del tipo predominante de despliegue de sitios para LMDS por combinación de capacidad y cobertura.

La configuración del siguiente sitio mostrado es el del sitio de 6 – sector (Fig. 15). Este diseño de sitio tiene una mayor densidad, Mbps/Km<sup>2</sup>, que los sistemas 2 – sector o 4 – sector. Es usado en sistemas que tienen frecuencias múltiplos de 3. Las antenas de 60 grados también pueden ser usadas para realzar la capacidad de un sistema LMDS de 4 - sector, reemplazando 3 de los sectores y adjuntando 3 sectores de 60 grados.

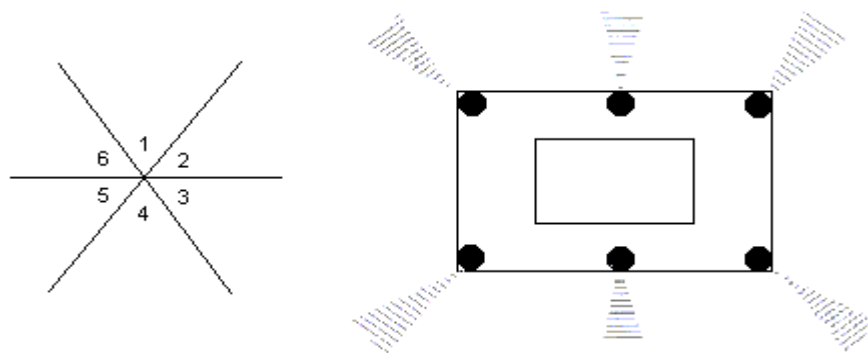


Figura 15. Configuración de 6 sectores

El sitio de la Fig. 16 es un sitio de 8 – sector que es usado cuando la capacidad es esencial para un área dada, y usa sectores de 45 grados. El incremento en sectores hace posible una mayor densidad de Mbps/Km<sup>2</sup>.

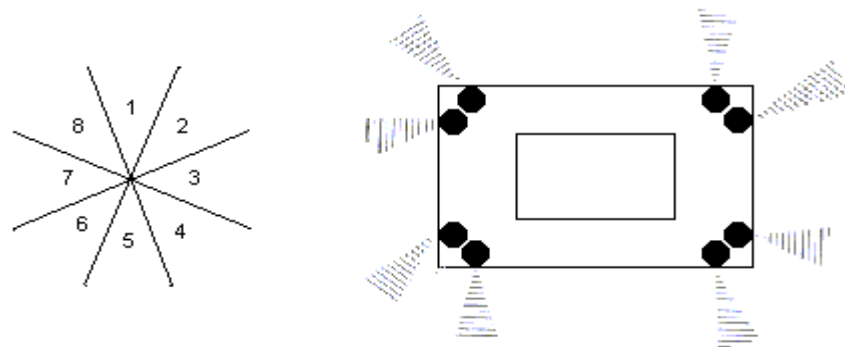


Figura 16. Configuración de 8 sectores

El cuarto ejemplo mostrado en la Fig. 17 de un sitio LMDS, involucra un sitio 12 – sector, el cual usa sectores de 30 grados y provee la mayor densidad de Mbps de salida de las configuraciones LMDS presentadas.

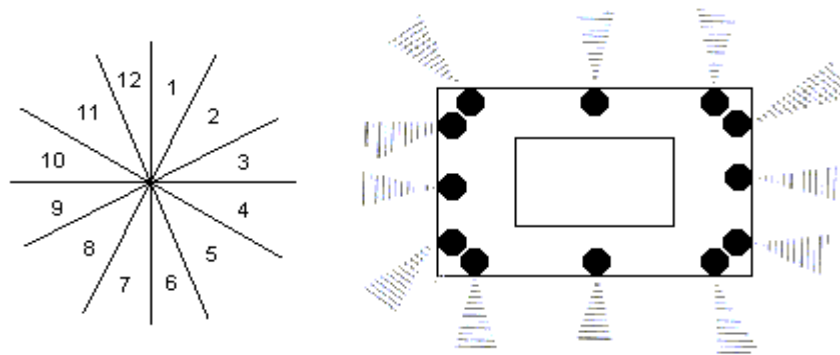


Figura 17. Configuración de 12 sectores

Se debe acotar que combinar diferentes configuraciones de sitios LMDS, especialmente de 90 grados con 60 y/o 45 con 30 y así sucesivamente, tiene implicaciones de diseño asociadas con reuso de frecuencia y necesitan ser

seriamente revisadas y consideradas antes de implementarlas. Esta facilidad y diversidad con que se puede expandir la red LMDS, la ubica como un sistema sumamente flexible, ya que con una mínima inversión se puede llegar a un mayor número de clientes.

### **3.8.8. Requerimientos de cobertura**

Un paso importante en el proceso de diseño del sistema RF es determinar todos los requerimientos de cobertura necesarios para la red. Al inicio del sistema lo que se busca primordialmente es ingresar nuevos usuarios, luego, cuando el sistema ya tenga su tiempo y la cantidad de usuarios se haya elevado, se busca expandir las ventas para áreas designadas.

El servicio LMDS, siendo un servicio fijo, no requiere una red continua para ofrecer el servicio pero se prevé que más de un sitio será desplegado en un mercado para así asegurar una cobertura completa de usuarios potenciales dentro de un área bien definida.

El sistema LMDS permite blancos selectos de usuarios a través de sitios desplegados para cubrir solo a usuarios que realmente necesitarán los servicios proporcionados. Sin embargo, no se puede enganchar a ningún usuario, hasta que exista un nivel de cobertura para sus facilidades, porque

es inalámbrico. Entonces se pueden crear algunos sitios con la esperanza de obtener usuarios.

El análisis de cobertura se deberá hacer usando el siguiente proceso general

***Proceso de identificación de cobertura RF para un sistema nuevo:***

- 1.El mercado y las ventas definen los requerimientos de cobertura.
- 2.Usar el criterio de diseño empleado por la ingeniería RF para determinar como algunos sitios serán necesarios para satisfacer las metas del diseño
- 3.Usar la lista de sitios de celda identificados en el paso anterior, y ordenarlos de acuerdo a la metodología del sistema de punto.

Un vez que el sistema se haya desplegado en el medio y el número de usuarios consecuentemente haya crecido, se establecen otros procesos:

***Proceso de identificación de cobertura RF para el sistema existente:***

- 1.Los requerimientos de coberturas están identificados por lo siguiente:
  - Mercadeo y Ventas
  - Desempeño del sistema: restricciones de capacidad, confiabilidad del enlace, etc.
  - Operaciones: acceso, seguridad
  - Cuidado de usuarios

- Ingeniería RF: capacidad o plan de frecuencias.

2. Generar un plot de propagación del sistema o sub regiones que reflejan el sistema actual.

3. Generar un diagrama de propagación del sistema o sub-regiones que reflejan el sistema actual y los sitios de celdas futuras conocidos bajo construcción.

4. Usando estos diagramas compararlos con las áreas identificadas en el punto 1 para correlacionarlas.

5. Usando el criterio de diseño de la ingeniería RF, determinar como algunos sitios serán necesarios para satisfacer las metas del diseño.

6. Usando esta lista de sitios de celda, ordenarlas de acuerdo a la metodología del sistema de punto.

La metodología de clasificación usa los siguientes campos claves:

- Requerimientos de desempeño del sistema.
- Confiabilidad de capacidad (Mbps)
- Necesidades del mercado y ventas.
- Diseño RF

Además, se ha encontrado que el despliegue de múltiples estaciones base es ventajoso para proveer cobertura para un área determinada debido a la

variabilidad de altura de los edificios en los que los terminales serán instalados. La estación base está típicamente situada en una de las estructuras más altas de un área dada, como en la Fig. 18.

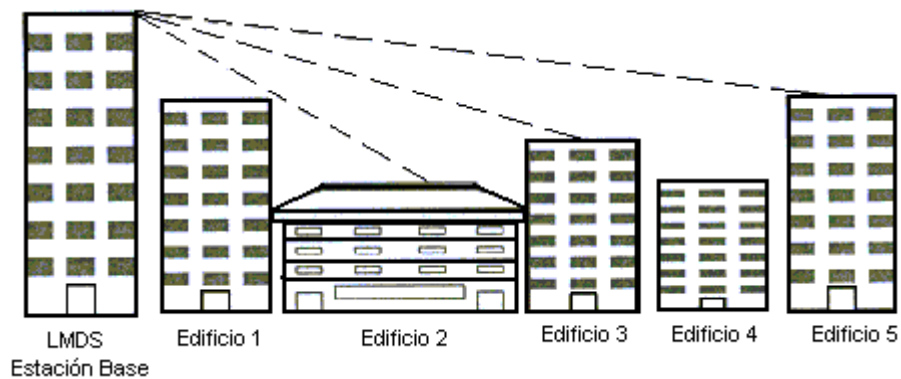


Figura 18. Ubicación típica de la estación base

Como se muestra en la Fig. 19, a pesar de que la línea de vista existe para alguno de los edificios del área deseada, hay otros en los cuales no es alcanzada. La Fig. 20 ilustra los problemas que puede ocurrir con un usuario localizado en un edificio adyacente a la estación base.

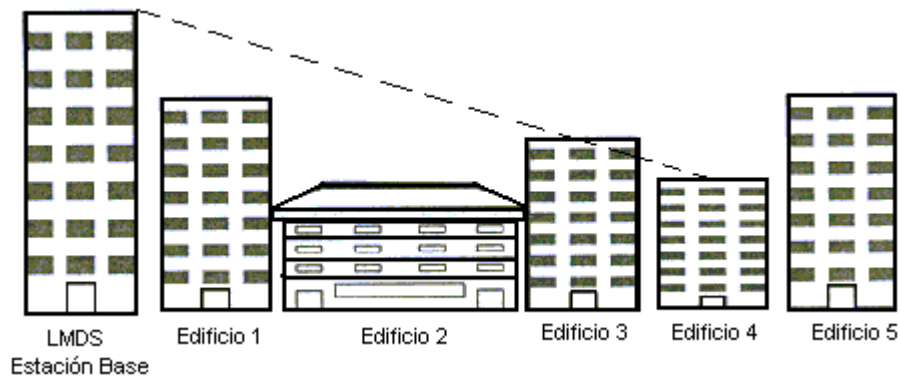




Figura 19. Obstrucción de la línea de vista

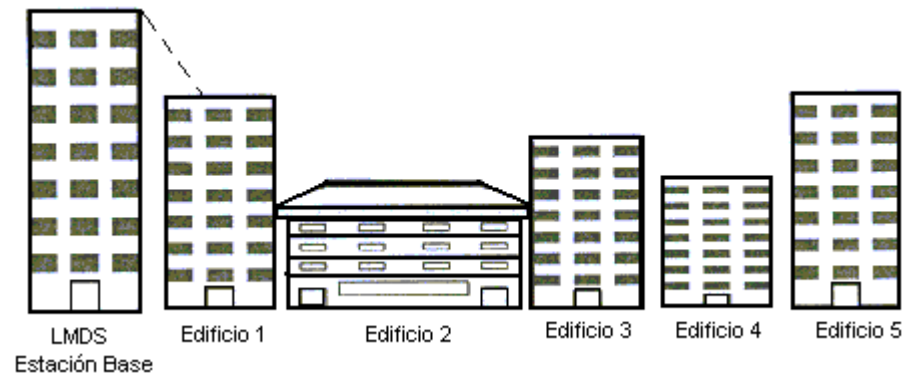


Figura 20. Problema con usuarios adyacentes a la estación base

Entonces, para manejar algunos de estos problemas de instalación, se debe prever que existan suficientes estaciones base para asegurar que la variabilidad de alturas de los edificios sea resuelto y que el potencial de ventas máximo pueda ser alcanzado.

### 3.8.9. Capacidad requerida de sitios de celda

El proceso para determinar los requerimientos de capacidad puede ser usado fácilmente en cualquiera de las plataformas de tecnología LMDS desplegadas.

Se debe determinar cuales sitios y/o sectores usan su capacidad total y requieren algún nivel de alivio. El frame de tiempo para agotamiento de

capacidad es muy importante cuando no se desea desplegar equipos o sitios de celda para aumentar el agotamiento de capacidad.

El alivio de capacidad puede venir de una variedad de opciones, pero las más usadas son las siguientes:

1. Adiciones de radio
2. Nuevos sitios
3. Redireccionar terminales específicos para sitios con exceso de capacidad
4. Alteraciones del formato de modulación
5. Alteraciones del sistema de antenas (divisiones de sector)
6. Ajustes del nivel de servicio
7. Descarga del sistema de microondas punto a punto o facilidades de línea de tierra
8. Cambios de punto de precio de mercado (incrementar el precio del servicio para quitar su atractivo)
9. No vender ningún servicio nuevo o no añadir usuarios a la capacidad del sitio límite.

La fase de planeación de capacidad involucra tomar información del mercado y asignarle un valor de peso del tráfico total del sistema para cada sector. Esto se logra tomando la información útil del mercado que tiene datos pertinentes a la localización actual de los usuarios. El objetivo de esta

información es llegar al valor Mbps/Km<sup>2</sup>, desde el cual las proyecciones de tráfico pueden ser extrapoladas.

Un problema inmediato que aparece es el de tener tráfico de voz y datos usando el mismo canal de transporte de radio. Por lo que es importante convertir todo el tráfico de datos al mismo formato (Mbps).

Para determinar cuanta capacidad es esperada para el sistema se puede usar lo siguiente:

R = espectro de radio disponible

N = números de canales

M = Mbps / canal

S = número nominal de sectores por sitio hub

Z = máximo de radios por sector

E = factor de eficiencia (cuanto se quiere cargar los canales)

C = capacidad requerida para ser distribuida para el área de mercado dada

El número de hubs o estaciones base requerida está determinada por la siguiente ecuación:

$$\text{Sitios Hub} = C / (S \times Z \times M \times E)$$

Este análisis rápido de capacidad no cuenta para los problemas de cobertura y asume que el tráfico está homogéneamente distribuido, y es usado para evaluaciones iniciales cuando el problema es saber cuantos sitios se necesitarán.

Otro análisis, es determinar el impacto de los sitios requeridos si una modulación diferente es usada para el mismo espectro. Si se incrementa los esquemas de modulación, se reducen los sitios requeridos. Sin embargo, con el incremento en la modulación viene una reducción del rango y la sensibilidad, resultando en una huella menos para el sitio.

Debido a que el tráfico es estacionario, la localización de los suscriptores elimina algunas de las variables que son normalmente asociadas con un plan de capacidad de sistema inalámbrico.

Se utiliza un sistema de rejillas, Fig. 21, para un mercado o una porción de mercado, cada una de las rejillas tendrá una cantidad particular de Mbps. Una vez que la cantidad de tráfico o carga transportada es requerida para cada rejilla, este tráfico puede ser asignado a un sitio, sector o porción de sector en particular, dependiendo de la granularidad del sistema de rejillas usado.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Figura 21. Sistema de rejillas

La ventaja de esta aproximación es que, ya que los sitios son fijos, es posible hacer múltiples estudios de sensibilidad al impacto, variando el tipo de servicio ofrecido tendremos habilidad de transportar capacidad del sistema.

Esta distribución es mantenida para cada rejilla a menos que nuevas celdas o sectores sean añadidos al área, entonces se requiere un reajuste de la distribución del tráfico para este periodo de tiempo.

La proyección de tráfico es para determinar la cantidad de Mbps/Km<sup>2</sup> para un área geográfica, lo cual puede ser usado para determinar la cantidad de infraestructura requerida.

El siguiente paso es ubicar las estaciones base sobre el sistema de rejilla, las cuales minimizarán el capital inicial requerido pero también posicionarán el sistema para un crecimiento futuro. Dependiendo del tamaño de la rejilla, una estación base podría cubrir la rejilla entera o una porción de ella.

#### **3.8.10. Planeación de frecuencia**

Como con cualquier plan de frecuencias, el objetivo es maximizar la utilización del espectro. La maximización es alcanzada por medio del reuso del espectro, si es requerida más capacidad o más Mbps/Km<sup>2</sup>.

La planeación de frecuencia es determinada por la plataforma de tecnología escogida. Existen algunas variantes para la planeación de frecuencias, desde la coordinación de un canal de transmisión hasta la manipulación de ciertos canales de radio.

Además de esto está el problema del espectro limitado, sin importar cuanto espectro tiene un operador, siempre hay necesidad de expandirlo para aumentar la capacidad, la flexibilidad del sistema y el desempeño, mientras se reduce el costo.

Bajo condiciones ideales, no habría reuso de frecuencia porque existiría un infinito número de canales para ser usados. Sin embargo, siempre se tienen

restricciones, empezando por la disponibilidad del espectro, el cual puede o no ser canalizado.

Con cualquier sistema LMDS, puede haber dos polarizaciones usadas, la vertical (V) y la horizontal (H). Es importante que la infraestructura usada soporte ambas polarizaciones, para propósitos de expansión de capacidad a un futuro.

Existen muchos planes de frecuencia para sistemas LMDS, pero el uso de polarizaciones duales dentro del mismo sector de una estación base es de vital importancia cuando el sector dividido utiliza otra polarización para una parte de la expansión. Sin embargo, es imperativo que se utilice la misma polarización para un mismo sector por las siguientes razones:

- Para prevenir reconfiguraciones de terminales host cuando se necesita un cambio de frecuencia
- Para proveer tráfico a través del movimiento de terminales host, basado en sus SLAs, para canales seleccionados dentro del mismo sector para mejorar la utilización del ancho de banda
- Para facilitar la expansión de capacidad del sector
- Para reducir gastos de capital y ahorrar requerimientos de volumen

Los planes de reuso de frecuencia deberían direccionar la mayoría de los requerimientos del sistema. Pero los planes de frecuencia no direccionan sistemas de banda dual, porque cada banda debería estar diseñada separadamente con sus propias condiciones de reuso de frecuencia.

Los patrones presentados representan la clasificación general de reuso. Los patrones de reuso pueden trabajar con un host de ancho de banda de canal, además de diferentes tipos de plataformas de tecnología.

- 2 canales – Igual Polarización
- 2 canales – Polarización Dual
- 3 canales – Polarización Dual
- 4 canales – Polarización Dual

#### **Dos canales – Igual Polarización**

La Fig. 22 es un patrón de reuso de frecuencia que debería ser usado cuando se presentan solo 2 canales activos que pueden ser usados para el diseño. Además para este plan no es factible la posibilidad de usar polarizaciones alternas.



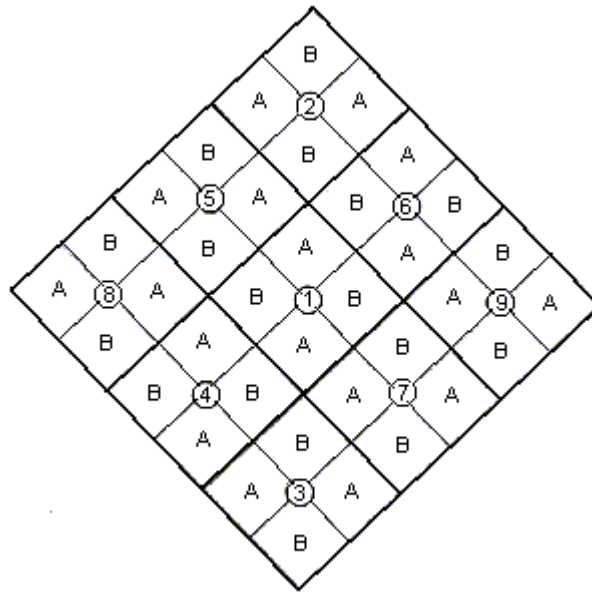


Figura 22. Patrón de reuso para dos canales igual polarización

### **Dos canales – Polarización Dual**

La Fig. 23 es un patrón de reuso de frecuencias que se usa cuando se presentan 2 canales activos que pueden ser usados para el diseño donde el uso de polarización alterna es posible.

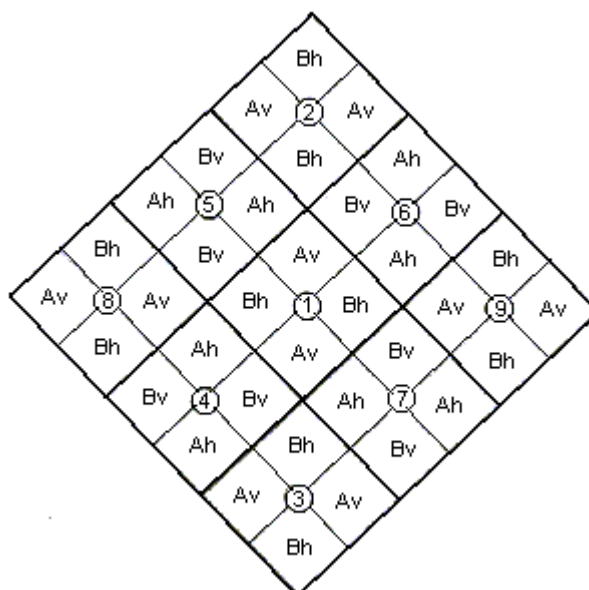


Figura 23. Patrón de reuso para dos canales polarización dual

### Tres canales – Polarización Dual

El plan de frecuencia mostrado en la Fig. 24 puede se usado cuando solo 3 canales están disponibles para el uso del operador del sistema.

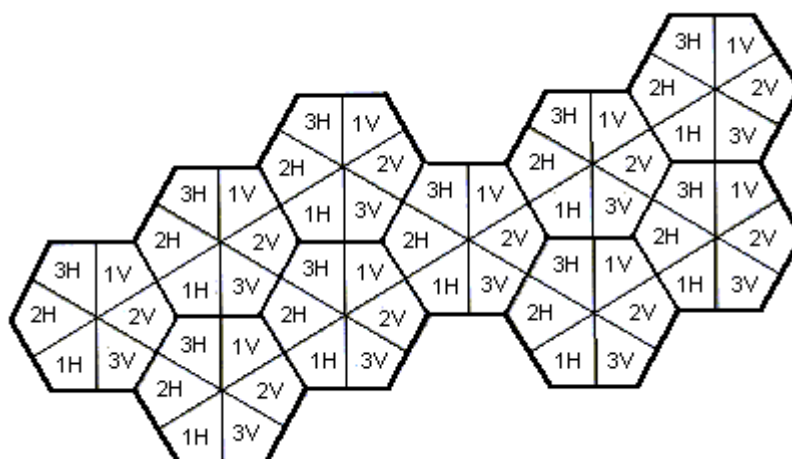


Figura 24. Plan de frecuencia cuando hay 3 canales disponibles

### Cuatro canales – Polarización Dual

La Fig. 25 muestra un patrón de reuso de frecuencia que se usa cuando existen 4 canales para el diseño. En adición a este plan, existe la posibilidad de usar polarizaciones alternas.

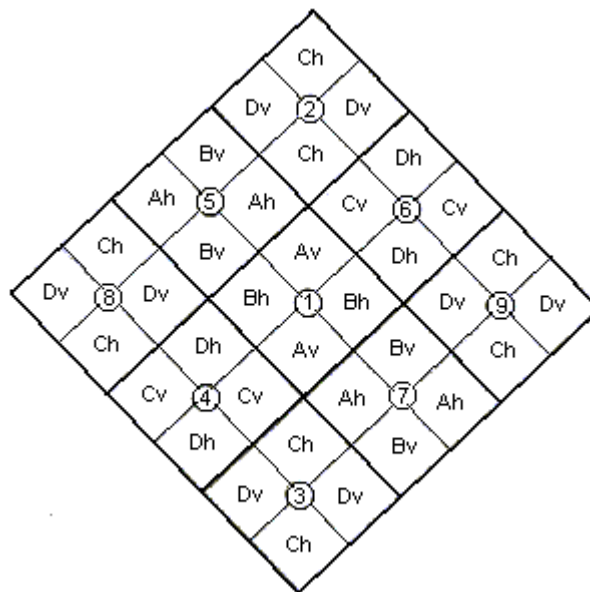


Figura 25. Plan de frecuencia cuando existen 4 canales

## CAPITULO 4.- EQUIPOS DE RADIO PARA EL SISTEMA

### 4.1. DBS Estación Base Digital (Digital Base Station, DBS)



Figura 26. Digital Base Station

La estación base digital LMDS 7390 de Alcatel es la parte digital del sistema LMDS 7390 de Alcatel. Comprende interfaces de red, módems de radio, interfaces IF, así como la inteligencia centralizada de toda la organización celular.

La parte de radio de la estación base, actúa como un Hub transmitiendo servicios de voz y de datos a alta velocidad, sobre una conexión de línea de vista con un rango de 5 Km. (3 millas) (el rango de diámetro de la celda depende de la frecuencia del sistema).

La DBS soporta una completa variedad de interfaces de red. Las cuales aseguran una fácil interconexión a la PSTN, la ISDN, líneas dedicadas, redes de banda ancha y al Internet. Una interface de red OC-3c/STM-1 (ATM 155 Mbps) o T3/E3 (ATM 45/34 Mbps) provee la conexión para el tráfico de datos, mientras interfaces de red 64 x E1/T1 están dedicadas para el tráfico orientado a circuitos.

Para adaptarse a cualquier capacidad, cualquier modo de redundancia o cualquier clase de tráfico, la DBS ha sido diseñada para ofrecer la arquitectura más flexible y modular. La capacidad de la estación base puede ser incrementada por la simple añadidura de módulos plug-in. La capacidad de cada sector también puede ser incrementada, aumentando el número de portadoras así como incrementando la capacidad de cada portadora.

Esta arquitectura está constituida basada en 5 componentes principales:

- Terminación de red ATM (ANT): el equipo ANT provee la interface de red ATM. Puede ser asegurada por un equipo adicional stand-by 1+1 adaptada a

cualquier capacidad (sobre los 155 Mbps). También puede ofrecer cualquier clase de interface requerida (óptica / mono o multimodo / eléctrica).

- Terminación de red TDM (TNT): el equipo TNT provee una capacidad de más de 16 E1 o T1, con la capacidad de preparar circuitos de 64 Kbps originados por algunos Ts. Cuatro equipos TNT pueden ser conectados en el chasis del DBS, y así proveer una capacidad total de 64 E1/T1 por estación base. Estas interfaces E1/T1 existen en la interface física G.703 (disponible en varios valores de impedancia) o a través de la interface de terminación de red ATM, usando simulación de circuito AAL-1.

- Modulador Demodulador ATM (AMD): el MODEM AMD junta las funciones de modulación y demodulación para TDM y TDMA. Un solo AMD comprende un modulador TDM (portadora downstream) y 4 demoduladores de burst (portadoras upstream). Más de 8 AMD, uno por sector, pueden ser conectados en el mismo chasis DBS; la redundancia es asegurada con protección 1+1 o n+1. Algunas canalizaciones están disponibles para configuraciones de software desde 14 hasta 36 Mhz para el enlace de bajada, y desde 4x3.5 o 2x7 Mhz hasta 4x9 Mhz para el enlace de subida. El AMD también maneja el protocolo MAC con una capacidad de 40 Mbps.

- Estación base IF (IBS): el equipo IBS asegura la conversión en frecuencias intermedias de los canales de downstream y upstream. Más de 8 juegos de interfaces de frecuencia intermedia, uno por sector, están disponibles en el mismo

DBS, la redundancia está asegurada con protección 1+1 o n+1. La IBS está adaptada a cualquier banda de frecuencia RF.

- Fuente de poder (PS): dos unidades de poder con protección 1+1 y una 3-fan sub-rack.

La interface de aire ha sido diseñada para asegurar una óptima utilización del espectro. Basada en tecnologías TDMA y ATM, el frame de radio patentado está optimizado para aplicaciones orientados a circuito y orientados a datos. El operador es libre de mezclar voz y datos de acuerdo a las necesidades del usuario. Un eficiente canal FEC (Forward Error Correcting) Reed-Solomon y Convolutacional, es usado para la transmisión casi libre de error ( $BER < 10^{-14}$ ).

El desempeño total es incrementado gracias a la reducción de los retardos. La DBS también es capaz de encriptar los datos, lo cual hace posible la conversación confidencial. La tecnología TDMA permite flexibilidad del sistema, costos compartidos y una poderosa capacidad de asignación dinámica de ancho de banda. Así, existe un MODEM por cada canal de radio, sin contar el número de terminales de usuario que comparten la capacidad de ancho de banda en base al tiempo real.

El administrador de la red (NM) está basado en el Protocolo de Administración de la Red (Network Management Protocol) y está integrado con la plataforma

general de administración, para proporcionar redes carrier-class end-to-end y administración de servicios. Además permite un control total de los elementos de la red: administración de configuración, monitoreo de alarmas, monitoreo de funcionamiento y descarga de software para una actualización fácil y rápida del sistema.

### **Sumario técnico**

#### **IF Interface**

- Tx (DBS al RBS): 130 MHz
- Rx (RBS al DBS): 380 MHz
- Conector: N hembra 50?
- Máxima longitud de cable RBS-DBS: 200 m (218 yardas)
- Upstream channeling: 3.5 to 9 MHz
- Upstream roll-off factor: 25%
- Upstream modulación: QPSK
- Upstream FEC: Reed-Solomon RS (63,53,5)
- Downstream channeling: 14 to 36 MHz
- Downstream roll-off factor: 35%
- Downstream modulación: D-QPSK
- Downstream FEC- Inner code: convolutional, 7/8, k=7
- Interleaver: depth=12
- Outer code: Reed-Solomon RS (204,188,8)



### **Network Interfaces**

- ATM STM-1 (155 Mb/s): optical monomode/multimode
- ATM OC-3 (155 Mb/s): optical monomode/multimode
- ATM n\* E1, n = 16: G.703
- ATM E3 (34 Mb/s): G.703
- ATM T3 (45 Mb/s): G.703
- E1: G.703 (75/120?), AAL-1 circuit emulation
- T1: G.703 (110?), AAL-1 circuit emulation
- Reference Clock: ATM interface, circuit E1/T1 interface, external clock: 2048 MHz (75?)

### **Power/Environment/Mechanical Data**

- Power: 36 to 60 V DC, 960 W (fully loaded, eight Alcatel 7390 RBSs included)
- Environment: -5° to 55° C (29° to 63° F) in operation, ETS 300 019-1-4 class 3.1 E
- EMC standards: ETS 300 385 class B
- Height: 120 cm (48 in.)
- Width: 60 cm (24 in.)
- Depth: 60 cm (24 in.)
- Weight: 135 kg (297 lb.) fully loaded

#### 4.2. RBS Estación Base de Radio de Polarización Cruzada (Cross-Polarized Radio Base Station, X-Pol RBS)



Figura 27. Radio Base Station

El equipo de la estación base de radio, reparte y colecta todo el tráfico desde y hasta los suscriptores, en un área de cobertura dada y es el punto de enlace entre los suscriptores y la red backbone.

Los transmisores y receptores de la X-Pol RBS están instalados con sus respectivas antenas sectoriales y ancho de banda de conversión, así como sus funciones de amplificación de poder. El equipo está totalmente administrado y controlado por el administrador de la red.

La X-Pol RBS está conectada al DBS. Más de 8 X-Pol RBS pueden ser conectados al mismo DBS, el cual provee los módems y el control común. Para incrementar la capacidad de servicio de todo el sistema, la tecnología TDMA está implementada para el enlace de subida, por lo que se crea un ancho de banda compartido en el nivel de interface de aire ATM para el acceso de los suscriptores. Una vez que las señales IF individuales son combinadas, son aplicadas al transmisor o receptor de banda ancha dentro de una celda o sección dada.

En un amplio sistema de red metropolitana, enlazar celdas puede tener un impacto significativo en la implementación y en los costos de operación. El sistema de acceso inalámbrico ATM, permite una amplia variedad de opciones de enlaces interceldas para dirigir óptimamente este punto.

- Fibra ICL: OC-3, OC-12, STM-1, STM-4
- Línea de cable ICL: DS3, nx T1/E1, E3
- Soporte de radios OEM y terminaciones de TDM convencional o radios ATM punto-punto.

### **Sumario técnico**

#### **Alcatel 7390 X-Pol RBS**

- Antenna:

- separate transmit and receive antenna
- transmitter and receiver attached to antenna
- RF output frequency: 24 to 40 GHz
- Azimuth bandwidth: 90° sector coverage
- Elevation bandwidth: approximately 2.5°
- Polarization: vertical or horizontal linear, selected at time of deployment
- Cross-polarization isolation: approximately -24dB, main, side and back lobes (azimuth)
- Peak gain: +21dBi, co-polarized

#### **Alcatel 7390 X-Pol RBS Transmitter**

- Gain: 40dB +/- 3dB
- Maximum output RF power: > 1 W at PldB (shared among RF carriers)
- DC supply: -48 V DC @ 0.75 A maximum
- DC power consumption: < 35 W
- RS-422 management interface: LEMO connector
- IF connector - N(f) type: 50? (the DC input supply is also provided on this connection)
- Reference oscillator output - N(f): 50?, AC coupled
- Weight: 2.2 kg (4.84 lb.), excluding antenna

#### **Base Station Receiver**

- Gain: 40dB +/- 3dB
- RF noise figure: < 6dB at 25° C (77° F)
- Out-of-band rejection: > 30dB at 50 MHz from defined band EDGE
- Input RF compression: -25dBm at P1dB for single carrier operation
- DC supply: -48 V DC @ 0.75 A max
- DC power consumption: < 25 W
- RS-422 management interface: LEMO connector
- IF connector - N(f) type: 50? (note: the DC input supply is also provided on this connection)
- Reference oscillator output N(f): 50?, AC coupled
- Weight: 2.2 kg (4.84 lb.), excluding antenna

#### **Power/Environment/Mechanical Data**

- DC power consumption: <35 W
- Height: 38.10 cm (15 in.)
- Width: 10.16 cm (4 in.)
- Depth: 20.32 cm (8 in.)
- Operating environment: -40° to 50° C (-40° to 122° F), 0% to 100% relative humidity
- Product safety:
- Bellcore GR-2834-Core (basic electrical, mechanical and environmental criteria)

- Bellcore TA-NWT-000487 (electronic equipment cabinets requirements)
- EMC standards: EN 300 385

#### **4.3. XPol RT Terminación de Radio de Polarización Cruzada (X-Pol Radio Termination, X-Pol RT)**



Figura 28. Terminación de Radio

El equipo de premisa de usuario X-Pol RT, comprende transceivers sellados integrados con una antena de 30cm (12 in) de alta ganancia. Estos transceivers proveen portadora múltiple, amplio ancho de banda, baja amplificación de ruido y conversión de bajada, así como portadora simple de conversión de subida y amplificación de poder, y puede ser instalada en una torre o sobre el techo. La antena, de diseño Cassegrain, está desarrolla para licencias Contiguas o de banda

dividida. El equipo de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha de premisa de usuario, puede servir a una amplia variedad de usuarios, como oficinas de negocios de larga y mediana talla, SOHOs, unidades residenciales simple y unidades múltiples de vivienda.

### **Sumario técnico**

#### **Antenna**

- Polarization: vertical or horizontal linear selected at time of deployment
- Cross-polarization isolation: -30dB, mainbeam; -15dB, side and backlobes
- Peak gain: +36dBi, co-polarized
- Beamwidth (3dB): approximately 2.2°
- Sidelobe levels (typical): -15dB, first sidelobe; -40dB, backlobe

#### **Transmitter**

- Maximum RF power: 100 mW at P1dB
- Typical power delivered to transmitted carrier: +17dBm typical
- Gain IF-RF: 35dB +/- 4dB
- Noise figure: 15dB max @ 50° C (122° F), 10dB target
- Output RF compression: +19dBm min @ P1dB @ 50° C (122° F)

#### **Receiver**

- Gain RF-IF: 40dB +/- 4dB (nominal gain allowance, frequency flatness)

- Noise figure: 5dB max @ 50° C (122° F)
- Input RF compression: -26dBm min @ P1dB per single carrier, -39dBm for each carrier with a maximum of 24 carriers

### **Connectors**

- IF connector - F(f) type: 75 $\Omega$  (note: the DC input supply is also provided on this connection)

### **Power/Environment/Mechanical Data**

- DC supply: +22 to +36V DC @ .8 A (25 W) max
- DC supply ripple and noise: full performance is required in the presence of 1.8 V peak to peak ripple and noise (DC - 100 MHz)
- Power consumption: < 15 W
- Diameter: 30 cm (12 in.)
- Operating environment: -40° to 50° C (-40° to 122° F), 0% to 100% relative humidity
- Bellcore GR-2834 Core: (basic electrical, mechanical and environmental criteria)
- Bellcore TA-NWT-000487: (electronic equipment cabinets requirements)
- EMC standards: EN 300 385

#### **4.4. NT Terminación de Red (Network Termination, NT)**





Figura 29. Terminación de Red

La terminación de red es la parte digital del equipo de premisa de usuario, también llamada Estación Terminal (Terminal Station). Esta comprende el MODEM y las interfaces de usuario, dando al usuario final el acceso a una gran variedad de servicios:

- Interface 10/100 BT: interconexión LAN, redes privadas virtuales (VPN), alta velocidad de Internet/Intranet, voz sobre IP (VoIP)
- Interface STM-1/OC-3
- Interface E1/T1 o E1/T1 fraccional: líneas dedicadas, VPN, voz sobre PBX, datos sobre líneas dedicadas
- Disponible en las interfaces físicas G.703 y X.21
- Interface BRI ISDN: voz y datos

- POTS

Los servicios de líneas dedicadas proveen conexión transparente E1/T1 o E1/T1 fraccional entre las estaciones terminales y la estación base. Las aplicaciones típicas son: interconexiones PBX y VPN, servicio de datos en líneas dedicadas para WANs a través de concentradores, FRAD (frame relay), puentes o ruteadores, y backhaul celular/PCS/WLL.

Los servicios conmutados proveen soporte para el tráfico de voz, incluyendo comunicaciones de VoIP e ISDN. Estos servicios son desarrollados en la NT con interfaces como ISDN PRI e ISDN BRI, POTS o IOBT para VoIP.

La interface de red LMDS es una interface concentrada para lograr un intercambio local directamente a través de conexiones E1/T1 múltiples o indirectamente a través de una interface ATM hacia el gateway de VoIP. Aplicaciones típicas son: telefonía IP, voz sobre líneas PBX y líneas ISDN múltiples (2B+D).

La solución LMDS ha sido diseñada especialmente para proporcionar servicio de datos bursty con la habilidad de manejar paquetes de transmisión de alta capacidad. Las tecnologías TDMA y ATM combinadas con la asignación dinámica de recursos de radio hacen posible empaquetar más tráfico a través del espectro de radio disponible. Cada usuario usa solo el ancho de banda requerido,

cuando es necesitado, con habilidades de tasa bursty instantáneo arriba de los varios Mbps.

Aplicaciones típicas son el Internet, intranet e interconexiones LAN-LAN, las cuales son especialmente atractivas a usuarios como teleworking, SOHOs y SMEs.

La solución LMDS contiene una serie de ventajas técnicas sobresalientes:

- Se basa en tecnología TDMA y ATM
- El frame de radio patentado es optimizado para aplicaciones orientadas a circuitos y a datos.
- Capacidad de encriptación de datos para permitir comunicación confidencial
- Reduce los retardos (menos de 8ms para un circuito de 64Kbps, menos de 4ms para un circuito E1/T1)
- Potente mecanismo de asignación dinámica de ancho de banda, basado en una combinación de técnicas de encuesta, contención y transporte de carga pesada
- Capacidad de burst arriba de 10 Mbps
- Eficiente canal FEC Reed-Solomon y Convolutional para transmisiones casi libre de error ( $VER < 10^{-14}$ )

Además posee:

- Control automático de poder, control automático de frecuencia, manejado por la estación base

- Monitoreo de alarmas, manejo de la configuración y monitoreo del funcionamiento
- Descarga de software desde la estación base para una fácil y rápida actualización del sistema.
- Sistema de administración basado en SNMP

### Sumario técnico

DBS	-	Digital	Base	Station
RBS	-	Radio	Base	Station

RT - Radio Termination

### IF Interface

- Tx (DBS to RBS): 400-700 MHz
- Rx (RBS to DBS): 950-2050 MHz
- Connector: N female 75?
- Max. NT-RT cable length: 3 x 70 m (9.8 x 230 ft.)
- Upstream channeling: 3.5 to 9 MHz
- Upstream roll-off factor: 25%
- Upstream modulation: QPSK
- Upstream FEC: Reed-Solomon RS (63,53,5)
- Downstream channeling: 14 to 36 MHz
- Downstream roll-off factor: 35%

- Downstream modulation: D-QPSK
- Downstream FEC- inner code: convolutional, 7/8, k=7
- interleaver: depth=12
- outer code: Reed-Solomon RS(204,188,8)

### **Applications/Interfaces**

#### **Leased line applications**

- E1: G.703 or X.21
- T1: G.703
- N x 64 kb/s (n\*32): G.703/G.704 or X.21 **Data applications**
- Ethernet: Ethernet 10Base-T, Ethernet 100Base-T
- Frame relay STM-1/OC-3: G.703 or X.21 **Voice applications**
- ISDN PRI: G.703
- ISDN BRI: 2B+D, U interface
- VoIP: Ethernet 10Base-T or POTS

#### **Power/Environment/Mechanical Data**

- Power: 80 to 264 V AC, 47 to 63 Hz, 65 W (RT included)
- Environment: -5° to 55° C (29° to 63° F) (in operation), ETS 300 019-1-4 class 3.1 E
- EMC standards: ETS 300 385 class B
- Height: 4.5 cm (1.8 in.)

- Width: 44.5 cm (18 in.)
- Depth: 24.0 cm (9.6 in.)
- Weight: 3 kg (6.6 lb.)
- Installation: 48 cm (19 in.) cabinet, desk, wall fixation

Todos los equipos son altamente escalables y enteramente manejables, como parte de una solución multiservicio. Los productos LMDS 7390 de Alcatel pueden ser rápidamente distribuidos para proveer una solución de acceso efectiva y poderosa para la primera milla, dando un amplio rango de servicios de voz, datos, Internet y video.

#### **4.5. Administrador de la red**

El administrador de la red (NM) de Alcatel es la piedra angular de la familia de Alcatel y los productos de administración de servicios para redes de datos. Una parte integrada de la familia de productos Alcatel, el NM 5620 maneja, los servicios de banda ancha, alámbricos e inalámbricos operando en dispositivos de acceso y transportados sobre switches margen y núcleo. El NM 5620 es una plataforma probada, instalada actualmente en más de 1000 redes alrededor del mundo, incluyendo más de 350 proveedores de servicios. El alcance del NM 5620 está ejemplificado por el amplio rango de servicios ofrecidos por una plataforma, y la habilidad de combinar múltiples tipos de acceso (cobre condicional e

incondicional, fibra, inalámbrico fijo y móvil) sobre un núcleo multiprotocolo (ejemplo IP, MPLS, ATM).

Distinguido por sus capacidades de administración abierta, escalable, confiable, multiacceso, multitecnología, la competencia en la industria, el NM 5620 alienta a los operadores de red a añadir nuevas ofertas de servicio sin el problema de introducir nuevos sistemas de administración y reclutamiento de personal. Estas características también llevan a bajar todos los costos de operación, reducir tiempos de aprovisionamiento y elevar la eficiencia en el uso de la infraestructura de la red.

## **CAPITULO 5.-**

### **CALCULO DEL ENLACE**

#### **5.1. Enlace Previsora – Finansur (2Km)**

A continuación detallamos el cálculo de pérdidas por trayectoria en una distancia de 2Km, esta distancia es considerada como la distancia umbral para sistemas de transmisión LMDS. Los datos iniciales son:

$f = 25 \text{ Ghz}$ ; frecuencia de transmisión,

$G_{TX} = 21 \text{ dBi}$ ; ganancia del equipo de transmisión,

$L_{conduct} = 1 \text{ dB}$ ; pérdidas por conductor (Cable coaxial),

$A_{TX} = 40 \text{ dB}$ ; ganancia de la antena transmisora,

$G_{RX} = 40 \text{ dB}$ ; ganancia del equipo de recepción,

$Sens_{.recep.} = 5 \text{ dB}$ ; sensibilidad del receptor,

$A_{RX} = 36 \text{ dB}$ ; ganancia del la antena receptora.

$r = 2 \text{ Km}$ ; distancia entre los puntos,

$h_{TX} = 120 \text{ m}$ ; altura de la antena transmisora;

$h_{RX} = 80 \text{ m}$ ; altura de la antena receptora



Primero tomamos en cuenta la pérdida aproximada por recorrido en espacio libre (isotrópico). Utilizando la tabla A (ver Glosario) obtenemos un valor de:

$$L_0 = 120 \text{ dB}$$

Calculamos la longitud de onda:

$$C = f \cdot \lambda$$

$$\lambda = 12 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Luego calculamos el parámetro de atenuación del medio, utilizando la siguiente ecuación:

$$F = \sqrt{1 + 2R_V \cos(\phi_V + (2\pi/\lambda)\Delta r) + R_V^2}$$

Donde

$R_V$  es la magnitud del coeficiente de reflexión,

$\phi_V$  es la fase del coeficiente de reflexión, en polarización vertical,

$\Delta r$  es la diferencia de recorrido, y,

$\lambda$  es la longitud de onda

Para hallar estos valores tenemos que calcular el factor de calidad (X) para luego utilizar las Tablas B1 y B2 (ver Glosario).

$X = 18 \sigma / f(\text{MHz})$ , siendo  $\sigma$  la conductividad del terreno.

Para el terreno de Guayaquil se ha establecido una conductividad de  $1 \times 10^{-3}$  mohs, entonces los cálculos son los siguientes:

$$X = 18(1 \times 10^{-3})/25000 = 72 \times 10^{-8}$$

$$\mathbf{X = 72 \times 10^{-8}}$$

Y la diferencia de recorrido es:

$$\Delta r = 2h_1h_2/r = 2(120)(80)/2000 = 9.6 \text{ m}$$

$$\mathbf{\Delta r = 9.6m}$$

$$\text{tg } \gamma = h_1+h_2 \text{ [m]}/r \text{ [Km]} = (120+80)/2 = 100$$

entonces

$$\mathbf{\gamma = 1.56 \text{ rad}}$$

Ahora con los valores del factor de calidad y  $\gamma$  podremos utilizar las tablas, lo cual arroja un  $\phi_v = 3.48 \pi$  rad y un  $R_v = 0.6$ .

Reemplazando en la fórmula:

$$F = \sqrt{1+2(0.6) \text{ Cos } [3.48\pi + (2\pi/12 \times 10^{-3})(9.6)] + (0.6)^2}$$

$$\mathbf{F = 0.87}$$

$$F[\text{dB}] = 20\log(0.87) = -1.2 \text{ dB}$$

$$\mathbf{F[dB] = -1.2 \text{ dB}}$$

$$L[dB] = L_0[dB] + F[dB]$$

$$L = 120 - 1.2 = 118.8 \text{ [dB]}$$

$$\mathbf{L = 118.8 \text{ [dB]}}$$

éste es el valor por espacio libre recorrido. Pero a este valor se le debe de adherir otros tipos de atenuaciones para obtener la atenuación total como es la incidencia de edificaciones en el ambiente, estos valores se obtienen a través de tablas.

De la tabla C (ver Glosario) obtenemos:

$$\mathbf{A_m \text{ urbano} = 40 \text{ dB}}$$

Sin embargo este valor de  $A_m$  está considerado para una altura diferente a la que existe en la ciudad de Guayaquil, por lo cual es necesario hallar la constante de corrección  $K[dB]$ , tanto de la altura del transmisor como del receptor,  $K[dB] = 4 + 6.2 = 10.2\text{dB}$ , de la tabla D.

Entonces podemos calcular las pérdidas totales por atenuación  $L_{total}$ .

$$L_{total} = A_{TX} + A_{RX} - L_0 - F[dB] - A_m + K$$

$$L_{total} = 40 + 36 - 118.8 - 40 + 10.2$$

$$\mathbf{L_{total} = -72.6 \text{ dB}}$$

Esto considerando un espacio libre sin ningún obstáculo, pero tomando en cuenta una obstrucción en la trayectoria, por ejemplo, la sombra que daría el edificio Forum hacia el Finansur, tenemos que considerar la atenuación por difracción de filo de cuchillo, la cual se explica a continuación.

Tomando los siguientes valores:

$d_1$ : distancia desde el transmisor hacia el obstáculo

$d_2$ : distancia desde el obstáculo hacia el receptor

$h$ : altura de obstáculo (tomada desde la línea de vista)

$\lambda$ : longitud de onda

Hallamos el parámetro de difracción adimensional ( $v$ ) (Fresnel – Kirchoff), el cual se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$v = h \sqrt{(2/\lambda)[(d_1+d_2)/(d_1 \cdot d_2)]}$$

Entonces para los siguientes valores:

$$d_1 = 1 \text{ Km}$$

$$d_2 = 600\text{m}$$

$$h = 10\text{m}$$

tenemos que

$$v = 10 \sqrt{(2/0.012)[(1000+600)/(1000 \cdot 600)]}$$

$$v = \mathbf{6.66}$$

Luego recurrimos a la tabla para hallar el valor de atenuación. Entonces la pérdida por difracción de filo de cuchillo se la determina de la siguiente manera:

$$L_{\text{difracción}} = 10 \log (0.225/v)^2$$

$$L_{\text{difracción}} = -29.4 \text{ dB}$$

Esto agregado a la  $L_{\text{total}}$  calculada anteriormente:

$$L_{\text{total}} = -72.6 -29.4$$

$$L_{\text{total}} = \mathbf{-102 \text{ dB}}$$

Cabe notar que este es un cálculo considerando espacio libre, sin embargo, es necesario que sea tomada en cuenta la absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas. Así pues, en un ambiente seco se obtiene, gracias a valores determinísticos, que una onda electromagnética de 25Ghz, sufre una atenuación de cerca de 0.2 dB por cada Kilómetro recorrido. Pero en nuestro caso, ya que la ciudad de Guayaquil tiene un ambiente húmedo, la concentración de vapor de agua es mayor, por lo que este valor de atenuación se eleva a un valor de 0.5 dB por Kilómetro.

## **5.2. Enlace Previsora – Centrum (5Km)**

Ahora haremos el cálculo de pérdidas por trayectoria en una distancia de 5Km, para comprobar cuanto se atenúa la señal al ser la distancia de transmisión más del doble. Los datos iniciales son los mismos a excepción de los siguientes:

$r = 5 \text{ Km}$ ; distancia entre los puntos,

$h_{TX} = 120 \text{ m}$ ; altura de la antena transmisora;

$h_{RX} = 56 \text{ m}$ ; altura de la antena receptora

Utilizando la tabla 1.2. obtenemos un valor de:

**$L_0 = 134 \text{ dB}$**

El parámetro de atenuación del medio sería:

$$F = \sqrt{1 + 2R_v \cos(\phi_v + (2\pi/\lambda)\Delta r) + R_v^2}$$

Entonces el factor de calidad (X) es:

$$X = 18 \sigma / f(\text{MHz})$$

$$X = 18(1 \times 10^{-3}) / 25000 = 72 \times 10^{-8}$$

$$\mathbf{X = 72 \times 10^{-8}}$$

Y la diferencia de recorrido es:

$$\Delta r = 2h_1h_2/r = 2(120)(56)/5000 = 2.68 \text{ m}$$

$$\Delta r = 2.68 \text{ m}$$

$$\text{tg } \gamma = h_1 + h_2 \text{ [m]} / r \text{ [Km]} = (120 + 56) / 5 = 35.2$$

entonces

$$\gamma = 1.54 \text{ rad}$$

Como el factor de calidad es el mismo y  $\gamma$  varia relativamente poco, los valores de  $\phi_v$  y  $R_v$  no varían.

Entonces reemplazando en la fórmula:

$$F = \sqrt{1 + 2(0.6) \text{ Cos } [3.48\pi + (2\pi/12 \times 10^{-3})(2.68)] + (0.6)^2}$$

$$\mathbf{F = 1.58}$$

$$F[\text{dB}] = 20 \log(1.58) = 3.97 \text{ dB}$$

$$\mathbf{F[\text{dB}] = 3.97 \text{ dB}}$$

$$L[\text{dB}] = L_0[\text{dB}] + F[\text{dB}]$$

$$L = 134 + 3.97 = 137.97 \text{ [dB]}$$

$$\mathbf{L = 137.97 [dB]}$$

De la tabla C obtenemos:

$$\mathbf{A_m \text{ urbano} = 60 \text{ dB}}$$

La constante de corrección  $K[\text{dB}] = 4 + 8 = 12 \text{ dB}$ .

Entonces las pérdidas totales por atenuación:

$$L_{total} = A_{TX} + A_{RX} - L_o - F[\text{dB}] - A_m + K$$

$$L_{total} = 40 + 36 - 137.97 - 60 + 12$$

$$\mathbf{L_{total} = -109.97 \text{ dB}}$$

Con esto concluimos que a más del doble de la distancia umbral, la señal se atenúa fuera de los límites aceptables.



## CAPITULO 6.- SIMULACION EN MATLAB

### 6.1. Simulación de una modulación QPSK

El siguiente es el código fuente de la simulación de una modulación y una demodulación QPSK usando el programa MATLAB.

```
% Simulación QPSK
%% Inicialización de variables
Fd = 1 % frecuencia de datos
Fc = 4 % frecuencia de portadora
Fs = 32 % frecuencia de muestreo
N = Fs/Fd
numSimb = 100 % numsimb= número de símbolos a simular
M = 4 % alphabet size
SNRpBit = 14 % relación señal a ruido por bit (dB)
SNR = SNRpBit/log2(M) % relación señal a ruido.

%% Generación aleatoria de símbolos
numPlot = 10 % numero de símbolos a graficar
msg_orig = randsrc(numSimb,1,[0:M-1]) % genera una matriz de 100 x 1
```

% de símbolos aleatorios

figure (1)

```
a=gcf;set(a,'Name','Mensaje original') % da nombre al grafico
```

```
stem([0:numPlot-1], msg_orig(1:numPlot),'bx') % grafica los puntos del mensaje
```

original

```
xlabel('Time')
```

```
ylabel('Amplitude') %etiqueta las coordenadas
```

%% Modulación de la señal

```
msg_tx = dmod(msg_orig, Fc, Fd, Fs, 'psk', M) %modula la senal con las frecuencias
especificadas
```

```
numModPlot = numPlot * Fs
```

```
t = [0:numModPlot-1]/Fs
```

figure (2)

```
b=gcf;set(b,'Name','Senal modulada en fase') % senal modulada en fase
```

```
plot(t, msg_tx(1:length(t)),'b-') %grafica la senal modulada
```

```
axis([ min(t) max(t) -1.5 1.5])
```

```
xlabel('Time'); ylabel('Amplitude')
```

%% Crea señal de ruido gaussiano blanco y se añade a la señal original

```
msg_rx = awgn(msg_tx, SNR, 'measured') %agrega ruido gaussiano blanco
```

figure (3)

```
c=gcf;set(c,'Name','Senal con ruido gaussiano')
```

```
plot(t, msg_rx(1:length(t)),'b-') % grafica la senal con ruido
```

```
axis([ min(t) max(t) -1.5 1.5])
```

```
xlabel('Time')
```

```
ylabel('Amplitude')
```

```

%% Recuperación de la señal en el receptor

msg_gr_demod = ddemod(msg_rx, Fc, Fd, Fs, 'psk', M) %demodula la señal

figure (4)

d=gcf;set(d,'Name','Senal original')

stem([0:numPlot-1], msg_orig(1:numPlot),'bx') %grafica la senal original

hold on

figure (5)

e=gcf;set(e,'Name','Senal demodulada')

stem([0:numPlot-1], msg_gr_demod(1:numPlot),'ro') %grafica la señal recuperada

hold off

axis([ 0 numPlot -0.2 3.2]); xlabel('Time'); ylabel('Amplitude')

%% Comparamos la señal original con la demodulada

[errorBit ratioBit] = biterr(msg_orig, msg_gr_demod) %muestra la diferencia de bit entre señal
original y demodulada

[errorSym ratioSym] = symerr(msg_orig, msg_gr_demod) %muestra la señal diferencias de
símbolos entre señal original y recuperada

```

Corriendo este programa, tenemos los siguientes resultados:

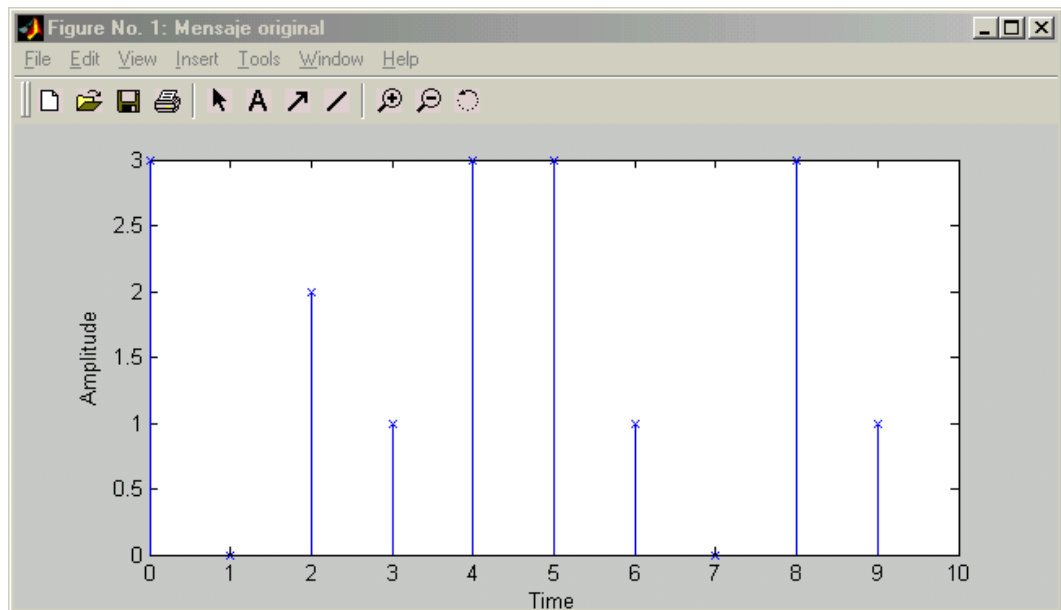


Figura 30. Señal original del programa

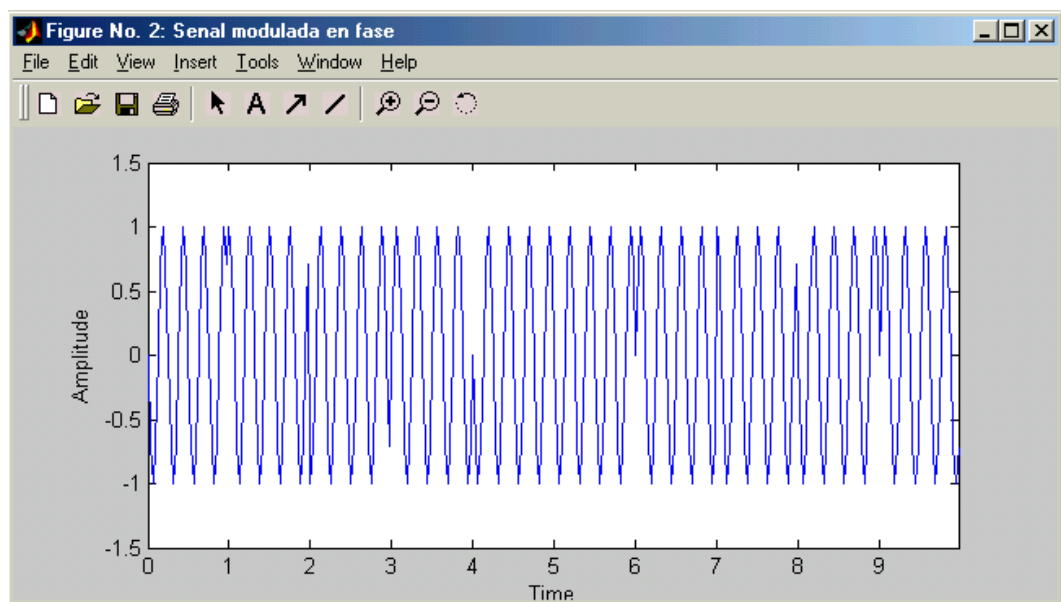


Figura 31. Señal modulada en fase

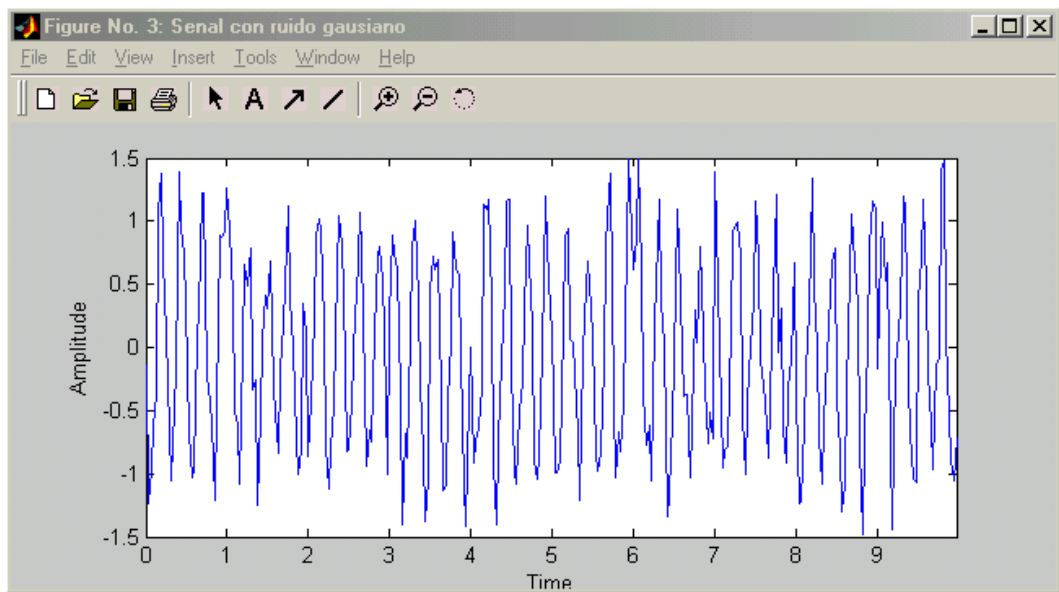


Figura 32. Señal modulada con ruido

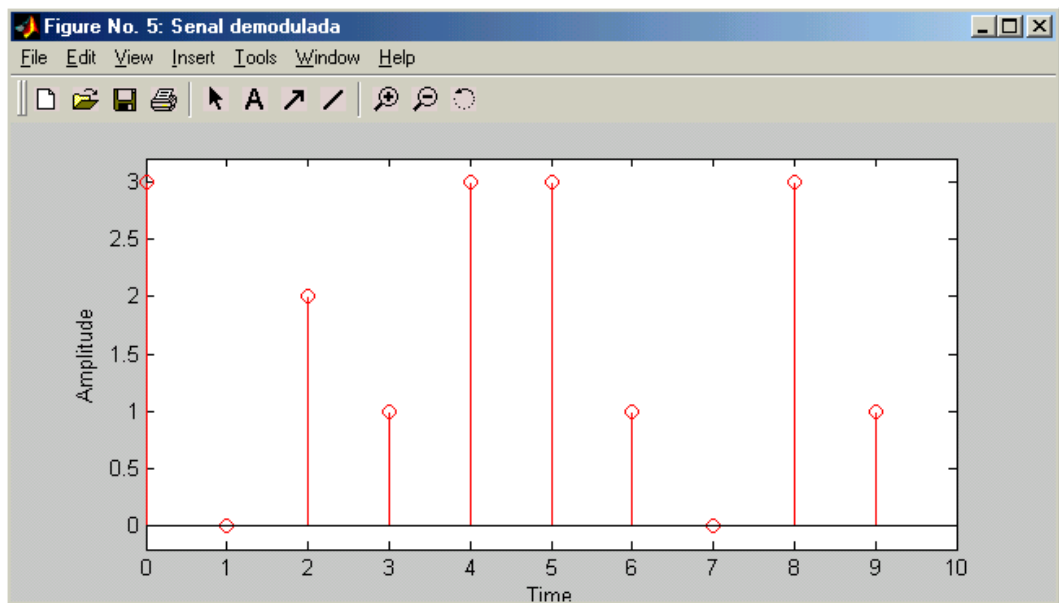


Figura 33. Señal demodulada

errorBit = 0

ratioBit = 0

errorSym = 0

ratioSym = 0

Observando estos resultados, nos damos cuenta que al simular una modulación, transmisión y recepción QPSK, no tenemos pérdidas, por lo que el error de bit y de símbolos es igual a cero. Corriendo el programa varias veces tal vez encontremos algún error, entonces estos valores variarán de acuerdo a la cantidad de errores.

## 6.2. Simulación usando Simulink de un modulador QPSK

El siguiente es el diagrama de un modulador y un demodulador QPSK utilizando Simulink de MATLAB:

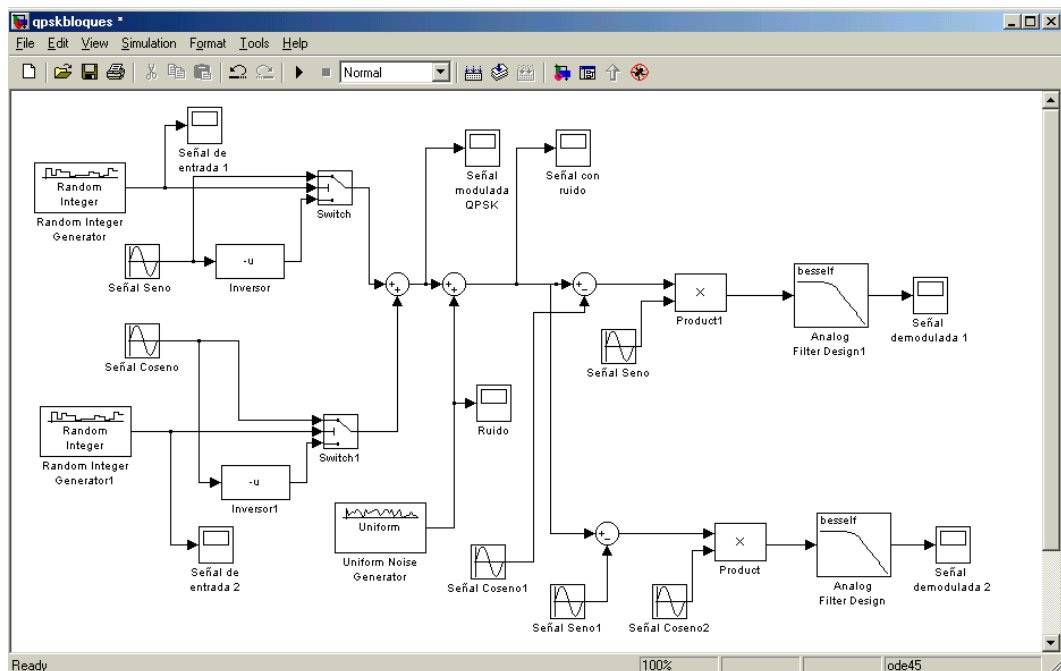


Figura 34. Esquema de una modulador QPSK

Corriendo este diagrama en Simulink, obtenemos los siguientes resultados:

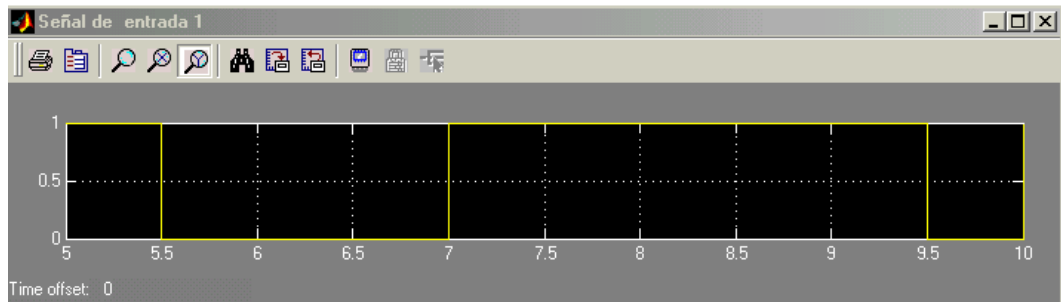


Figura 35. Señal de entrada 1

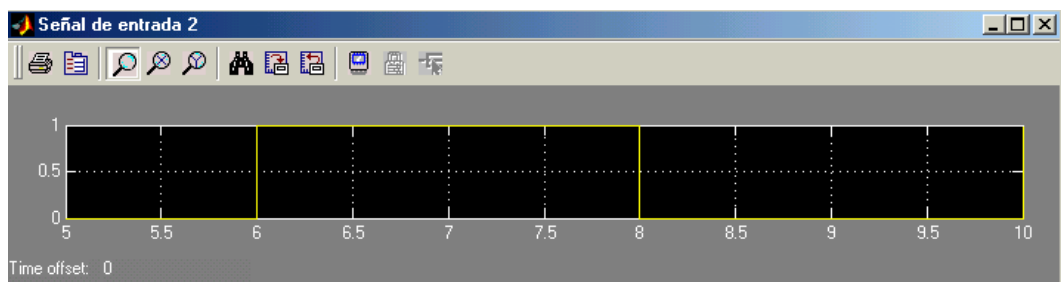


Figura 36. Señal de entrada 2

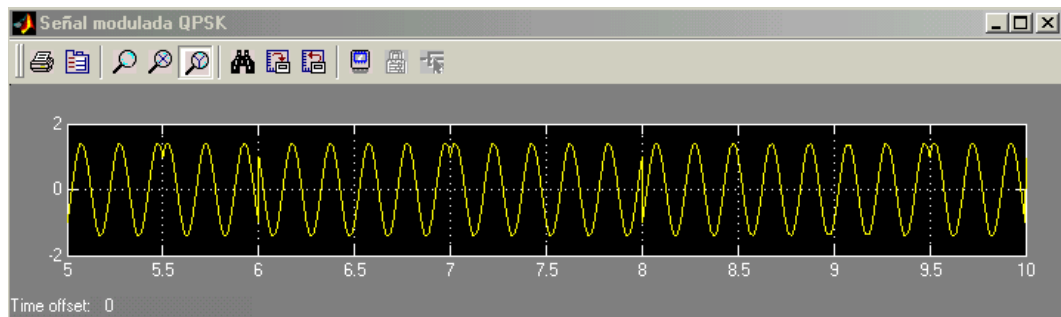


Figura 37. Señal modulada en QPSK

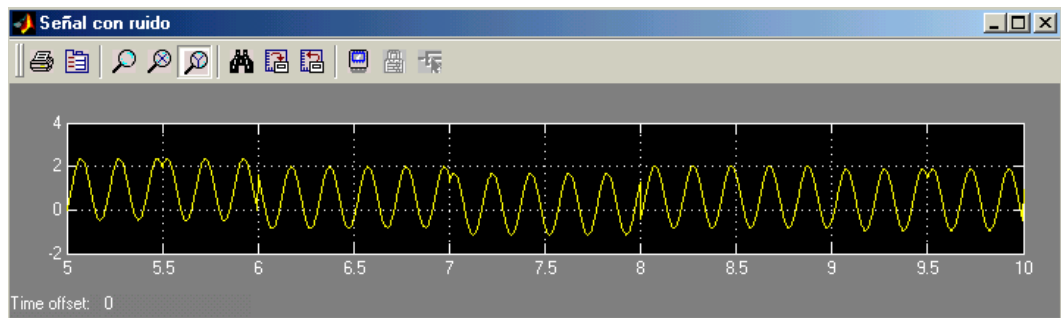


Figura 38. Señal con ruido

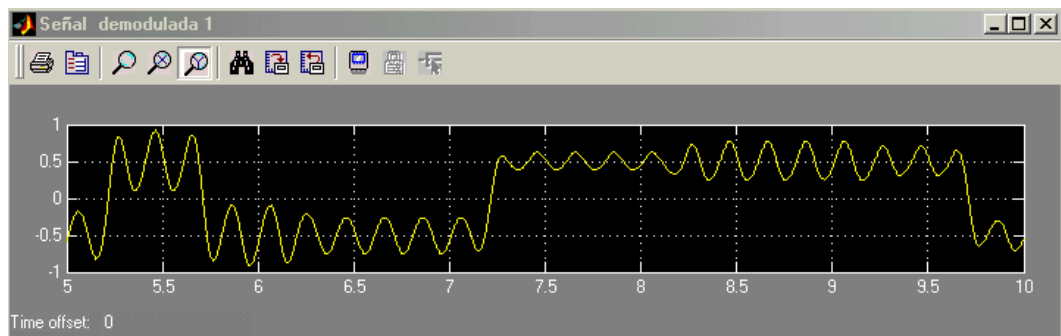


Figura 39. Señal demodulada 1

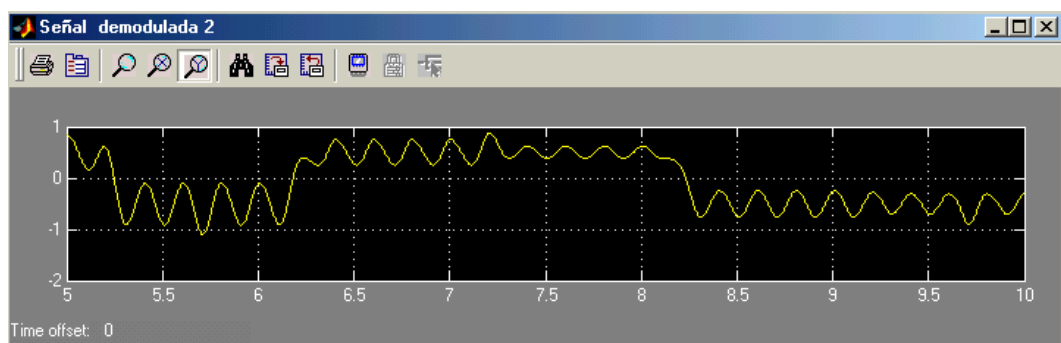


Figura 40. Señal demodulada 2



### 6.3. Simulación usando el Toolbox de Comunicaciones de Simulink

El siguiente es el diagrama de un modulador y un demodulador QPSK utilizando los bloques del toolbox de comunicaciones de MATLAB en Simulink:

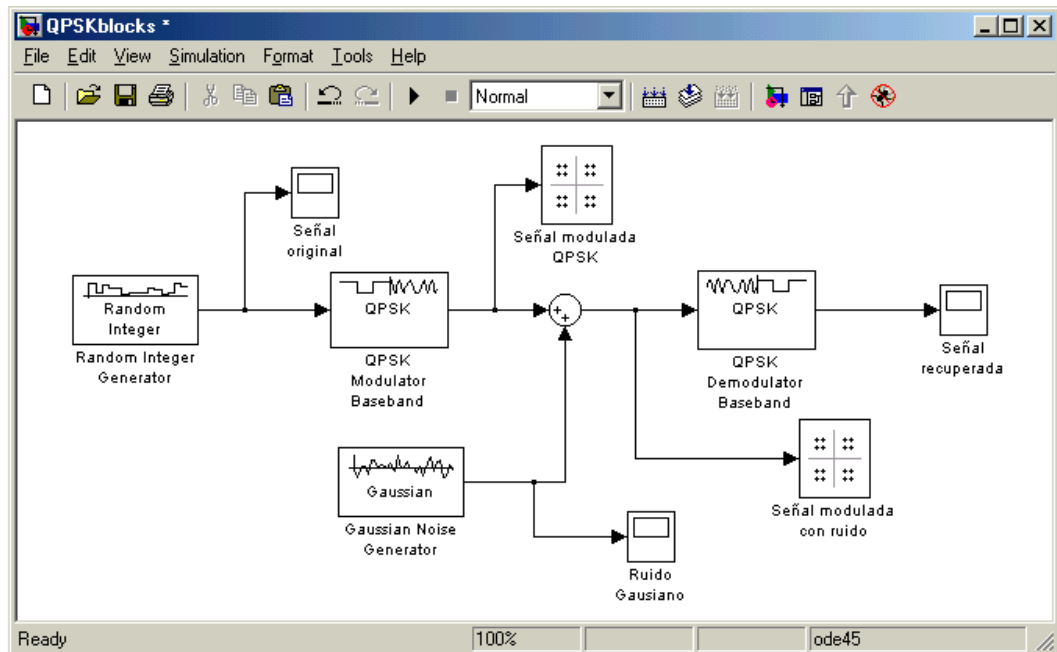


Figura 41. Esquema QPSK usando el toolbox de comunicaciones

El cual, una vez ejecutado, nos muestra los siguientes resultados:

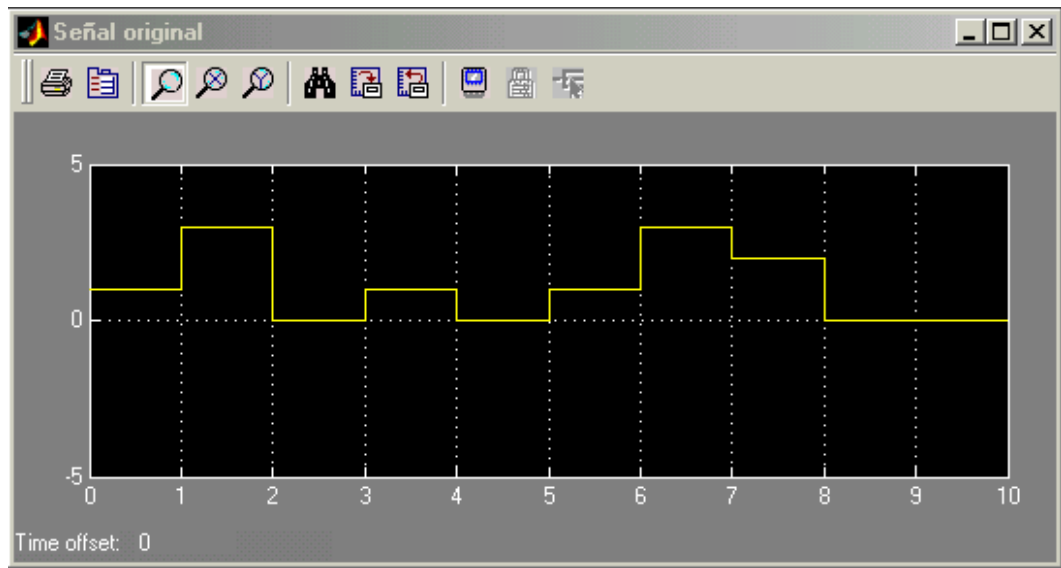


Figura 42. Señal original

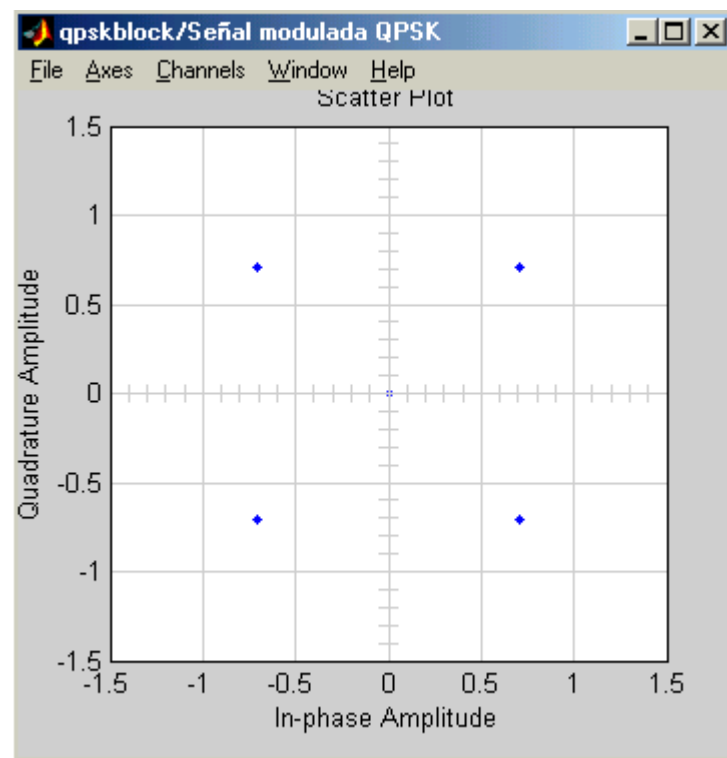


Figura 43. Constelación QPSK

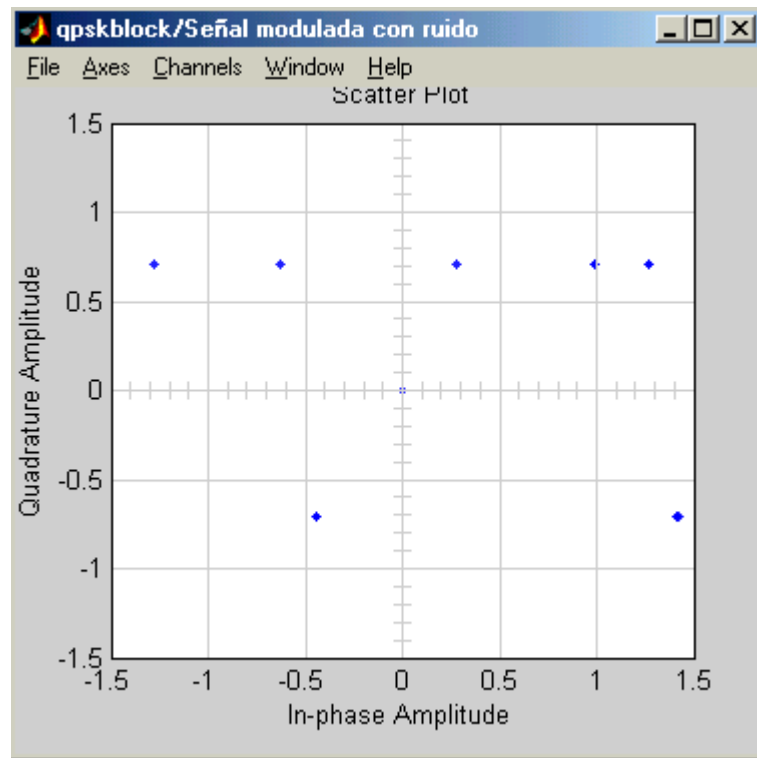


Figura 44. Constelación QPSK con ruido

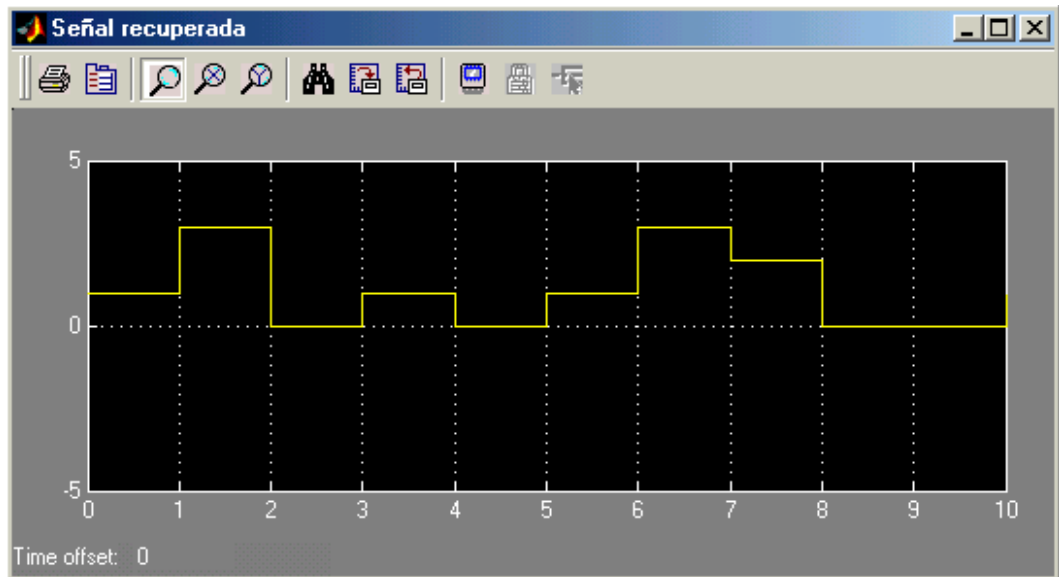


Figura 45. Señal recuperada

## **CAPITULO 7.- ANALISIS ECONOMICO**

### **7.1. Estudio de prefactibilidad**

- **UBICACIÓN DE LA EMPRESA:** Las oficinas quedarían en la ciudad de Guayaquil; Cdma. Kennedy Norte calle Vicente Restrepo Y Av. Francisco de Orellana con nodo central en 9 de Octubre y Malecón esquina (Banco la Previsora)

- **ETAPAS DE DESARROLLO:** De acuerdo a los estudios de mercado, realizados y considerando la forma como está proyectado el desarrollo de la empresa, esta deberá de cumplir dos etapas para lograr un funcionamiento permanente y regularizado.

- a.) La primera etapa consistirá de dos años aproximadamente para cubrir el 40% del mercado existente en la zona de Guayaquil para normalizar la introducción de este nuevo sistema que a continuación se menciona

- b.) La segunda etapa contendrá la expansión de la compañía, la cual dependerá de la experiencia que se haya tomado en el negocio y si su rentabilidad lo permite, con una proyección de un incremento en sus clientes del 20% por ao.

- **VIDA INSTITUCIONAL:** 5 años consecutivos

- **SERVICIO A OFRECERSE EN LA PRIMERA ETAPA:**

- a.) Se ofrecerá servicio de transmisión de datos, ya sean estos Internet, como otro tipo; además de la posibilidad de transmitir video y voz por el mismo.
- b.) Mantenimiento y servicio técnico constante al cliente, por el primer año contando desde que el mismo haya firmado el contrato. Luego de esto cada revisión técnica tendrá un valor específico.
- c.) A iniciarse la empresa, esta dará servicio solo a un sector reducido de la ciudad, específicamente el centro de Guayaquil, hasta un sector de las ciudadelas del norte y una parte del sur.
- d.) Se trabajara exclusivamente con equipos ALCATEL ofreciéndole al cliente el mejor equipo que opera dentro de las especificaciones técnicas de este sistema en especial.

## **- POSIBLES CONSUMIDORES Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA REAL**

- a.) La Cámara de Comercio de Guayaquil nos ha suministrado la información relacionada a las empresas capaces de adquirir este servicio tomando en cuenta las exigentes normas de calidad de las mismas como también su demanda de un ancho de banda mas amplio con capacidad de transmisión alta. Esta información altamente confiable nos permite establecer con bastante aproximación la demanda real de este servicio a nivel local de acuerdo a nuestro estudio realizado. Son 300 las empresas capaces de requerir este servicio por lo que a los 5 aos se prevee la captación de 200 empresas
- b.) La captación del mercado local para este servicio durante los primeros dos años, no deberá ser menor al 40% del consumo real. Por lo que de las 200 empresas calificadas para ser clientes 40 de ellas deberán ser clientes nuestros.

## **- RELACION DEL PROYECTO**

Si bien es cierto, que en la actualidad muchas empresas ofrecen servicios de ultima milla donde los datos son transmitidos vía inalámbrica la empresa a formarse es la única que trabaja en la banda de los 25 GHz donde las interferencias por señales de otras compañías son inexistentes, ofreciendo características propias del sistema. Tal

como se menciona anteriormente la demanda esta centrada a empresas que requieran de un servicio de banda ancha para la transmisión confiable de datos.

## - TABLAS DE ANALISIS ECONOMICO

### HERRAMIENTAS

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Agarraderas	1,08	20	21,6
Aceite	0,48	2	0,96
Desarmadores (juego)	3,99	2	7,98
Llaves (juego)	13,24	2	26,48
Llave francesa	3,33	3	9,99
Alicate	2,92	3	8,76
Estiletes	1,42	3	4,26
Pinzas (juego)	5,59	2	11,18
Metro (8 m.)	10,55	1	10,55
Guantes (pares)	5	3	15
Cinturones de seguridad	15	3	45
Caja de herramientas	6,99	2	13,98
Cautín	9,6	2	19,2
Llaves hexagonales	8,77	2	17,54
Torno	12	1	12
Martillo	1,2	2	2,4
Sierra	4,47	1	4,47
Ponchadora (RJ-11 RJ-45)	6,54	2	13,08
Taladro	31,99	2	63,98
Linterna	5	2	10
Silicon	2	5	10
voltímetro	20	2	40
Regleta	2,5	8	20
Cinta aislante	0,52	10	5,2
Cinta autofundente	4,3	6	25,8
Brocas (diversos tamaños, para metal y cemento)	7,63	1	7,63
Cable electrico (rollo 100 m.)	30	2	60
Cable UTP (caja 100 m)	45	3	135
Amarras plásticas ( funda de 100 unidades)	6,04	4	24,16
Escalera (8 m.)	25,3	1	25,3
<b>TOTAL*</b>			<b>671,5</b>

\* Estos valores fueron facilitados por la Casa del Cable, Juan Marcet y Ferrisariato

**EQUIPOS DE OFICINA PARA LA EMPRESA**

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Computadora (PC)	300	2	600
Servidor (PC-LINUX)	500	1	500
Telefono	20	3	60
Central Telefónica	300	1	300
Radios de voz	300	1	300
Lámpara	10,2	2	20,4
<b>TOTAL*</b>			<b>1780,4</b>

**MATERIALES DE OFICINA**

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Grapadora	3,25	1	3,25
Perforadora	2,5	1	2,5
Reloj	10	1	10
Cesta	5	5	25
<b>TOTAL*</b>			<b>40,75</b>

**SUMINISTROS DE OFICINA**

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Archivadores	2,5	10	25
Papel (paquete de 100 hojas, A4)	10	5	50
Sello	1	3	3
Pluma	0,2	10	2
Cesta	5	5	25
Carpetas	0,15	100	15
Tarjetero	3	1	3
Libreta de direcciones	2,5	1	2,5
Caja de CD grabable	15,25	2	30,5
Caja de Floppy discs	5,2	1	5,2
Tijeras	1,25	1	1,25
Goma	1	1	1
Cinta adhesiva	0,5	3	1,5
Corrector	1,5	1	1,5
<b>TOTAL*</b>			<b>166,45</b>



**MUEBLES Y ENSERES**

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Escritorio	100	4	400
Armario	60	1	60
Sillas	20	7	140
<b>TOTAL</b>			<b>600</b>

**PRECIO DE LOS EQUIPOS ALCATEL A UTILIZARSE****Sistema Alcatel 7390**

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
<i>DBS (Estación Base Digital)*</i>			
Chasis básico	16429	1	16429
Sector 1+1 (escalable)	10961	1	10961
Interfaz ATM-STM1/OC3 (155 Mb) opt mono	9043	1	9043
Tablero acoplador-STM1/OC3 opt mono	3273	1	3273
Tablero de interfaz de red TDM 16Xe1	7559	1	7559
Armario de 22 unidades	1973	1	1973
24-30 GHz Radio transceiver (mono-carrier)	13701	1	13701
Antena de 90° sectorizada de alta ganancia	4943	2	9886
Administrador de la red	11690	1	11690
<i>Total</i>			<b>84515</b>
<i>Terminacion de la red</i>			
2 Ethernet + 2 E1 (G703/X21)	4466	1	4466
1 Ethernet + 1 E1 (G703)	4255	1	4255
1 Ethernet + 4 ISDN	4466	1	4466
2 Ethernet	3873	1	3873
2 Ethernet + 4 E1 (G703)	6079	1	6079
Radio Transceiver de 24-30 GHz con antena de 30 cm. Integrada	4759	1	4759
<i>Total</i>			<b>27898</b>
<b>TOTAL**</b>			<b>112413</b>

\* La cantidad de estos items esta sujeta a variaciones dependiendo de los requerimientos de cada cliente

\*\* Estos valores fueron facilitados por la compañía ALCATEL de España

**COMPAÑÍA DE TELECOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA**  
**BALANCE DE APERTURA**

<b>Activo</b>		<b>Pasivo</b>	
<b>Corriente</b>		<b>Corriente</b>	
Caja	500	Documentos por pagar	200000
Bancos	80000		
Mercaderías	27898	<b>Capital</b>	503984,5
<b>Fijo depreciable</b>			
Equipos de oficina	2000	<b>Total Pasivo+Capital</b>	703984,5
Muebles y enseres	400		
Vehículo	8000		
Equipos operativos	84515		
Herramientas	671,5		
<b>Fijo no depreciable</b>			
Terreno	500000		
<b>Total Activos</b>	703984,5		

**SUELDOS Y SALARIOS DE UN MES DEL AÑO 1**

PUESTO	SUELDOS	PERSONAS CONTRATADAS		CANTIDAD MENSUAL HORA/JORNADA	SUELDO MENSUAL
		por jornada	indefinido		
<i>Personal Administrativo</i>					
Administrador	250		1		250
Contador	40	1		2	80
Recepcionista	100		1		100
<i>Personal Tecnico</i>					
Gerente técnico	250		1		250
Técnicos	200		2		400
Instaladores	50	2		3	300
<i>Personal de Ventas</i>					
Gerente de Ventas	250		1		250
Vendedores	150		3		450
<i>Otro Personal</i>					
Mensajero	80		1		80
<b>TOTAL</b>					<b>2160</b>

**Personal Requerido**

	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
<b>No de empleados</b>						
Tecnicos	0	2	2	2	3	3
Instaladores	0	2	2	4	4	4
Vendedores	0	3	4	4	5	5
Ayudantes	0	0	0	1	2	2
Mensajeros	0	1	1	1	1	1
Recepcionista	0	1	1	1	1	1
<b>Total</b>		25920	26520	28800	31200	31200

**INGRESOS POR ALQUILER DEL SERVICIO**

TIPO DE SERVICIO	PRECIO		DEMANDA/CLIENTES	PROPORCION
	Instalacion	Tarifa Mensual		
Servicio de 1 E1	500	600	95	48%
Servicio de 2 E1	500	1500	85	42%
Servicio de 4 E1	500	3000	20	10%
<b>Total</b>		5100	200	100%

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
<b>Servicio de 1 E1</b>	0	146300	283100	419900	556700	693500
<b>Servicio de 2 E1</b>	0	314500	620500	926500	1232500	1538500
<b>Servicio de 4 E1</b>	0	146000	290000	434000	578000	722000
<b>Total</b>		606800	1193600	1780400	2367200	2954000

### Amortización de la Deuda Bancaria

Mes	Saldo	Capital	Interes	Pago
Jun-04	200000,00			
Jul-04	197921,31	2078,69	3000,00	5078,69
Ago-04	195811,44	2109,87	2968,82	5078,69
Sep-04	193669,92	2141,52	2937,17	5078,69
Oct-04	191496,28	2173,64	2905,05	5078,69
Nov-04	189290,03	2206,25	2872,44	5078,69
Dic-04	187050,69	2239,34	2839,35	5078,69
Ene-05	184777,77	2272,93	2805,76	5078,69
Feb-05	182470,74	2307,02	2771,67	5078,69
Mar-05	180129,11	2341,63	2737,06	5078,69
Abr-05	177752,36	2376,75	2701,94	5078,69
May-05	175339,95	2412,40	2666,29	5078,69
Jun-05	172891,36	2448,59	2630,10	5078,69
Jul-05	170406,04	2485,32	2593,37	5078,69
Ago-05	167883,45	2522,60	2556,09	5078,69
Sep-05	165323,01	2560,44	2518,25	5078,69
Oct-05	162724,16	2598,84	2479,85	5078,69
Nov-05	160086,33	2637,83	2440,86	5078,69
Dic-05	157408,94	2677,39	2401,30	5078,69
Ene-06	154691,38	2717,56	2361,13	5078,69
Feb-06	151933,06	2758,32	2320,37	5078,69
Mar-06	149133,37	2799,69	2279,00	5078,69
Abr-06	146291,68	2841,69	2237,00	5078,69
May-06	143407,37	2884,31	2194,38	5078,69
Jun-06	140479,79	2927,58	2151,11	5078,69
Jul-06	137508,29	2971,49	2107,20	5078,69
Ago-06	134492,23	3016,07	2062,62	5078,69
Sep-06	131430,92	3061,31	2017,38	5078,69
Oct-06	128323,70	3107,23	1971,46	5078,69
Nov-06	125169,86	3153,83	1924,86	5078,69
Dic-06	121968,72	3201,14	1877,55	5078,69
Ene-07	118719,56	3249,16	1829,53	5078,69
Feb-07	115421,66	3297,90	1780,79	5078,69
Mar-07	112074,30	3347,37	1731,32	5078,69
Abr-07	108676,72	3397,58	1681,11	5078,69
May-07	105228,18	3448,54	1630,15	5078,69
Jun-07	101727,92	3500,27	1578,42	5078,69
Jul-07	98175,14	3552,77	1525,92	5078,69
Ago-07	94569,08	3606,06	1472,63	5078,69
Sep-07	90908,93	3660,15	1418,54	5078,69
Oct-07	87193,87	3715,06	1363,63	5078,69

Nov-07	83423,09	3770,78	1307,91	5078,69
Dic-07	79595,75	3827,34	1251,35	5078,69
Ene-08	75710,99	3884,75	1193,94	5078,69
Feb-08	71767,97	3943,03	1135,66	5078,69
Mar-08	67765,80	4002,17	1076,52	5078,69
Abr-08	63703,59	4062,20	1016,49	5078,69
May-08	59580,46	4123,14	955,55	5078,69
Jun-08	55395,47	4184,98	893,71	5078,69
Jul-08	51147,72	4247,76	830,93	5078,69
Ago-08	46836,24	4311,47	767,22	5078,69
Sep-08	42460,10	4376,15	702,54	5078,69
Oct-08	38018,31	4441,79	636,90	5078,69
Nov-08	33509,89	4508,42	570,27	5078,69
Dic-08	28933,85	4576,04	502,65	5078,69
Ene-09	24289,17	4644,68	434,01	5078,69
Feb-09	19574,82	4714,35	364,34	5078,69
Mar-09	14789,75	4785,07	293,62	5078,69
Abr-09	9932,90	4856,84	221,85	5078,69
May-09	5003,21	4929,70	148,99	5078,69
Jun-09	-0,43	5003,64	75,05	5078,69

## ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
Ventas	0	606800	1193600	1780400	2367200	2954000
Costos de ventas	0	1115920	1115920	1115920	1115920	1115920
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>0</b>	<b>-509120</b>	<b>77680</b>	<b>664480</b>	<b>1251280</b>	<b>1838080</b>
Gastos de Administración	0	29120	29720	32000	34400	34400
Gastos de Ventas	0	8520	10224	12268,8	14722,56	17667,072
<b>Utilidad (pérdida) operacional</b>	<b>0</b>	<b>-546760</b>	<b>37736</b>	<b>620211,2</b>	<b>1202157,44</b>	<b>1786012,928</b>
Gastos financieros	0	60944,28	60944,28	60944,28	60944,28	60944,28
<b>Otros Ingresos</b>		32000	64000	128000	256000	512000
Mantenimiento	0	32000	64000	128000	256000	512000
<b>Utilidad (Pérdida) antes participación</b>	<b>0</b>	<b>-514760</b>	<b>101736</b>	<b>748211,2</b>	<b>1458157,44</b>	<b>2298012,928</b>
15% Participación de utilidades	0	-77214	15260,4	112231,68	218723,616	344701,9392
Utilidad (Pérdida) antes imp. Renta	0	-437546	86475,6	635979,52	1239433,824	1953310,989
25% impuesto a la renta	0	-109386,5	21618,9	158994,88	309858,456	488327,7472
<b>Utilidad (Pérdida) Neta</b>	<b>0</b>	<b>-328159,5</b>	<b>64856,7</b>	<b>476984,64</b>	<b>929575,368</b>	<b>1464983,242</b>

## **CAPITULO 8.- ASPECTO LEGAL**

Cuando se trata del aspecto legal en una empresa de telecomunicaciones, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), tiene una serie de normas y reglamentos que deben ser tomados en cuenta al momento de formar la compañía. Por lo que a continuación detallamos los puntos de cada reglamento que tendríamos que seguir para conformar una compañía proveedora de servicios LMDS.

### **8.1. Norma para la implementación y operación de sistema de espectro ensanchado**

#### **8.1.1.Solicitud de aprobación**

Se debe presentar una solicitud para la aprobación correspondiente, dirigida a la SNT, describiendo la configuración del sistema a operar, el número del certificado de homologación del equipo a utilizar, las características del

sistema radiante, las coordenadas geográficas donde se instalarán las estaciones fijas o de base del sistema móvil, localidades a cubrir, y los demás datos consignados en el formulario que para el efecto pondrá a disposición la SNT.

La aprobación de la operación será por un período de 5 años y podrá ser renovado previa solicitud del interesado, dentro de los treinta (30) días anteriores a su vencimiento.

#### **8.1.2.Homologación**

Dado que los equipos utilizados en este proyecto son de gran alcance, la homologación de los mismos se realizará para todos los equipos que tengan una potencia de salida de 100 mW o superior y que no tengan su antena adherida al equipo, ó que la ganancia de la antena sea superior a 1 dBi. La homologación se realizará en base a una copia del certificado de homologación que recibió el fabricante del equipo de parte de la FCC de los Estados Unidos, o de alguna Administración de los países de la Comunidad Europea, de Canadá, Japón y otras que considere en el futuro el CONATEL.

#### **8.1.3.Derechos para la operación de sistemas de espectro ensanchado**

Si obtenemos la aprobación de la SNT para la operación de sistemas de espectro ensanchado, debemos cancelar anualmente por anticipado, por



concepto de uso del espectro radioeléctrico, durante el período de cinco (5) años, el valor en dólares de los Estados Unidos de América, que resulte de la aplicación de la fórmula que se indica a continuación:

$$\mathbf{IA \text{ (Imposición Anual)} = 4 \times K \times B \times NTE \text{ (dólares)}}$$

Donde:

K= Índice de inflación Anual

NA= Número de áreas de operación

NTE= Es el número de estaciones fijas, bases y móviles y estaciones receptoras de triangulación, de acuerdo al sistema.

## **8.2.Reglamento de tarifas de uso de frecuencia**

Las tarifas se aplicarán en todo el territorio nacional por el uso de frecuencias radioeléctricas, con excepción de las frecuencias necesarias para el servicio móvil marítimo que prestará y explotará la Armada Nacional y de las frecuencias necesarias para los medios, sistemas y servicios de radiodifusión y televisión que se rigen por la Ley de Radiodifusión y Televisión las que serán aprobadas por el CONARTEL.

Los valores por tarifas, correspondientes a las frecuencias definidas anteriormente, deberán ser pagados a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en los sitios que ella determine. Se deberán agregar los impuestos determinados por la Ley.

La autorización para el uso de frecuencias radioeléctricas, tendrá un plazo definido, el que no podrá exceder de cinco años, renovable por períodos iguales.

#### **8.2.1. Tarifas por autorización para uso de frecuencias en los servicios fijo y móvil terrestre**

Por cada canal radioeléctrico autorizado para uso exclusivo del usuario, se cobrará el valor equivalente a 1.0 SMVTG. Por renovación del contrato de autorización, cada 5 años se cobrará el valor equivalente a 1.0 SMVTG.

Por cada canal radioeléctrico para sistemas comunales, se cobrará el valor equivalente a 2.5 SMVTG. Por renovación del contrato de autorización, cada cinco años se cobrará el valor equivalente a 2.5 SMVTG.

Por cada canal radio eléctrico para enlaces radioeléctricos se cobrará el valor equivalente a 1 SMVTG. Por renovación del contrato de autorización cada cinco años, se cobrará el valor equivalente a 1 SMVTG.

## **8.2.2. Tarifas por uso de frecuencias para los sistemas de los servicios fijo y móvil terrestre**

### **Sistemas de radiocomunicaciones sobre 30.01 MHz:**

La autorización de frecuencias para los sistemas de radiocomunicaciones que operen sobre 30.01 MHz. se hará para un mínimo de cinco estaciones por frecuencia y por área unitaria de servicio y un horario de veinte y cuatro horas diarias.

Para los sistemas que operen en frecuencias superiores a 30.01 MHz. la tarifa mensual por cada frecuencia para uso exclusivo, se determina multiplicando el valor equivalente a 0.030 SMVTG por el número de canales radioeléctricos asignados por el número de estaciones radioeléctricas transmisoras o receptoras de la frecuencia y por el número de áreas unitarias de servicio.

## **8.3. Reglamento para la homologación de equipos terminales de telecomunicaciones**

### **8.3.1. Del certificado de homologación**

Requisitos.- Para homologar una clase de equipo, el solicitante presentará a la SNT, los siguientes documentos:

Para comercializar equipos o aparatos de telecomunicaciones importados:

- Solicitud.
- Manuales técnicos que aporten la información necesaria para la realización de las pruebas.
- Características de funcionamiento y modo de conexión a la red.
- Un certificado de características técnicas emitido por un laboratorio reconocido por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones de que los equipos o aparatos cuya marca y modelo se quiere importar, cumplen las especificaciones de la norma técnica correspondiente..
- Un documento con el compromiso de la empresa responsable de la importación, respecto de la garantía técnica y del mantenimiento de los equipos importados.
- Documentos de importación y nacionalización pertinentes (copias certificadas).

Para comercializar equipos o aparatos de telecomunicaciones fabricados o ensamblados localmente:

- Solicitud
- Características de funcionamiento y modo de conexión a la red.
- Un certificado técnico único emitido por un laboratorio reconocido por la SNT de que los equipos o aparatos cuya marca y modelo se quiere importar cumplen las especificaciones de la Norma técnica Correspondiente.

- Un documento con el compromiso de la empresa responsable de la importación, respecto de la garantía y del mantenimiento de los equipos importados.
- Certificado de fabricación o ensamblaje local avalado por el laboratorio antes referido.

El solicitante de la homologación cancelará a la SNT la suma de 50 UVC por el derecho de homologación de los aparatos por la clase de equipos. Los costos de laboratorio serán de cuenta del solicitante. El UVC se fijará al 1 de enero de cada año, redondeado a la centena inmediata superior.

El certificado de homologación será requisito indispensable para la venta y exposición de Equipos Terminales; así mismo las operadoras están prohibidas de activar o conectar en su red equipos terminales que no cuenten con el certificado de homologación.

### **8.3.2. De las etiquetas de homologación**

Todos los equipos o aparatos de telecomunicaciones, antes de su comercialización al público deberán llevar adherido el distintivo (etiqueta) proporcionado por la SNT para su identificación como producto homologado.

Para la adquisición de las etiquetas, los equipos respectivos deberán contar con el certificado de homologación y el proveedor de equipos terminales

deberá presentar el documento único de importación, como respaldo que indique el número de equipos a comercializarse.

Cada etiqueta tendrá un costo de 0.3 UVC. El UVC se fijará al 1 de enero de cada año, redondeando a la centena inmediatamente superior.

### **8.3.3.Obligaciones de los proveedores de equipos terminales**

Para la venta o exposición de equipos terminales en el territorio nacional es necesario obtener el certificado de homologación técnica, expedido por la SNT.

El proveedor del Equipo Terminal entregará al cliente, a más de la factura y/o el contrato de compra-venta del terminal, una factura y/o certificado original, en el que se hará constar el número de homologación del equipo emitido por la SNT y los compromisos que adquieren con el cliente relacionados con la garantía técnica, etc.

Será de responsabilidad del proveedor de los equipos terminales, proporcionar el mantenimiento de los mismos.

## **8.4.Reglamento para otorgar concesiones de los servicios de telecomunicaciones**

### **8.4.1.De las concesiones**

La concesión es la delegación del Estado para la instalación, prestación y explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones y la asignación de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico correspondiente, mediante la suscripción de un contrato autorizado por el CONATEL y celebrado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, con una persona natural o jurídica domiciliada en el Ecuador y que tenga capacidad legal, técnica y financiera.

Las concesiones para la prestación de servicios de telecomunicaciones se otorgarán a solicitud de parte, mediante:

1. Adjudicación directa;
2. Proceso público competitivo de ofertas; o,
3. Proceso de subasta pública de frecuencias.

Los contratos de concesión tendrán una duración máxima de quince (15) años.

El otorgamiento de concesiones para la prestación de servicios de telecomunicaciones se efectuará obligatoriamente por proceso público competitivo de ofertas o por subasta pública de frecuencias cuando, al amparo del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada:

1. Exista un número mayor de interesados al número de concesiones que pueden ser otorgadas; o,
2. Exista restricción en la disponibilidad de frecuencias o bandas de frecuencias .

En cualquier otro caso, el CONATEL, podrá autorizar a la Secretaría suscribir contratos de concesión en forma directa sin necesidad del procedimiento público competitivo, de acuerdo a lo establecido en este reglamento.

El otorgamiento de una concesión para prestar servicios de telecomunicaciones que no requiera del uso del espectro radioeléctrico, podrá estar sujeto a proceso competitivo, cuando así lo exijan las condiciones del mercado y lo determine el CONATEL.

Los procesos para el otorgamiento de concesiones se llevarán a cabo con objetividad y en igualdad de condiciones y oportunidades para todos los participantes.

Son derechos del concesionario, entre otros los siguientes:

1. Prestar los servicios concesionados y percibir del usuario, como retribución por los servicios prestados, la tarifa que se fije siguiendo la metodología pactada en el contrato de concesión;



2. Subcontratar total o parcialmente las actividades que le correspondan cumplir de conformidad con lo pactado en el contrato de concesión y siempre que la subcontratación no implique cesión de derechos u obligaciones;
3. Transferir excepcionalmente la concesión a otra persona, previa autorización expresa del CONATEL;
4. Obtener de la Secretaría, así como de cualquier otra autoridad del Gobierno Central, Regional o Local, los permisos, autorizaciones o licencias necesarias cumpliendo, de ser el caso, con la legislación que resulte aplicable a la fecha del otorgamiento del título habilitante;
5. Verificar que sus abonados o usuarios no hagan mal uso de los servicios que les preste. Si de tal verificación se desprendiese un uso fraudulento o indebido, pondrá tales hechos en conocimiento del CONATEL y la Superintendencia, para que éstos adopten las medidas necesarias. Cuando no sea posible la intervención inmediata de la Superintendencia, el concesionario podrá proceder cautelarmente a desconectar de la red cualquier aparato, equipo, dispositivo o sistema que afecte gravemente o produzca daños graves en sus redes, debiendo dar cuenta de ello en el plazo máximo de 48 horas al CONATEL y a la Superintendencia; y
6. Los demás que se pacten en el contrato de concesión o que se deriven de la Ley y del Reglamento.

Son obligaciones del concesionario, entre otras las siguientes:

1. Instalar, operar y administrar los servicios concesionados de acuerdo a los términos, condiciones y plazos previstos en el contrato de concesión;
2. Presentar las garantías que aseguren el cumplimiento de sus obligaciones por la explotación del servicio o servicios concesionados, en la forma y montos señalados en el contrato de concesión;
3. Prestar el o los servicios en forma ininterrumpida y con la calidad mínima establecida en el contrato de concesión, salvo caso fortuito o fuerza mayor debidamente calificados por la Superintendencia;
4. Pagar oportunamente los derechos y demás obligaciones que origine la concesión;
5. Proporcionar a la Secretaria y a la Superintendencia la información vinculada al contrato de concesión y en general brindar las facilidades para efectuar las labores de inspección, verificación y supervisión;
6. Adoptar las medidas necesarias para garantizar la inviolabilidad y el contenido de las telecomunicaciones, de acuerdo con lo que pueda establecerse en la regulación específica o en el respectivo contrato de concesión
7. Garantizar el ejercicio de los derechos del usuario de conformidad a la Ley Orgánica de Defensa del Consumidor y su Reglamento;
8. Informar a la Secretaría de cualquier cambio o modificación referente a, condiciones de interconexión y de precios al usuario; y,

9. Las demás que se establezcan en la Ley, los Reglamentos y el contrato de concesión.

El contrato de concesión como mínimo deberá contener:

- a) Identificación de las partes;
- b) La descripción del servicio objeto de la concesión, sus modalidades de prestación y el área geográfica de cobertura;
- c) Período de vigencia de la concesión;
- d) Los términos y condiciones para la renovación;
- e) Criterios para fijación y ajuste de las tarifas de ser el caso;
- f) El plan mínimo de expansión y parámetros de calidad del servicio;
- g) Los derechos y obligaciones de las partes y las sanciones por el incumplimiento del contrato;
- h) El monto de los derechos a pagar para obtener la concesión y su forma de cancelación, si fuera el caso;
- i) La garantía de fiel cumplimiento y los criterios y procedimientos para su ajuste y renovación;
- j) La potestad del Estado de revocar la concesión cuando el servicio no sea prestado de acuerdo a los términos del contrato. En el caso de los servicios públicos de telecomunicaciones, el Estado garantizará la continuidad de los mismos;
- k) Las limitaciones y condiciones para la transferencia de la concesión;

- l) La forma de extinción del contrato, sus causales y consecuencias;
- m) Los requisitos establecidos en la Ley de Modernización del Estado, Privatización y Prestación de Servicios Públicos por parte de la iniciativa Privada y su Reglamento, cuando fueren aplicables; y,
- n) Cualquier otro que el CONATEL haya establecido previamente.

La utilización de frecuencias esenciales por parte de los titulares de concesiones, quedará vinculada con la prestación del servicio autorizado y constarán en un contrato anexo al contrato de concesión del servicio.

En caso de ser aplicable, las frecuencias esenciales adicionales serán adjudicadas mediante procesos públicos competitivos si no se encuentran dentro de la lista de frecuencias liberadas por el CONATEL, o si estando dentro de la lista existen otros interesados en las mismas frecuencias, o existe restricción de disponibilidad de frecuencias.

Cuando la prestación de un servicio de telecomunicaciones requiera del uso de frecuencias no esenciales, el peticionario podrá solicitarlas conjuntamente con la concesión del servicio, de ser este el caso, o en trámite independiente si ya ha obtenido previamente la concesión del servicio. El CONATEL autorizará a la Secretaría la suscripción de los contratos correspondientes.

Todo poseedor de una concesión que preste varios servicios de comunicaciones estará obligado a prestarlos como negocios independientes y en consecuencia a llevar sistemas contables independientes. Quedan prohibidos los subsidios cruzados.

#### **8.4.2. Del procedimiento para el otorgamiento de concesiones de servicio mediante adjudicación directa**

El peticionario de una concesión para prestar servicios de telecomunicaciones deberá presentar, ante la Secretaría, una solicitud acompañada de, por lo menos, la siguiente información de carácter legal, financiera y técnica:

##### 1. Información legal:

- a) Cuando se trate de una persona natural: nombres, apellidos del solicitante. En caso de personas jurídicas: razón social o denominación objetiva y apellidos del representante legal;
- b) Copia de la cédula de identidad o ciudadanía de la persona natural;
- c) Copia del Registro Único de Contribuyentes (RUC);
- d) Copia certificada o protocolizada, del nombramiento del representante legal, que se halle vigente, debidamente inscrito en el Registro Mercantil;

- e) Para las personas jurídicas, se deberá presentar el certificado de existencia legal de la compañía, capital social, objeto social, plazo de duración y cumplimiento de obligaciones extendido por la Superintendencia de Compañías;
- f) Copia del estatuto social de la compañía;
- g) Certificado, emitido por la Contraloría General del Estado, de no hallarse impedido de contratar con el Estado.
- h) Informe de la Superintendencia de Telecomunicaciones respecto de la prestación de servicios de telecomunicaciones del solicitante y sus accionistas, incluida la información de imposición de sanciones en caso de haberlas.

## 2. Información financiera:

- a) Cuando el solicitante sea persona natural: copia de las declaraciones de impuesto a la renta correspondientes a los dos últimos ejercicios económicos. Cuando el solicitante sea una persona jurídica: copia de los estados financieros presentados a la Superintendencia de Compañías, correspondientes a los dos últimos ejercicios económicos y copia de los informes de auditores externos por los mismos períodos, de ser el caso;
- y,

- b) Proyección de la inversión prevista, para los primeros cinco (5) años de la concesión y monto de la inversión inicial a ser ejecutada durante el primer año.

### 3. Información técnica:

- a) Descripción técnica detallada de cada servicio propuesto, incluyendo cobertura geográfica mínimo de éste;
- b) Análisis general de la demanda de los servicios objeto de la solicitud;
- c) Proyecto técnico que describa los equipos, redes, la localización geográfica de los mismos, los requerimientos de conexión e interconexión, la identificación de los recursos del espectro radioeléctrico que sean necesarios, si fuere el caso, con precisión de bandas y anchos requeridos y los elementos necesarios para demostrar la viabilidad técnica, firmado por un Ingeniero Electrónico colegiado; y,
- d) Plan tarifario propuesto.

Toda la información anterior, salvo la descrita en el literal a) y b) de la información jurídico y los literales a) y c) de la información técnica así como los requerimientos de conexión e interconexión, serán considerados confidenciales.

#### **8.4.3. Del procedimiento para el otorgamiento de concesiones de servicio mediante proceso público competitivo de ofertas**

Cuando exista un número mayor de interesados al número de concesiones que pueden ser otorgadas o, exista restricción en la disponibilidad de frecuencias o bandas de frecuencias, la Secretaría preparará, para la aprobación del CONATEL, todos los documentos que sean necesarios para llevar a cabo el proceso público competitivo de ofertas.

El proceso del concurso público competitivo de ofertas abarcará las siguientes etapas:

- a) Preparación de bases para el concurso;
- b) Aprobación de las bases por parte del CONATEL;
- c) Publicación de la convocatoria;
- d) Venta de bases;
- e) Aclaración a las bases;
- f) Recepción de ofertas;
- g) Estudio y evaluación de ofertas;
- h) Resolución sobre el concurso; y,
- i) Suscripción del contrato.

Las bases deberán contener como mínimo lo siguiente:

- a) Los poderes que deberán acreditar los interesados;



- b)** Modelo de la carta de presentación y compromiso;
- c)** La disposición de que las condiciones de las bases no serán susceptibles de negociación con ninguno de los solicitantes o interesados;
- d)** Instrucciones a los oferentes;
- e)** Los principios y criterios para la evaluación y ponderación de las ofertas;
- f)** Garantías, características y sus montos;
- g)** El modelo del contrato de concesión; y
- h)** Cualquier otro documento o requisito que el CONATEL considere necesario.

Concluida la preparación de las bases del concurso y su aprobación por parte del CONATEL, la Secretaría publicará la convocatoria por tres días consecutivos en dos diarios de mayor circulación en el país, editados en dos ciudades diferentes y en su página electrónica (Web). Podrá, también, efectuar una convocatoria a nivel internacional.

La convocatoria al proceso público competitivo de ofertas deberá contener como mínimo lo siguiente:

- a)** El nombre del servicio;
- b)** La descripción general del servicio materia del concurso;
- c)** El número de concesiones que se otorgará en el concurso;

- d)** Las indicaciones del lugar, fecha y horarios en que los interesados podrán adquirir las bases;
- e)** El precio de las bases y forma de pago;
- f)** La fecha, hora y lugar de celebración del acto de presentación de las ofertas y apertura de la oferta técnica;
- g)** La fecha, hora y lugar de celebración de apertura de la oferta económica;
- h)** Fecha estimada de iniciación de la prestación del servicio; y,
- i)** Cualquier otro requisito que el CONATEL considere oportuno o necesario.

El CONATEL fijará, en cada caso, el valor de las bases. Será atribución de los interesados revisar los documentos integrantes de las bases, previo al pago de dicho costo, por una sola ocasión, en el lugar que determine el CONATEL.

La compra de las bases será requisito indispensable para la inscripción y participación en el concurso.

La presentación de las ofertas técnica y económica deberá hacerse en dos sobres independientes y su entrega se hará en la fecha, hora, lugar y forma establecidos para tal efecto en las bases.

Las ofertas se redactarán en idioma español y su presentación deberá realizarse en sobres cerrados y sellados, debidamente foliados y rubricados en todas sus hojas por el o los representantes legales de cada uno de los participantes.

#### **8.4.4. Del procedimiento para el otorgamiento de concesiones de servicio mediante proceso de subasta pública de frecuencias**

El procedimiento de subasta pública de frecuencias es para el otorgamiento en concesión de uso de espectro radioeléctrico por bandas o subbandas de frecuencias para la prestación, en concesión, de un servicio de telecomunicaciones.

Cuando las subbandas de frecuencias a ser otorgadas en concesión formen parte de una misma banda de frecuencias, el CONATEL podrá subastarlas a través de un solo proceso o procesos independientes.

La persona natural o jurídica que haya obtenido una concesión para la prestación de un servicio asociado al uso de una banda o subbanda de

frecuencias dentro de una área geográfica determinada, no podrá participar o seguir participando en la subasta pública destinada al otorgamiento en concesión de cualquier otra subbanda dentro de la misma banda de frecuencias asociadas a la misma área geográfica, siempre que se trate del mismo servicio.

Esta limitación se aplicará tanto en los casos en los cuales la concesión se haya obtenido por medio de un procedimiento público competitivo de ofertas, como en los casos en que se haya obtenido por adjudicación directa. En estos casos, la persona natural o jurídica podrá participar o seguir participando en la subasta pública de frecuencias destinadas al otorgamiento en concesión de servicios de la misma banda o subbanda de frecuencias o de cualesquiera de las restantes bandas o subbandas de frecuencias, en una área geográfica distinta a aquella en la cual le haya sido otorgada.

Las porciones de espectro radioeléctrico otorgadas en concesión mediante un procedimiento de subasta pública de espectro serán otorgadas mediante nuevos contratos de concesión.

El procedimiento al que se refiere este capítulo estará conformado por dos fases:

1. Precalificación; y,

2. Selección, bajo la modalidad de subasta.

#### **8.4.5. Del servicio universal y del Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones**

Se constituye el Fondo para el desarrollo de las telecomunicaciones en áreas rurales y urbano-marginales, FODETEL.

Para la conformación de este Fondo, todos los prestadores de servicios de telecomunicaciones, aportarán una contribución anual sobre sus ingresos. Esta contribución, se fija en el uno por ciento (1%) de los ingresos totales facturados y percibidos por los prestadores de servicios de telecomunicaciones del año inmediato anterior. La recaudación se realizará en forma trimestral y su liquidación se efectuará al final del ejercicio económico. Esta contribución podrá ser revisada por el CONATEL, cada cinco años, sobre la base de los programas que deban ejecutarse.

El establecimiento, administración, financiamiento, operación y supervisión del Fondo para el desarrollo de las telecomunicaciones en las áreas rurales y urbano-marginales, se realizará a través del Reglamento del Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones en áreas rurales y urbano marginales (FODETEL) aprobado por el CONATEL.

El otorgamiento de títulos habilitantes para la prestación de servicios de telecomunicaciones considerados como de Servicio Universal, se ejecutará de acuerdo a lo establecido en el reglamento del FODETEL.

## **CAPITULO 9.-**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. Analizando todos los aspectos de requerimiento en las zonas corporativas, el servicio LMDS sería económicamente factible si se lo utilizara simplemente como un backbone inalámbrico. Además este enfoque tecnológico es aceptable por varias razones, una de éstas es debido al gran ancho de banda que posee.
2. Los equipos ALCATEL son muy costosos, por lo que su uso se lo ha focalizado para las empresas con mayor capital, cuyos requerimientos de comunicación son altos, es por esto que no compiten directamente con otros sistemas inalámbricos como 802.11a y 802.11b, de 5.4 GHz y 2.4 GHz, respectivamente.
3. Se ha estimado que, para que una celda LMDS funcione efectivamente en una ciudad relativamente húmeda como Guayaquil, el radio de cobertura de la misma sea de 2 Km y hasta 5 Km. Por lo que se requiere que las compañías que deseen acceder al servicio se encuentren dentro de este rango, aunque, obviamente esta área es fácilmente expansible con la ayuda de estaciones repetidoras.

4. Dado que el sistema que proponemos introducir en la ciudad es nuevo, nuestro primer objetivo, en lo que a clientes potenciales se refiere, será el sector corporativo y bancario situado en el corredor comercial de Guayaquil. Por lo que nuestra estación base estará ubicada en el edificio del banco La Previsora, dando así una amplia cobertura a la zona deseada utilizando para esto dos antenas con ángulo de apertura de 90°.
5. Dada la versatilidad de estos equipos, el estudio dio como resultado de que la manera más eficaz y rentable de utilizar los mismos es como medio de backhaul para servicios de voz, ya que sus interfaces de hasta 4 E1 serían requeridas para el transporte de voz vía inalámbrica. Por lo que, empresas de telefonía serían clientes potenciales.
6. Debido a que este sistema opera a una alta frecuencia (27.5 - 28.35 GHz y 29.1 - 29.25 GHz), se recomienda un monitoreo exhaustivo de la señal.
7. Dado que la tecnología alrededor del mundo avanza de una manera abismal, y las telecomunicaciones no son la excepción, Ecuador no se puede quedar atrás en lo que desarrollo se refiere, proveyendo de mayor facilidad a los usuarios para comunicarse, esperamos que esta tecnología se despliegue en el país en un futuro no muy lejano.



**CAPITULO 10.-**  
**GLOSARIO**

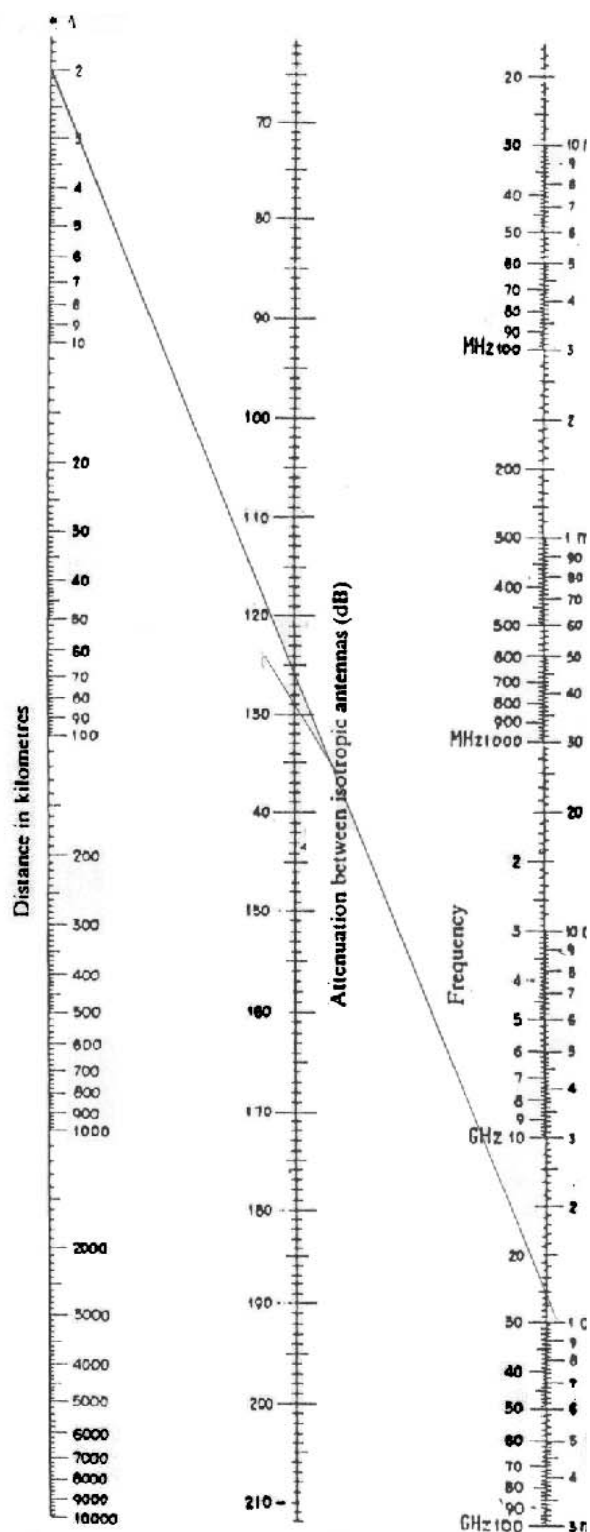


Tabla A. Atenuación en espacio libre

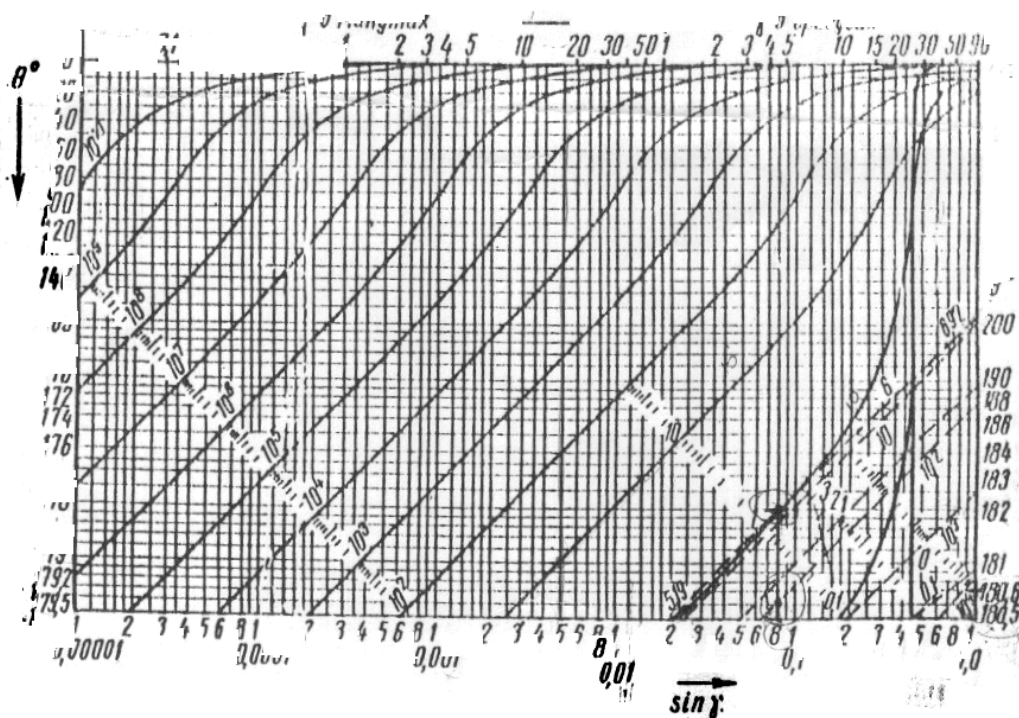
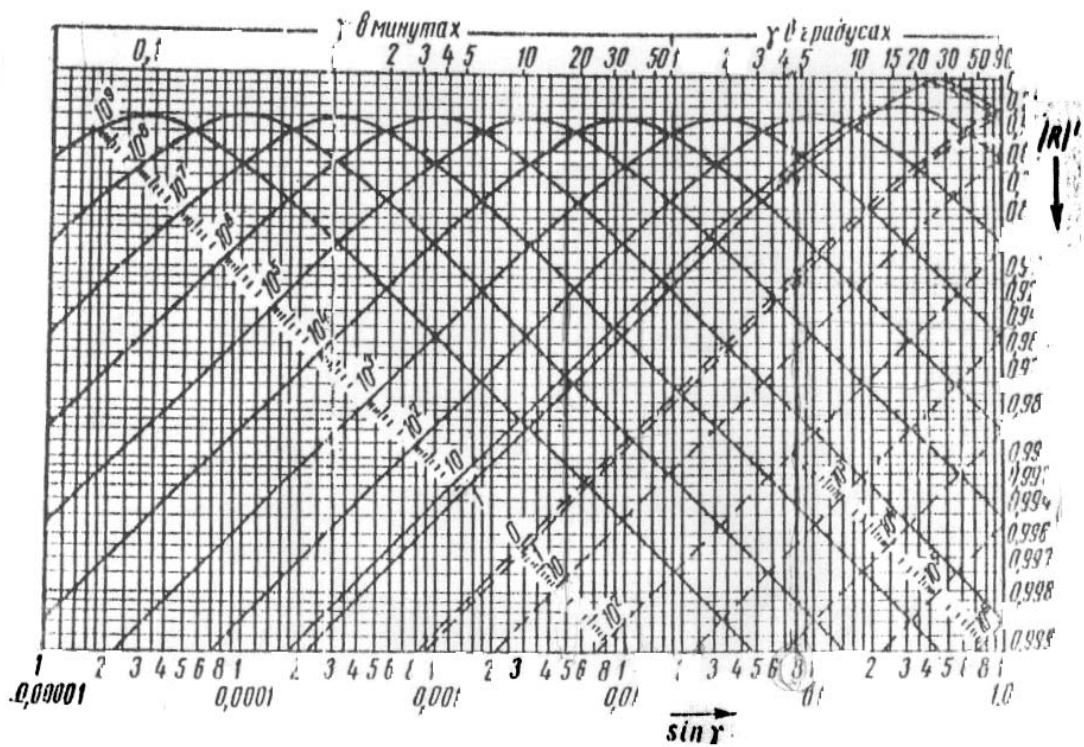


Tabla B1 y B2. Coeficiente de atenuación y Fase

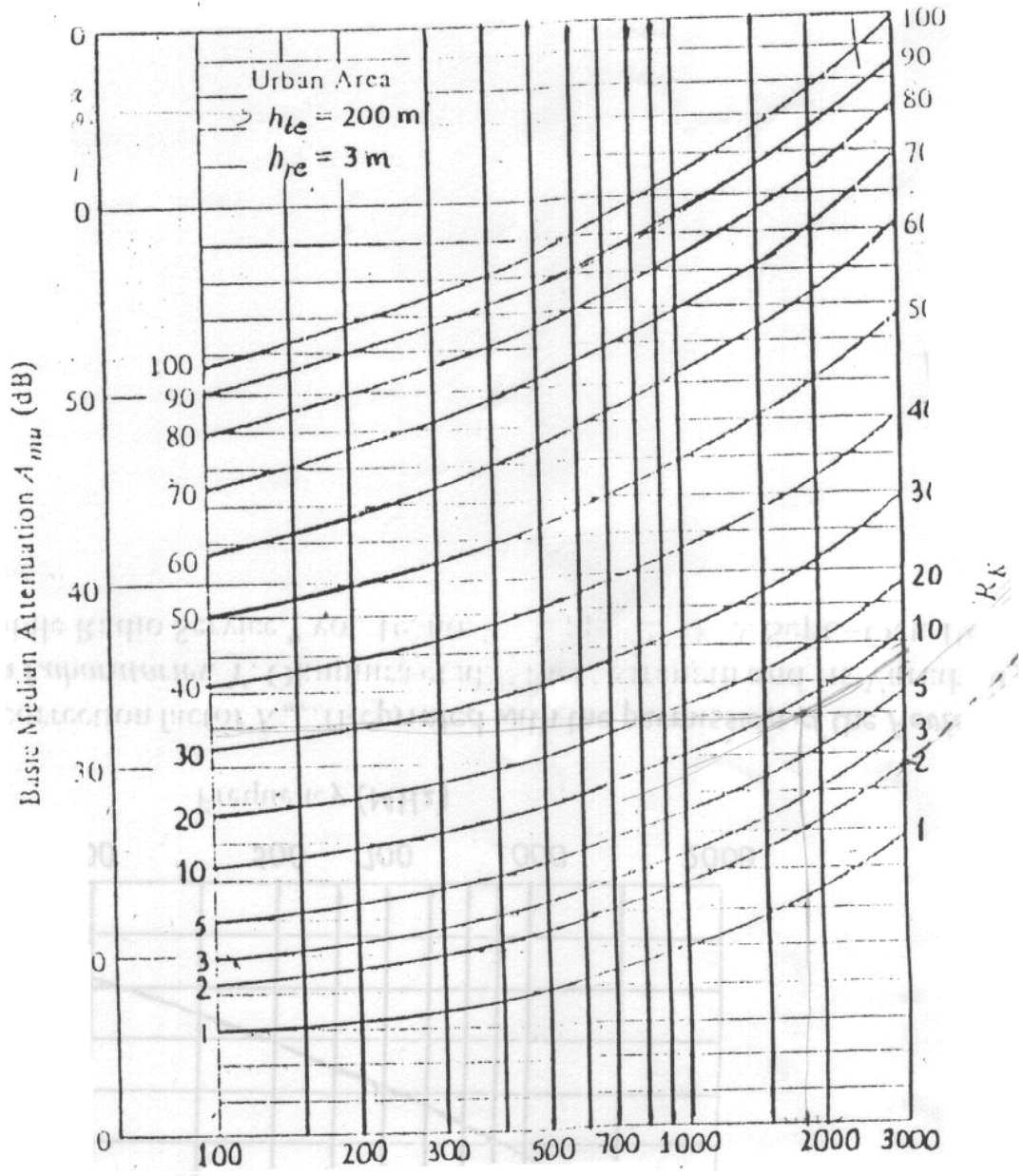
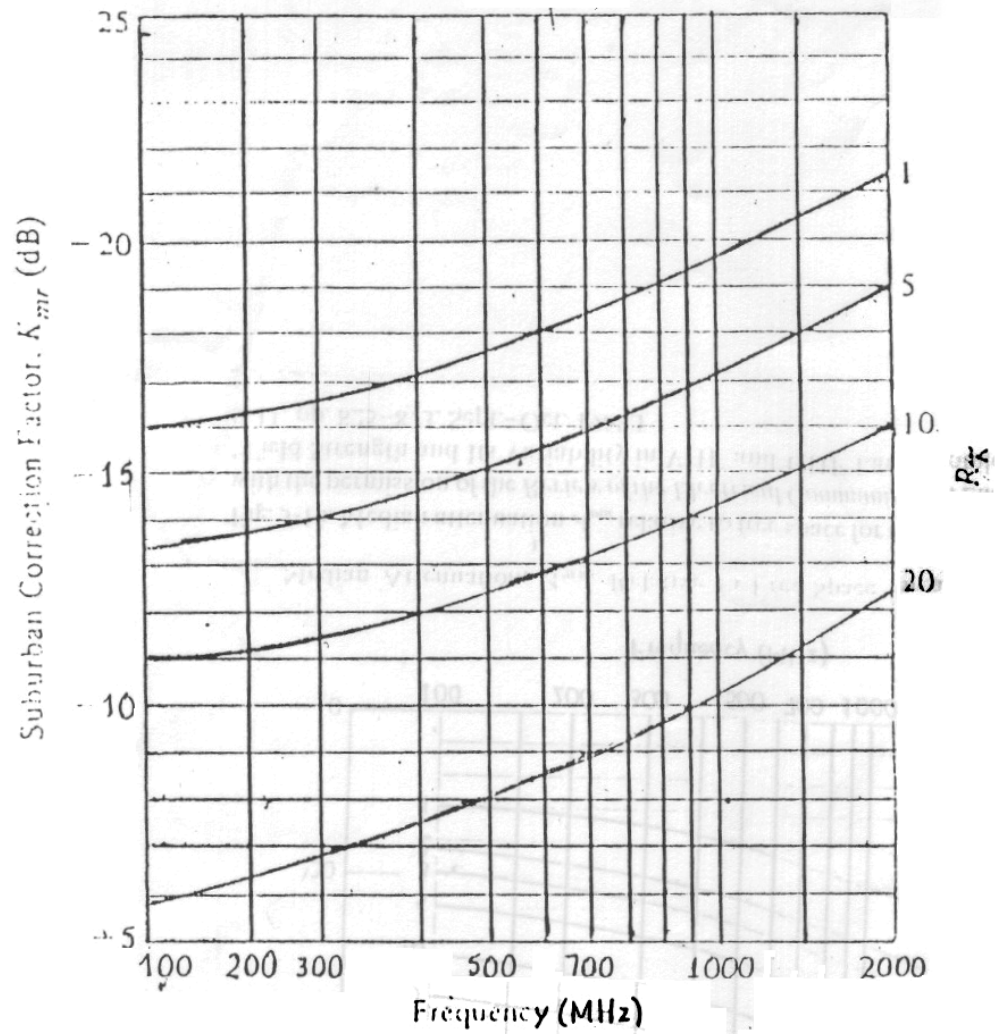


Tabla C. Atenuación por medio urbano

## MEASURING THE RADIO FREQUENCY ENVIRONMENT



**Tabla D.** Factor de corrección de la atenuación de medio urbano

**CAPITULO 11.-**  
**BIBLIOGRAFIA**

- Digital Communications Fundamentals and Applications.- Bernard Sklar
- Sistemas de comunicaciones electrónicas.- Wayne Tomasi
- [www.iec.org](http://www.iec.org)
- [www.alcatel.com](http://www.alcatel.com)
- [www.lmdswireless.com](http://www.lmdswireless.com)
- [www.smartone.com](http://www.smartone.com)
- [www.conatel.gov.ec](http://www.conatel.gov.ec)
- [www.mcgrawhill.com](http://www.mcgrawhill.com)
- [www.ieee.com](http://www.ieee.com)
- [www.vt.edu](http://www.vt.edu)
- [www.cns.vt.edu](http://www.cns.vt.edu)