

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

Diseño de un “Backbone” Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CHRISTIAN ERNESTO ALVEAR PACHECO
GALO PATRICIO GARCÍA PALLAROSO**

DIRECTOR: Ing. Patricio Ortega

Quito, Septiembre 2006

PRESENTACIÓN

La constante búsqueda e investigación para obtener una red que permita ofrecer múltiples servicios de telecomunicaciones eliminando el cableado, con conectividad inalámbrica y ofreciendo movilidad está en una etapa muy avanzada, actualmente se consigue esto con la denominada tecnología WiMAX bajo el estándar IEEE 802.16 el cual ofrece una gran potencialidad debido a su gran área de cobertura y su ancho de banda.

La potencialidad de WiMAX es muy grande, ya que se comercializará en hogares, empresas, lugares públicos y espacios abiertos, es que será más económica que WiFi, pues además de que permitirá que en una misma conexión se integren muchos usuarios, podrá utilizarse en proyectos de ciudades digitales, por su gran alcance, y llevarlo a zonas rurales en donde no existen conexiones telefónicas.

La falta de infraestructura en el país, hace urgente la investigación y estudios e ingeniería sobre la factibilidad técnica para la implementación de sistemas de telecomunicaciones alternativos como el WiFi/WiMAX.

Estos sistemas pueden ser compartidos entre varias organizaciones, aumentando la sostenibilidad, formando redes privadas, independientes de la red nacional y la infraestructura existente. El impacto social de esta tecnología puede ser muy importante o al menos reúne las características para que así sea. Un relativo fácil despliegue, el alcance y su velocidad de acceso pueden permitir a zonas con baja densidad de población, tales como las zonas rurales, un acceso cómodo y barato a Internet. Esto es extensible a países en vías de desarrollo.

WiMAX será una tecnología complementaria de las actuales WiFi, Bluetooth y 3G, ya que permitirá el acceso y posibilitará su uso para terminales de la previsible infraestructura de VoIP que se encuentra en desarrollo.

Existe la tendencia mundial, al incremento de las aplicaciones multimedia en Internet por lo que cada vez aumenta también la necesidad de ancho de banda. Los sitios de Internet cada vez son más interactivos por lo que exigen cada vez más velocidad de conexión.

RESUMEN

El presente trabajo propone el diseño de una red que permita la integración de los diferentes puntos de acceso (WiFi) y una conectividad inalámbrica a múltiples servicios de banda ancha que cubrirán una importante zona comercial del Distrito Metropolitano de Quito.

Se realiza un estudio de la tecnología WiMAX, el mismo que permitirá conocer las ventajas y potencialidad de la misma y como podrían ser aprovechadas en la red a diseñar.

Para el diseño utilizamos la capacidad de la tecnología WiMAX para que un gran número de usuarios pueda tener acceso inalámbrico a múltiples servicios entre ellos el denominado Internet de Banda Ancha, telefonía, servicios de televisión digital y la eliminación del actual cableado de última milla.

Además se investiga la compatibilidad de WiMAX con sistemas ya instalados denominados WiFi, ya que se podrá utilizar sus instalaciones actuales (conexiones físicas llamadas "hot spots").

Obtener datos estadísticos mediante el uso de encuestas que permiten conocer la actual demanda del servicio, así como para realizar una proyección a futuro ofreciendo nuevos servicios.

Con los resultados obtenidos procedemos al diseño de la red de integración WiFi y multiservicios, para lo cual se ubican geográficamente las estaciones base que permitirán el acceso a la red a nuestros usuarios y así poder dimensionar el área de cobertura de la red, que comprenden una amplia e importante zona comercial de la ciudad, que comprendida desde el CENTRO HISTÓRICO hasta CEMEXPO vía a la Mitad del Mundo. Una vez ubicadas las estaciones base es necesario considerar un sistema que las integre. El presente proyecto utiliza el estándar de WiMAX para enlaces punto-punto

permitiendo integrar las estaciones de la red.

Se especifican las frecuencias de operación de la red, disponibilidad de las mismas para operar en la ciudad además de estudios técnicos de propagación de acuerdo a las condiciones geográficas y climáticas de la región.

Se recomiendan los equipos transmisores y receptores, incluyendo sus características técnicas y la posible ubicación geográfica de los mismos para su correcto funcionamiento.

Se analizan las áreas de cobertura de equipos transmisores mediante el uso de un software computacional denominado Radio Mobile v7.0.5 disponible en Internet.

Se presenta una evaluación de costos que involucra equipos, materiales y recursos humanos, como referencia para una posible implementación y puesta en funcionamiento de la red.

CAPÍTULO I 11

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE WIMAX 11

1.1	INTRODUCCIÓN.....	11
1.2	ESTÁNDARES IEEE 802.....	13
1.3	ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGÍA WiMAX.....	15
1.3.1	¿QUÉ ES WiMAX (WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS)?.....	15
1.3.2	ESTÁNDARES 802.16.....	15
1.4	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA WIMAX.....	16
1.4.1	ESQUEMAS DE MODULACIÓN.....	17
1.4.1.1	Modulación Digital.....	18
1.4.1.1.1	Modulación FSK (Frequency Shift Keying).....	19
1.4.1.1.2	Modulación PSK (Phase Shift Keying).....	19
1.4.1.1.2.1	Modulación PSK Convencional.....	20
1.4.1.1.2.2	Modulación BPSK o 2-PSK.....	20
1.4.1.1.2.3	Modulación QPSK o 4-PSK.....	22
1.4.1.1.2.4	Modulación 8-PSK y 16-PSK.....	23
1.4.1.1.3	Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).....	23
1.4.1.1.4	Modulación por división ortogonal de frecuencia (OFDM).....	25
1.4.1.1.4.1	Características de la modulación OFDM.....	25
1.4.2	MODULACIÓN ADAPTIVA.....	25
1.4.3	ÁREA DE COBERTURA DE WIMAX.....	26
1.4.4	TÉCNICAS DE DUPLEXACIÓN.....	27
1.4.4.1	Duplexación por División de Frecuencia.....	27
1.4.4.2	Duplexación por División de Tiempo (TDD).....	27
1.4.4.3	Ventajas y desventajas de utilizar TDD y FDD.....	28
1.4.5	TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO.....	28
1.4.5.1	Acceso Múltiple por División de Tiempo(TDMA).....	29
1.4.6	BANDAS DE FRECUENCIA DE WIMAX.....	29
1.4.7	CAPA FÍSICA DE WIMAX.....	29
1.4.8	CAPA MAC DE WIMAX.....	31
1.4.9	CALIDAD DE SERVICIO (QoS, Quality of Service).....	32
1.4.10	CORRECCIÓN DE ERRORES HACIA DELANTE (FEC).....	32
1.4.11	ASPECTOS DE SEGURIDAD.....	32
1.4.11.1	DES (Data Encryption Standard).....	32
1.4.11.2	Triple DES Encryption.....	33
1.4.11.3	AES (Advanced Encryption Standard).....	35
1.5	COMPATIBILIDAD DE WIMAX CON TECNOLOGÍAS	

EXISTENTES	36
CAPÍTULO II 40	
TIPOS DE SERVICIOS 40	
2.1 INTRODUCCIÓN	40
2.2 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES QUE SE OFRECEN ACTUALMENTE	40
2.2.1 <i>SERVICIOS CABLEADOS</i>	41
2.2.1.1 Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)	41
2.2.1.2 Cable MODEM.....	41
2.2.1.3 XDSL.....	42
2.2.1.3.1 <i>Funcionamiento</i>	43
2.2.1.3.2 <i>Tipos de xDSL</i>	44
2.2.2 <i>SERVICIOS INALÁMBRICOS</i>	45
2.2.2.1 GSM	46
2.2.2.1.1 <i>Características de GSM</i>	46
2.2.2.2 CDMA	47
2.2.2.3 Sistema de Distribución de Microondas Multipunto (MMDS).....	47
2.2.2.3.1 <i>Características técnicas de MMDS</i>	48
2.2.2.4 LMDS.....	50
2.2.2.5 Wireless Local Loop (WLL).....	51
2.2.2.6 WiFi.....	52
2.2.2.7 Bluetooth.....	53
2.3 SERVICIOS QUE SE OFRECEN A TRAVÉS DE WIMAX	54
2.3.1 <i>WiMAX COMO RED DE TRANSPORTE DE WiFi</i>	56
2.3.2 <i>REDES PRIVADAS EMPRESARIALES</i>	57
2.3.3 <i>BACKHAUL INALÁMBRICO DE VOZ Y DATOS</i>	59
2.3.4 <i>ISPs INALÁMBRICOS (PUNTO MULTIPUNTO)</i>	60
2.3.5 <i>SEGURIDAD Y VIGILANCIA</i>	61
2.3.6 <i>INTERNET DE BANDA ANCHA</i>	63
2.3.6.1 Internet Fijo.....	63
2.3.6.2 Internet Móvil.....	63
2.3.7 <i>TELEVISIÓN SOBRE IP</i>	63
2.3.8 <i>WIMAX INTEGRADO A LA TELEFONÍA CELULAR</i>	66
2.3.9 <i>TELEFONÍA IP</i>	67
2.3.10 <i>SERVICIOS DE BANDA ANCHA A ZONAS RURALES DE DIFÍCIL ACCESO</i> ..	69
2.4 INTEGRACIÓN DE SERVICIOS A TRAVÉS DE WIMAX	70

CAPÍTULO III 72

ESTUDIO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA 72

3.1	INTRODUCCIÓN.....	72
3.2	LA DEMANDA.....	73
3.2.1	<i>CARACTERÍSTICAS DEL CLIENTE</i>	74
3.2.1.1	Calidad de Servicio.....	75
3.3	PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.....	75
3.3.1	<i>EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA DEMANDA</i>	77
3.3.2	<i>LOCALIZACIÓN DE LA DEMANDA</i>	78
3.3.3	<i>RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN</i>	78
3.3.3.1	Encuesta Personal.....	78
3.3.3.1.1	<i>Ventajas y desventajas de utilizar una encuesta personal</i>	79
3.3.3.2	Segmentación del Mercado.....	79
3.3.4	<i>MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA REALIZAR LA ENCUESTA</i>	80
3.3.4.1	Determinación del tamaño de la muestra.....	81
3.3.4.2	Tabulación de resultados de las Encuestas.....	83
3.3.4.2.1	<i>Resultados de Encuestas Residenciales</i>	83
3.3.4.2.2	<i>Resultados de las encuestas Empresariales</i>	86
3.3.5	<i>TASA DE CRECIMIENTO DE ABONADOS DE INTERNET EN ECUADOR</i>	98
3.3.6	<i>PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ANCHO DE BANDA</i>	101
3.3.7	<i>MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROYECCIÓN DE DEMANDA DE USUARIOS</i>	102
3.3.7.1	Proyección de Demanda.....	103
3.4	ESTUDIO DE TRÁFICO.....	108

CAPÍTULO IV 113

DISEÑO DE LA RED WIMAX. 113

4.1	INTRODUCCIÓN.....	113
4.2	PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	113
4.2.1	<i>CONCEPTOS GENERALES</i>	114
4.2.2	<i>PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA</i>	114
4.3	ESTRATEGIAS.....	115
4.3.1	<i>OBJETIVOS</i>	115
4.3.2	<i>ETAPAS</i>	116
4.3.3	<i>PLAN ESTRATÉGICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y DESPLIEGUE DE LA RED</i>	117
4.4	ESTRUCTURA DE LA RED.....	118
4.5	UBICACIÓN DE LAS RADIOBASES.....	118

4.6	BANDA DE FRECUENCIA	119
4.6.1	REUSO DE FRECUENCIA EN ESCENARIOS MULTICELDA	120
4.7	ÁREA DE COBERTURA	121
4.8	SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS	123
4.8.1	ESTACIÓN BASE HIPERMAX	125
4.8.2	ESTACIÓN BASE MICROMAX	125
4.8.3	EQUIPO TERMINAL DE USUARIO(CPE)	126
4.8.3.1	Equipo de Usuario ProST-WiFi	126
4.8.3.2	Equipo de Usuario EasyST	127
4.8.4	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RED	130
4.8.4.1	Actualización de WiMAX	132
4.9	DISEÑO DEL “BACKBONE” DE LA RED	133
4.9.1	CÁLCULO DE LOS SISTEMAS MICROONDAS	136
4.9.1.1	Pérdida de Trayectoria de Espacio Libre	137
4.9.1.2	Margen de Desvanecimiento	137
4.9.1.3	Zona de Fresnel	138
4.9.1.4	Cálculo de la Primera Zona de Fresnel para cada enlace	139
4.9.1.4.1	Enlace Cerro Pichincha-DAC	140
4.9.1.4.2	Enlace Operador-Pichincha	141
4.9.1.4.3	Enlace Pichincha-Alvernia	142
4.9.1.4.4	Enlace Pichincha-Pusuquí	144
4.10	DISEÑO DE LAS CELDAS	147
4.10.1	ÁREA DE COBERTURA DE LAS RADIOBASES	147
4.10.1.1	Diagramas de Cobertura	148
4.10.1.1.1	Área de Cobertura Radiobase DAC	148
4.10.1.1.2	Área de Cobertura Radiobase OPERADOR	150
4.10.1.1.3	Área de Cobertura Radiobase ALVERNIA	152
4.10.1.1.4	Área de Cobertura Radiobase PUSUQUÍ	154
4.10.1.2	Distribución de Frecuencias	157
4.11	DIAGRAMA GENERAL DE LA RED WIMAX	159
4.12	OPERACIÓN DE LA RED COMO CARRIER PARA VARIOS ISP's	160

ESTIMACIÓN DE COSTOS 163

5.1	INTRODUCCIÓN	163
5.2	FLUJO DE CAJA	163
5.3	INDICADORES DE RENTABILIDAD	164
5.3.1	VAN (VALOR ACTUAL NETO)	164
5.3.2	MÉTODO TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)	165
5.3.3	RELACIÓN BENEFICIO / COSTO	166

5.3.4	<i>PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN</i>	167
5.4	CRITERIOS DE ACEPTACION DEL PROYECTO	167
5.4.1	<i>PROYECTOS ACEPTADOS</i>	167
5.4.2	<i>PROYECTOS POSTERGADOS</i>	168
5.4.3	<i>PROYECTOS RECHAZADOS</i>	168
5.5	CÁLCULO DE LOS COSTOS DE LA RED	169
5.5.1	<i>COSTOS DE LAS ESTACIONES BASE</i>	169
5.5.2	<i>COSTOS DE LOS EQUIPOS TERMINALES</i>	169
5.5.3	<i>COSTOS DE TORRES E INSTALACIÓN DE RADIO BASES.</i>	170
5.5.4	<i>GASTOS DE ADECUACIÓN DE OFICINAS</i>	170
5.5.5	<i>Costo de Vehículo</i>	172
5.5.6	<i>COSTOS DE OPERACIÓN</i>	172
5.5.7	<i>GASTOS DE CONSTITUCIÓN DE LA EMPRESA</i>	173
5.5.8	<i>COSTOS POR COMERCIALIZACIÓN DEL SERVICIO</i>	173
5.5.9	<i>PAGO AL PROVEEDOR (CARRIER)</i>	174
5.5.10	<i>DETALLE DE ACTIVOS DE LA EMPRESA</i>	174
5.5.11	<i>CÁLCULO DE DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE LOS ACTIVOS</i>	175
5.5.12	<i>COSTOS DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS</i>	176
5.5.12.1	<i>Para el Mercado Residencial</i>	176
5.5.12.2	<i>Para el Mercado Corporativo</i>	177
5.5.13	<i>Cálculo del Flujo de Caja</i>	177
5.5.14	<i>Cálculos del VAN, TIR, Relación B/C y Periodo de Recuperación de la Inversión</i> .	179

CAPITULO VI 181

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 181

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 186

ANEXOS 189

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE WIMAX

1.1 INTRODUCCIÓN

Durante muchos años los sistemas de banda ancha inalámbricos estaban basados en tecnologías propietarias de las compañías que las instalaban, tenían un rendimiento limitado y en muchos casos eran demasiado caras para ser instaladas de manera masiva. La introducción de la tecnología WiMAX cambiará todo esto. La nueva generación de productos certificados por el WiMAX Forum, ofrecerán redes de gran capacidad para aplicaciones que no requieren línea de vista (“None line-of-sight” o NLOS por sus siglas en inglés) entre equipos a precios menores.

El estándar 802.16-2004 puede alcanzar una velocidad de comunicación de hasta 70 Mbps, operando en un rango de frecuencias de 2 a 11 GHz y 124 Mbps en frecuencias hasta los 60 GHz. WiMAX a través de su red puede prestar servicio a varios cientos de usuarios por canal, asegurando un gran ancho de banda y además soporta diferentes tipos de tráfico como tráfico continuo y de ráfagas, siendo independiente de protocolo. Puede transportar información de diferentes tecnologías existente y puede soportar múltiples servicios simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS), por lo cual resulta adecuado para voz (VoIP), datos y vídeo. Por ejemplo, la voz y el vídeo requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

WiMAX contempla la posibilidad de la comunicación entre una comunidad de usuarios dispersos a un costo muy bajo y con una gran seguridad al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

WiMAX puede resultar muy adecuado para unir puntos de acceso WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento WiFi es relativamente barato, en cambio un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa de radio parece muy razonable. WiMAX extiende el alcance de WiFi.

Otra capacidad única de la tecnología WiMAX es su aceptación a nivel global. La tecnología puede funcionar en las bandas con licencia 3.5GHz y 2.5GHz (en ambas TDD y FDD) así como en la banda sin licencia 5.8GHz. Otras bandas estarán incluidas según la demanda y regulación en las diferentes regiones alrededor del mundo.

Estándares únicamente no son suficientes para iniciar la adopción masiva de una tecnología. Para impactar y ofertar banda ancha de la manera que ambicionamos, la industria necesita una organización como el WiMAX Forum para promover y certificar que los productos puestos en el mercado cumplen con la promesa de interoperabilidad conforme a unas especificaciones comunes. Estos sistemas serán escalables hasta miles de usuarios y gracias a su interoperabilidad, los proveedores de servicio podrán comprar equipos de más de un fabricante reduciendo el riesgo de la inversión y creando un mercado con precios competitivos.

La tecnología WiMAX evolucionará con el tiempo. Los primeros productos serán unidades exteriores que podrán funcionar en aplicaciones con línea de vista entre equipos ("Line-of sight" o LOS por sus siglas en inglés) o sin ella. La segunda generación será para unidades interiores, con módems auto instalables similares a los módems de cable o DSL.

Para entonces, las redes WiMAX ofrecerán portabilidad, permitiendo el uso nómada, donde los clientes podrán llevar su módem WiMAX o su computadora portátil con un módem incorporado a cualquier lugar donde haya cobertura por parte de la red.

El grupo IEEE 802.16e está actualmente trabajando de manera agresiva en una extensión del estándar 802.16- 2004 que añadirá la oferta de aplicaciones

móviles. Una vez que el proceso de estandarización esté completado, la movilidad pasará a ser el paso natural para la tecnología WiMAX. En este sentido, la visión del WiMAX Forum es que la tecnología WiMAX no reemplazará las redes existentes 3G y WiFi sino que será construida como una extensión o superposición de esas redes. Las redes WiMAX pueden ser extendidas para alcanzar a los puntos de acceso y pueden extender la capacidad de las redes 3G con un énfasis en la oferta de servicios de datos y aplicaciones.

1.2 ESTÁNDARES IEEE 802¹

IEEE 802 es un comité y grupo de estudio de estándares perteneciente al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), que actúa sobre Redes de Computadores, concretamente y según su propia definición sobre redes de área local (RAL, en inglés LAN) y redes de área metropolitana (MAN en inglés). También se usa el nombre IEEE 802 para referirse a los estándares que proponen, y algunos de los cuales son muy conocidos: Ethernet (IEEE 802.3), WiFi (IEEE 802.11), ó WiMAX (IEEE 802.16).

Se centra en definir los niveles más bajos (según el modelo de referencia OSI o sobre cualquier otro modelo), concretamente subdivide el segundo nivel, el de enlace, en dos subniveles, el de enlace lógico, recogido en 802.2, y el de acceso al medio. El resto de los estándares recogen tanto el nivel físico, como el subnivel de acceso al medio.

Dentro de los grupos de trabajo de la IEEE, están los siguientes:

- **IEEE 802.1** Protocolos superiores de redes de área local
- **IEEE 802.2** Control de enlace lógico
- **IEEE 802.3** (Ethernet) Es el nombre de un comité de estandarización del IEEE y por extensión se denominan así los estándares por el producidos.

La primera versión fue un intento de estandarizar ethernet aunque hubo un campo de la cabecera que se definió de forma diferente.

¹ www.wikipedia.com

Posteriormente ha habido ampliaciones sucesivas al estándar que cubrieron las ampliaciones de velocidad (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y el de 10 Gigabits), redes virtuales, hubs, conmutadores y distintos tipos de medios, tanto de fibra óptica como de cables de cobre (tanto par trenzado como coaxial).

- **IEEE 802.4** Token Bus (abandonado).
- **IEEE 802.5** Token Ring.
- **IEEE 802.6** Red de área metropolitana (abandonado).
- **IEEE 802.7** Grupo de Asesoría Técnica sobre banda ancha (abandonado).
- **IEEE 802.8** Grupo de Asesoría Técnica sobre fibra óptica (abandonado).
- **IEEE 802.9** RAL de servicios integrados (abandonado).
- **IEEE 802.10** Seguridad interoperable en RAL (abandonado).
- **IEEE 802.11** o WiFi es un estándar de protocolo de comunicaciones de la IEEE que define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local.
- **IEEE 802.12** Prioridad de demanda.
- **IEEE 802.13** (no usado).
- **IEEE 802.14** Cable módems, es decir módems para televisión por cable. (abandonado).
- **IEEE 802.15** Red de área personal inalámbrica, que viene a ser Bluetooth.
- **IEEE 802.16** Acceso inalámbrico de Banda Ancha, de Área Metropolitana, también llamada WiMAX, para acceso inalámbrico.
- **IEEE 802.17** Anillos de paquetes con recuperación, se supone que esto es aplicable a cualquier tamaño de red, y está bastante orientado a anillos de fibra óptica.
- **IEEE 802.18** Grupo de Asesoría Técnica sobre Normativas de Radio.
- **IEEE 802.19** Grupo de Asesoría Técnica sobre Coexistencia.

- **IEEE 802.20** Acceso inalámbrico de Banda ancha móvil, que viene a ser como el 16 pero en movimiento.
- **IEEE 802.21** Interoperabilidad independiente del medio
- **IEEE 802.22** Red inalámbrica de área regional.

Como se puede ver dentro de los grupos de trabajo de la IEEE802, encontramos el IEEE802.16 que se encarga del estudio de los estándares que regirán a la nueva tecnología denominada WiMAX, y que en el presente trabajo detallará sus ventajas y desventajas; ya que será usado en un diseño posterior.

1.3 ANTECEDENTES DE LA TECNOLOGÍA WiMAX

1.3.1 ¿QUÉ ES WiMAX (WORLD WIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS)²?

La Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microonda o WiMAX (World Wide Interoperability for Microwave Access), es una especificación para redes metropolitanas inalámbricas de banda ancha que está asociado a los estándares IEEE 802.16x.

Fue concebida como una solución de última milla en redes metropolitanas (MAN) para prestar servicios a nivel comercial. Puede entregar todos los niveles de servicio necesarios para un Carrier dependiendo del contrato con el suscriptor, distintos servicios de transmisión de paquetes como IP y Voz sobre IP (VoIP), así como servicios conmutados (TDM), E1s/T1s, voz tradicional (Clase-5), interconexiones ATM y Frame Relay.

1.3.2 ESTÁNDARES 802.16³

La tabla 1.1 contempla los estándares IEEE 802.16x, todas sus revisiones y características de cada uno.

802.16(2001)	10 – 60 GHz, Modulación QAM, LOS
802.16a(2003)	2 – 11 GHz, OFDM y OFDMA, NLOS

² Artículo “WiMAX, un estándar emergente”, José Manuel Huidobro, Ingeniero en Telecomunicaciones, Revista Antena de Telecomunicación, Septiembre 2004.

³ WiMAX 802.16-2004 Soluciones R/S para Aplicaciones de Banda Ancha, Lara Gonzalo, Abril 2005

802.16b/c	Interoperabilidad y especificaciones de certificaciones
802.16d(2004)	Añade 2 – 11 GHz a la especificación de interoperabilidad, LOS
802.16-2004	Reemplaza a 802.16, 802.16a y 802.16d
802.16e(2005)	2 – 6 GHz, Movilidad

Tabla 1.1 Resumen de los estándares 802.16

1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA WiMAX⁴

El estándar 802.16 puede alcanzar una velocidad de comunicación de hasta 124 Mbps en un canal con un ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 GHz), mientras que el 802.16-2004 puede llegar a los 70 Mbps, operando en un rango de frecuencias más bajo (2 a 11 GHz). Es un claro competidor de LMDS.

Estas velocidades tan elevadas se consiguen gracias a utilizar la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido.

Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la TV digital, sobre cable o satélite, así como para WiFi (802.11a); por lo que está suficientemente probada. Soporta los modos FDD y TDD para facilitar su interoperabilidad con sistemas celulares o inalámbricos.

Soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como a ráfagas, siendo independiente de protocolo; así, transporta IP, Ethernet, ATM, etc.; y soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz (VoIP), datos y vídeo. Por ejemplo, la voz y el vídeo requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que

⁴ Artículo “WiMAX, un estándar emergente”, José Manuel Huidobro, Ingeniero en Telecomunicaciones, Revista Antena de Telecomunicación, Septiembre 2004.

las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

Otra característica de WiMAX es que soporta antenas inteligentes (smart antennas), propias de las redes celulares de 3G, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que 802.11a.

También, como se ha mencionado, se incluye la posibilidad de formar redes malladas para que los distintos usuarios se puedan comunicar entre sí, sin necesidad de tener visión directa entre ellos (NLoS). Ello permite, por ejemplo, la comunicación entre una comunidad de usuarios dispersos, a un costo muy bajo y con una gran seguridad, al disponerse de rutas alternativas entre ellos.

En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios (X.509) y la encriptación de los datos mediante el algoritmo DES.

Una de las principales limitaciones en los enlaces a larga distancia vía radio es la limitación de potencia, para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere. Sin embargo, los más recientes avances en los procesadores digitales de señal hacen que señales muy débiles (llegan con poca potencia al receptor) puedan ser procesadas sin errores, un hecho del que se aprovecha WiMAX. Con los avances en el diseño de baterías (recientemente se han anunciado baterías que se recargan en 30 segundos) podrá haber terminales móviles WiMAX compitiendo con los tradicionales de GSM y de UMTS.

1.4.1 ESQUEMAS DE MODULACIÓN⁵

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

La modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora

⁵<http://es.wikipedia.org/wiki/Modulacion>

cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.

Básicamente existen dos tipos de modulación: la modulación analógica y la modulación digital.

Mediante el proceso de modulación, el espectro de la señal original (en banda base) se traslada desde la gama de frecuencias en banda base a la gama de frecuencias de la onda portadora, la cual es generalmente una señal de alta frecuencia.

El utilizar frecuencias superiores proporciona mayores anchos de banda para la transferencia de la información, lo cual redundará en una capacidad superior y en el uso de antenas de menor tamaño. Así mismo usando modulación se puede conseguir mayores alcances en la transmisión y una radiación de la energía más efectiva. Sin embargo, la modulación no necesariamente utiliza altas frecuencias, como en el caso de transmisión de señales moduladas por líneas telefónicas.

1.4.1.1 Modulación Digital⁶

La modulación en banda ancha es una técnica en la cual los datos son transmitidos usando una señal portadora (normalmente una señal analógica, tal como una onda sinusoidal), la cual es modulada de acuerdo a la información digital (señal en banda base) que se desea transmitir, convirtiéndose la señal digital en una forma analógica para la transmisión. En el lado del receptor mediante el proceso de demodulación la señal recibida es convertida nuevamente al formato digital.

La modulación digital es entonces el proceso de introducir en la amplitud, frecuencia, fase o una combinación de estos parámetros de una Onda Portadora (sinusoide), la información digital en banda base.

La sinusoide que actúa de portadora tiene la forma:

⁶ Comunicación Digital, Msc. María Soledad Jiménez, Escuela Politécnica Nacional, 2004.

$$A_c \cos(W_c t + \Phi)$$

Donde: A_c es la amplitud pico de la portadora,

W_c es la frecuencia angular de la portadora,

Φ es la fase de la portadora.

1.4.1.1.1 Modulación FSK (Frequency Shift Keying)

Es una técnica de modulación digital del tipo angular, en la que a un estado de la señal de datos le corresponde una determinada frecuencia de la señal modulada.

La expresión general de una señal modulada FSK, considerando una portadora de amplitud pico unitaria y fase nula, es la siguiente:

$$s(t) = \cos\{W_c + [b_n(t) * dW] / 2\}t$$

Donde: b_n = señal digital NRZ en banda base, relacionada con los datos

W_c = frecuencia angular de portadora

dW = diferencia de frecuencia entre dos frecuencias adyacentes

De manera que la modulación FSK genera una señal de amplitud constante, en la cual la información está implícita en la frecuencia de la portadora modulada.

1.4.1.1.2 Modulación PSK (Phase Shift Keying)

En la modulación PSK (Phase Shift. Keying), es la fase de la portadora la que cambia de acuerdo a la señal de datos, en tanto, que la amplitud de la portadora modulada se mantiene constante.

Constituye un tipo de modulación angular muy eficiente. Ampliamente utilizada en radio digital por sus características de amplitud constante, insensibilidad a

variaciones de nivel y buen desempeño contra errores.

Se tienen dos esquemas de modulación PSK, de acuerdo a cómo se dan los cambios en la fase de la portadora modulada.

1.4.1.1.2.1 Modulación PSK Convencional

Este tipo de modulación se da cuando la información (modulante) está representada por el valor absoluto de la fase de la portadora modulada.

La expresión matemática que describe una señal modulada PSK, considerando una portadora de amplitud pico unitaria y fase inicial nula, es la siguiente:

$$s(t) = \text{Cos}\{W_c t + \theta_i\}$$

Donde: θ_i corresponde a la fase de la portadora modulada, la misma que varía de forma:

$$s(t) = \text{Cos} \{W_c t + [b_M(t) * \Delta \theta] / 2\}$$

Donde:

$b_M(t)$ = Señal simétrica NRZ en banda base de M niveles, que toma los valores $\pm 1, \pm 3, \dots$

M = número de fases (potencias de 2)

W_c = frecuencia angular de la portadora

$\Delta \theta = 2\pi / M$ = separación entre fases adyacentes

Se tiene modulaciones de múltiples estados. Entre las más comunes: 2-PSK (BPSK), 4-PSK (QPSK), 8-PSK, 16-PSK, etc.

1.4.1.1.2.2 Modulación BPSK o 2-PSK

En este caso se tienen dos fases diferentes ($M = 2$), asignándose una de ellas

a los 1s y la otra a los 0s. La separación entre fases adyacentes es de 180 grados, pues $\Delta\theta = 2\pi / M = \pi$.

Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida (señal modulada) se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. En el dominio del tiempo la portadora modulada para el caso BPSK se vería como lo muestra la figura 1.1.

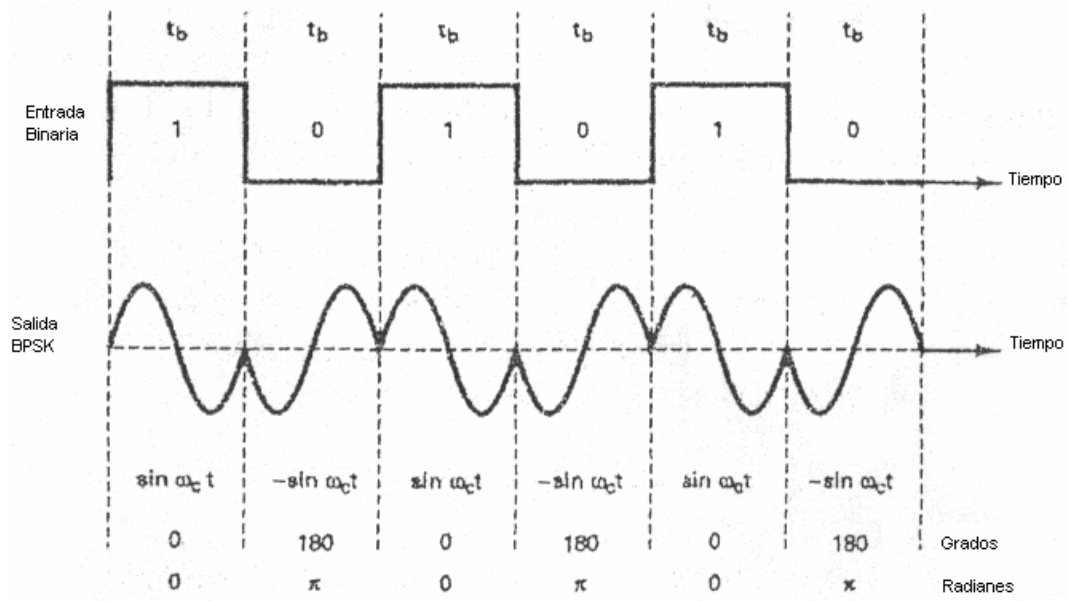


Figura 1.1 Señal Modulada BPSK.

La relación entre la velocidad de modulación (V_m en baudios) y la velocidad de transmisión (V_t en bps) par BPSK es:

$$V_m = \frac{V_t}{\log_2 M} = V_t$$

Es muy ilustrativo representar la portadora modulada usando un diagrama de constelación, donde cada señal se representa por un punto, el cual corresponde al extremo del vector asociado en el diagrama fasorial. Tal diagrama para el caso BPSK se muestra en la figura 1.2.

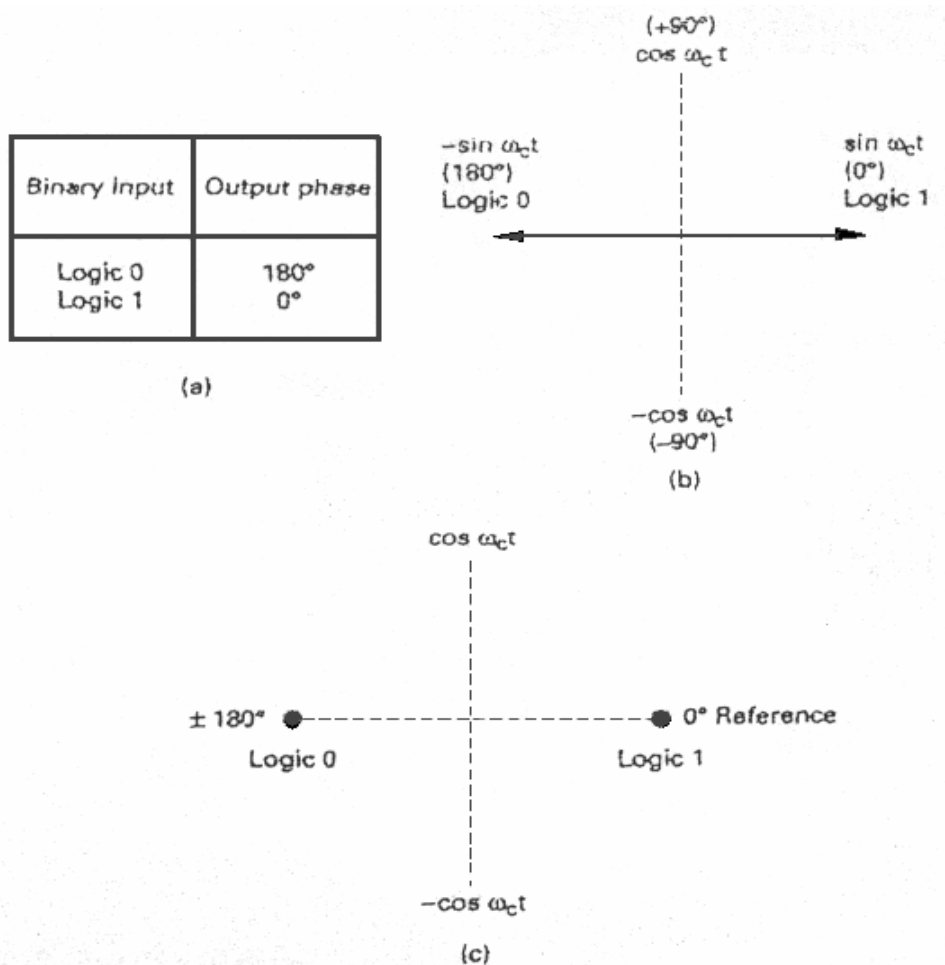


Figura 1.2 Señal modulada BPSK (a) Fase, (b) Diagrama Fasorial,

(c) Diagrama de Constelación.

1.4.1.1.2.3 Modulación QPSK o 4-PSK

Para una señal modulada QPSK el número de fases correspondientes es 4 (pues $M = 4$), cada una de ellas transmitirá dos bits y estarán separadas 90 grados, pues $\Delta\theta = 2\pi / M = \pi / 2$.

De tal manera que cada dibit (2 bits) diferente genera una de las cuatro fases posibles.

Consecuentemente, para cada dibit que entra a un modulador QPSK, ocurre un cambio de fase en la salida del modulador. Así que, la relación entre la velocidad de modulación (velocidad de señal) " V_m " y la velocidad de transmisión " V_t " en QPSK será:

$$V_m (\text{baudios}) = \frac{V_t}{\log_2 M} = \frac{V_t}{2}$$

1.4.1.1.2.4 Modulación 8-PSK y 16-PSK

Se requieren 8 y 16 fases diferentes en cada caso, separadas 45 y 22,5 grados respectivamente.

Para 8-PSK la velocidad de modulación es $\frac{V_t}{3}$; en tanto que para 16-PSK V_m es igual a $\frac{V_t}{4}$. Consecuentemente, el ancho de banda de las señales moduladas se reducirá las mismas proporciones.

1.4.1.1.3 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)⁷

La modulación de amplitud en cuadratura QAM, es una modulación lineal que consiste en modular en doble banda lateral dos portadoras de la misma frecuencia desfasadas 90°. Cada portadora es modulada por una de las dos señales a transmitir. Finalmente las dos modulaciones se suman y la señal resultante es transmitida.

Este tipo de modulación tiene la ventaja de que ofrece la posibilidad de transmitir dos señales en la misma frecuencia, de forma que favorece el aprovechamiento del ancho de banda disponible. Tiene como inconveniente que es necesario realizar la demodulación con demoduladores síncronos.

La expresión matemática de la señal modulada QAM puede expresarse de la siguiente forma:

$$s(t) = r_i \cdot \text{Cos}\{W_c t + \theta_i\}$$

Donde se observa que efectivamente r_i está asociado con los cambios en la amplitud de la portadora modulada, en tanto que θ_i está asociado con los

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Modulacion>

cambios en fase de la portadora modulada.

Es posible considerar a la modulación QAM como una expresión de la modulación PSK, donde las señales en banda base son generadas independientemente, en consecuencia se establecen dos canales (I y Q) en cuadratura completamente independientes.

Si se tienen dos niveles en cada canal (I y Q) se tendría el caso de una señal 4 - QAM que sería idéntico al caso 4 - PSK. Sin embargo, sistemas QAM de mayor orden ($M > 4$) son diferentes a los sistemas de múltiples fases PSK.

En la figura 1.3, se aprecia tanto el diagrama fasorial como el diagrama de constelación para el caso de una modulación 16 - QAM.

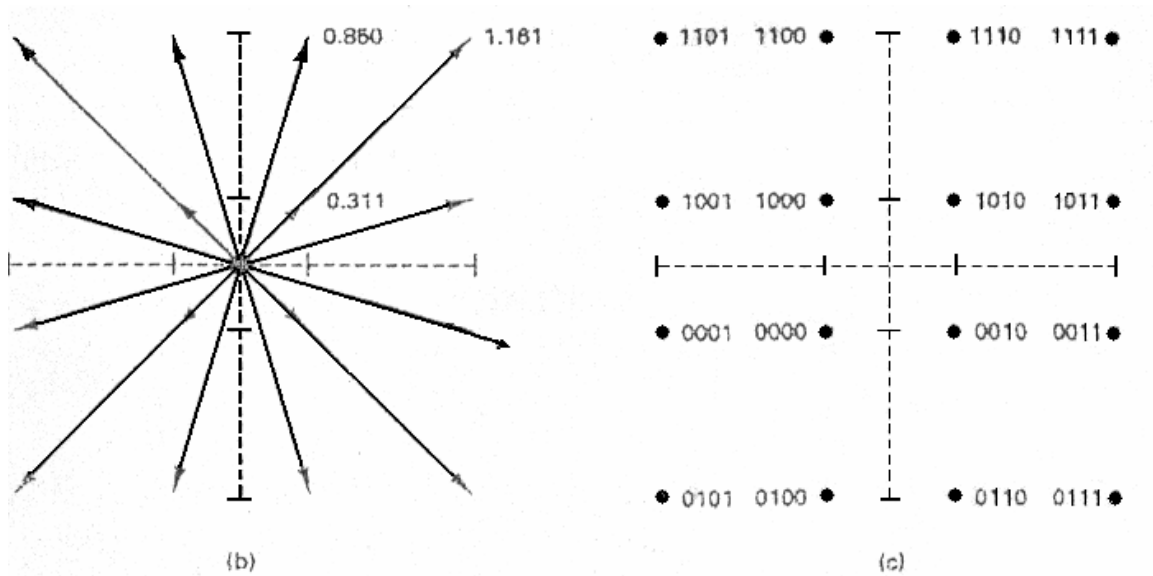


Figura 1.3 Modulación 16 QAM (a) Diagrama fasorial,

(b) Diagrama de Constelación.

En general, la modulación QAM da una tasa de error (BER) menor que la PSK para la misma relación S/N; y, esta última presenta un comportamiento mejorado con respecto a la modulación ASK.

1.4.1.1.4 Modulación por división ortogonal de frecuencia (OFDM)⁸

La modulación por división ortogonal de frecuencia, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), también llamada modulación por multitono discreto, en inglés Discreet Multitone Modulation (DMT), es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia.

Normalmente se realiza la modulación OFDM tras pasar la señal por un codificador de canal con el objetivo de corregir los errores producidos en la transmisión, entonces esta modulación se denomina COFDM, del inglés Coded OFDM.

Debido al problema técnico que supone la generación y la detección en tiempo continuo de los cientos, o incluso miles, de portadoras equiespaciadas que forman una modulación OFDM, los procesos de modulación y demodulación se realizan en tiempo discreto mediante la IDFT y la DFT respectivamente.

1.4.1.1.4.1 Características de la modulación OFDM

La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente al desvanecimiento debido a las condiciones meteorológicas y frente a las interferencias de RF.

Mejora el problema de interferencia multicamino, aumentando la eficiencia y optimizando el aprovechamiento del ancho de banda disponible.

Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

1.4.2 MODULACIÓN ADAPTIVA

La técnica de modulación adaptiva consiste en ajustar una señal de

⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_divisi%C3%B3n_ortogonal_de_frecuencia

información a un esquema de modulación más robusto en comparación del que está utilizando, de acuerdo al comportamiento de la señal en un canal de comunicación.

WiMAX utiliza 9 esquemas de modulación diferentes, con distintas características de eficiencia espectral. Entre las principales tenemos BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, y 256 QAM.

Como resultado de usar esta técnica se obtiene una señal con menor tasa de bits errados y mayor velocidad de transmisión, la figura 1.4 representa un ejemplo de cómo trabajaría la modulación adaptativa en función de la distancia.

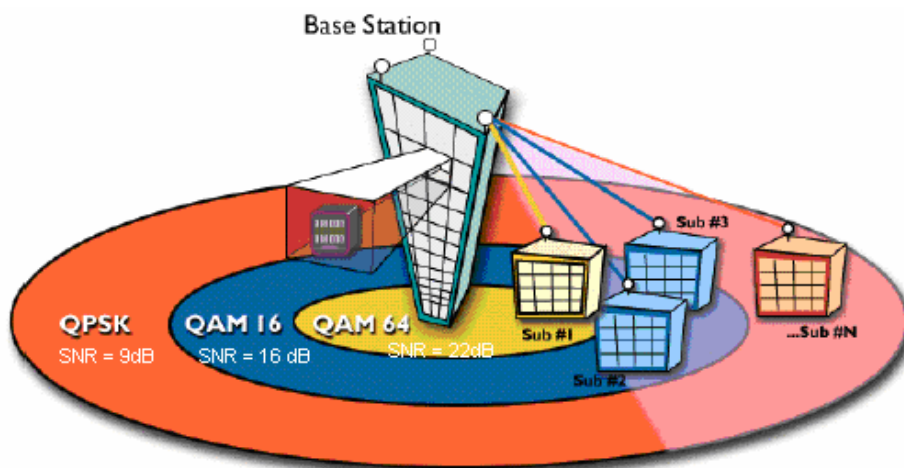


Figura 1.4 Ejemplo de Modulación Adaptiva.

1.4.3 ÁREA DE COBERTURA DE WiMAX

WiMAX es un sistema BWA (Broadband Wireless Access) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 Km.), escalable (es fácil añadir nuevos canales/usuarios, el ancho de banda asignado a cada uno es flexible y permite tanto sistemas en espectro “licenciado” como “no licenciado”) y en cuya cobertura se considera la incorporación de antenas sectoriales tradicionales o antenas adaptivas con modulaciones adaptables que permiten intercambiar ancho de banda por alcance, la tabla 1.2 a continuación nos da una visión del alcance y ancho de banda para diferentes tipos de propagación de las ondas de radio.

Entorno	Tamaño celda	Rendimiento
Urbanos en interiores (NLOS)	1 Km.	21 Mbps con canales 10 MHz
Suburbanos en interiores (NLOS)	2.5 Km.	22 Mbps con canales 10 MHz
Suburbanos en exteriores (NLOS)	7 Km.	22 Mbps con canales 10 MHz
Rurales en interiores (NLOS)	5 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5 MHz
Rurales en exteriores (LOS)	15 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5 MHz

Tabla 1.2 Área de Cobertura de WiMAX

1.4.4 TÉCNICAS DE DUPLEXACIÓN.

El estándar WiMAX soporta FDD (*frequency division duplexing*) y TDD (*time division duplexing*) para permitir la interoperabilidad con los sistemas celulares y otros sistemas inalámbricos.

1.4.4.1 Duplexación por División de Frecuencia⁹

El duplexado por división de frecuencia (FDD) es cuando a cada usuario se le proporciona dos bandas de frecuencias distintas. En el FDD, cada canal duplex consiste en realidad de dos canales simplex. En cada receptor se usa un aparato especial llamado duplexor, que también se usa en la estación base, para permitir la transmisión y recepción simultáneas en cada canal duplex.

1.4.4.2 Duplexación por División de Tiempo (TDD)¹⁰

TDD se consigue subdividiendo cada trama en 24 intervalos de tiempo (time slots), 12 de los cuales son usados para el “down-link” y 12 para el “up-link”. Cada trama dura 10 ms proveyendo una velocidad promedio de 100 tramas duplex por segundo.

Cada intervalo contiene 392 bits de datos, con 320 bits usados para información y 64 bits para chequeo de errores y control, como se puede apreciar en la figura 1.5.

⁹ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wayne Tomasi, Prentice Hall, 2003

¹⁰ Data and Digital Processing Techniques in Mobile and Cellular Radio, Geoff Varrall y Roger Belcher, Quantum Publishing, 1992

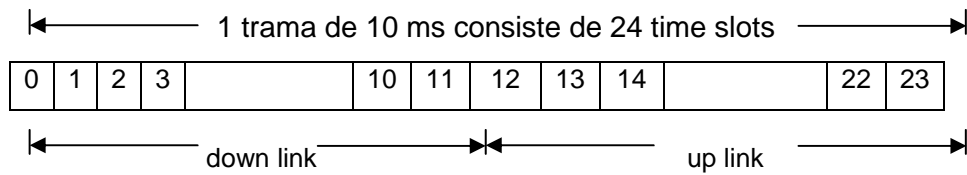


Figura 1.5 Trama TDD

1.4.4.3 Ventajas y desventajas de utilizar TDD y FDD

Cuando se utiliza TDD, el ancho de banda a ocupar se lo establece mientras el ciclo de trabajo transmisor/receptor varía en el tiempo. Con FDD, el ancho de banda es variable y el ciclo de trabajo transmisor/receptor es fijo. Tanto TDD como FDD consumen una cantidad de espectro equivalente para una velocidad efectiva dada.

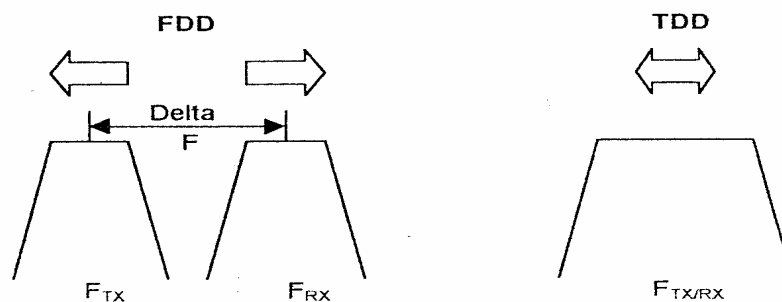


Figura 1.6. Distribución del Uso del Espectro con FDD y TDD

La figura 1.6 muestra dos ventajas de utilizar TDD:

- No se requiere un espacio mínimo de separación entre las bandas de transmisión y de recepción. Es decir, no se pierde capacidad en la separación transmisor-receptor ("banda de guarda" utilizada en FDD).
- En FDD el número de frecuencias requeridas para la reutilización es dos (una para transmitir y otra para recibir). TDD entonces, ofrece mayor reutilización de frecuencia que FDD.

1.4.5 TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO

1.4.5.1 Acceso Múltiple por División de Tiempo(TDMA)¹¹

Método de acceso múltiple, que permite soportar a múltiples usuarios al mismo tiempo que comparten una mancomunidad de canales de radio, de forma que cualquiera de ellos puede acceder a cualquier canal. Cada portadora o trozo de espectro se divide en pequeños períodos de tiempo o microsegmentos llamados “time slots”, de forma que a cada usuario se le asigna en cada momento un time slot, lo que permite multiplicar el número de usuarios.

1.4.6 BANDAS DE FRECUENCIA DE WiMAX

El espectro electromagnético está dividido en bandas de frecuencias de radio enlaces conforme a las normas de los organismos reguladores de las comunicaciones mundiales, los cuales son parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Las frecuencias para radiocomunicaciones se definen entre límites bien establecidos y respetados por los diseñadores y usuarios.

El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66 GHz y requería torres con Línea de Vista (LOS).

La nueva versión ratificada del estándar 802.16-2004, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación. Además, como ventaja añadida, no requiere de torres LOS sino únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos¹².

1.4.7 CAPA FÍSICA DE WiMAX ¹³

El 802.16-2004 contempla cuatro especificaciones en su capa física:

- SC (10-66 GHz): Portadora única
- SCa (sub-11 GHz): Portadora única, NLOS, Bandas con licencia

¹¹ www.optize.es/conten/glossary/letrat.jsp

¹² <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

¹³ Fuente: IEEE 802.16-2004 Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access, White Paper

- OFDM (sub-11 GHz): 256 portadoras, NLOS
- OFDMA (sub-11 GHz): 2048 portadoras, NLOS, Bandas con licencia

El Foro WiMAX ha determinado que los primeros planes de pruebas de interoperabilidad y eventual certificación soportaran 256 OFDM, siendo que ésta capa es común entre 802.16-2004 y ETSI HiperMAN.

Otras características de la capa física que permiten obtener a WiMAX la robustez suficiente para trabajar en ambientes de canales de banda ancha son: ancho de canal flexible, perfil de ráfaga adaptivo, corrección de errores hacia delante con codificación convolucional y concatenación de Reed-Solomon, sistema avanzado de antena (AAS) para mejorar relación rango/capacidad, selección dinámica de frecuencia (DFS) para minimizar la interferencia y codificación espacio-tiempo (STC) para mejorar el desvanecimiento mediante diversidad espacial.

En la tabla 1.3 se indican las características y beneficios de la capa física de WiMAX.

Características	Beneficio
Señal con 256 subportadoras OFDM	Soporta direccionamiento multitrayectoria en ambientes LOS y NLOS externos
Modulación adaptiva y corrección de errores variable mediante RF	Asegura un robusto enlace de RF mientras maximiza la velocidad efectiva para cada suscriptor
Soporta duplexación TDD y FDD	Selección variable dependiendo de la compatibilidad permitida
Ancho del canal flexible (ej. 3.5MHz, 5MHz, 10 MHz, etc.)	Provee flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencia dependiendo del lugar de operación
Diseñado para soportar sistemas de antenas inteligentes	Suprimir interferencia, incrementar sistemas de ganancia para sistemas de banda ancha inalámbrica

Tabla 1.3 Características y Beneficios de la Capa Física

1.4.8 CAPA MAC DE WiMAX¹⁴

El estándar 802.16-2004 usa un protocolo TDMA que se programa por la estación base (BS) para asignar la capacidad a los suscriptores en una topología de red punto multipunto.

Aprovechando este protocolo basado en TDMA, el sistema WiMAX será capaz no solo de ofrecer altas velocidades, sino también servicios de baja latencia como voz y video o acceso a base de datos.

WiMAX utiliza un mecanismo de acceso denominado petición/concesión, además de un mecanismo de corrección de errores de capa 2 denominado ARQ.

En la tabla 1.4 se indican las características y beneficios de la capa MAC de WiMAX.

Características	Beneficios
Tramas uplink/downlink con TDM/TDMA	Uso eficiente de ancho de banda
Escalabilidad de 1 a cientos de usuarios	Efectiviza el costo de la red sin importar el número de usuarios
Orientado a Conexión	Calidad de servicio Enrutamiento y envío de paquetes más rápido
Petición de retransmisión automática (ARQ)	Mejora el rendimiento de la red eliminando errores inducidos por capas superiores
Utiliza modulación adaptiva	Ajusta la tasa de velocidad dependiendo de las condiciones del canal de comunicaciones
Seguridad y Encriptación	Protege la privacidad del usuario
Control Automático de Potencia	Habilita el despliegue de celdas minimizando la auto-interferencia

Tabla 1.4 Características y Beneficios de la Capa MAC

¹⁴ Fuente: IEEE 802.16-2004 Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access, White Paper

1.4.9 CALIDAD DE SERVICIO (QoS, Quality of Service)¹⁵

La capacidad de voz es extremadamente importante sobretodo en el mercado internacional. Es por esto que WiMAX incluye características de calidad de servicio permitiendo ofrecer servicios de voz y video que requieren una baja latencia en la red.

Las características de concesión/petición de WiMAX en la capa MAC, permite ofrecer tanto servicios para negocios como un T1, servicios para hogares para manejar grandes volúmenes de datos mediante el “mejor esfuerzo”, similar al nivel de cable, y todo esto en una sola celda de una estación base.

1.4.10 CORRECCIÓN DE ERRORES HACIA DELANTE (FEC)¹⁶

Es una técnica usada por los receptores para corregir errores incurridos en transmisiones, sin requerir que el transmisor realice retrasmisiones de información. Se logra mediante un algoritmo simple donde el transmisor inserta suficiente información redundante en el campo de datos, permitiendo al receptor detectar y corregir errores; sin embargo la utilización de esta técnica reduce la eficiencia de la utilización del ancho de banda del canal. WiMAX utiliza la codificación convolucional y un sistema Reed-Solomon FEC.

1.4.11 ASPECTOS DE SEGURIDAD

Para brindar seguridad WIMAX utiliza los siguientes algoritmos de encriptación:

1.4.11.1 DES (Data Encryption Standard)

El DES es un estándar de EUA que especifica un algoritmo de criptografía aprobado por FIPS (Federal Information Processing Standards) tal como lo requiere el estándar FIPS 140-1. Encriptar datos es convertir datos a una forma no inteligible, llamada cifrado. Desencriptar cifrados convierte los datos a su forma original. El algoritmo describe en este estándar las operaciones de cifrado y descifrado, mismas que están basadas en una clave de números

¹⁵ Fuente: IEEE 802.16-2004 and WiMAX Broadband and Wireless Access for Everyone, White Paper

¹⁶ Newton's Telecom Dictionary, Harry Newton, Flatiron Publishing, 1998

binarios.

Una clave consiste de 64 dígitos binarios (0's o 1's) de los cuales 56 bits son generados al azar y usados directamente por el algoritmo. Los otros 8 bits, los cuales no son usados por el algoritmo, son usados para detección de errores, mediante la utilización de paridad impar.

La clave utilizada tanto para el cifrado debe ser utilizada para el descifrado. La selección de una clave diferente pues simplemente no permite obtener los datos originales.

Un aproximado de 72000 billones de claves se puede obtener con este método de seguridad, lo que hace muy improbable que el código pueda ser quebrantado. Pero al existir hoy en día computadores que tienen velocidades que superan en mucho a las velocidades promedios que tenían los procesadores en el año en que se lanzo el estándar (1977), podemos decir que en teoría si se puede descifrar el código si no se tiene un continuo cambio de clave.

En 1998 la Electronic Frontier Foundation, usando una computadora llamada el DES Cracker (Descifrador DES), logró romper DES en menos de 3 días. Y esto con un financiamiento menor a \$250000. El chip utilizado en el DES Cracker era capaz de procesar 88 mil millones de claves por segundo. Adicional a esto se mostró que con una inversión de un millón de dólares se podía descifrar cualquier clave DES en aproximadamente 3.5 horas.

1.4.11.2 Triple DES Encryption¹⁷

Triple DES es una variación pequeña del estándar original. Esta es tres veces más lenta que el regular DES, pero puede ser millones de veces más segura si se usa apropiadamente. Triple DES es mucho más difundida a nivel mundial que DES, puesto que esta última es más fácil de corromper con la tecnología actual.

¹⁷ <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips46-3/fips46-3.pdf>

Al ver las deficiencias de DES, la respuesta era Triple DES, siendo basado en el algoritmo DES, era fácil modificar el software para utilizar la nueva técnica. Esta también tiene la ventaja de probada confiabilidad y una clave mas larga que elimina el uso de ataques para romper el cifrado.

Triple DES simplemente toma tres claves de 64 bits, para un total de 192 bits. Simplemente se ingresa la clave como una sola de 192 bits y no como tres claves individuales. Triple DES divide la clave de 192 en tres de 64 y el proceso de encriptación es el mismo que en DES sino que se repite 3 veces, de ahí su nombre Triple DES. Los datos se encriptan con la primera clave, se desencriptan con la segunda y finalmente encriptada con la tercera clave, como se observa en la figura 1.7

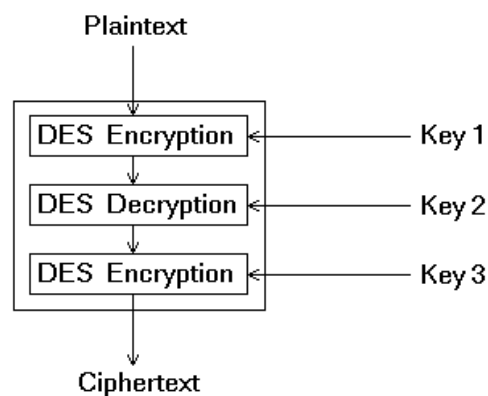


Figura 1.7 Proceso de encriptación con Triple DES

Desafortunadamente, hay algunas claves que debilitan el sistema, y es cuando todas las claves son iguales, la primera y la segunda clave son iguales, o la segunda y la tercera son iguales, puesto que en estos casos se obtiene un DES normal pero con una velocidad tres veces más lenta.

Sin embargo, aun esta versión más poderosa de DES no será capaz de proteger datos por mucho tiempo, pues el mismo algoritmos DES se ha convertido obsoleto.

1.4.11.3 AES (Advanced Encryption Standard)¹⁸

AES (Advanced Encryption Standard) es el nuevo estándar de criptografía simétrica adoptado en el FIPS 197.

En 1977 apareció el primer estándar de encriptación conocido como DES, el mismo que fue cambiando conforme a las revisiones de 1983, 1988, 1993, y 1999. Esta última concluyó con la aparición de una versión múltiple de DES, llamada TDES. Sin embargo ya se pensaba en cambiar definitivamente a DES, para obtener un algoritmo simétrico que garantice la seguridad para los siguientes 20 años a partir del año 2000. Así la convocatoria en 1997 admitió 15 algoritmos, y luego de algunas conferencias, en el año 1999 se determinaron 5 finalistas: MARS, RC6, Rijndael, Serpent y Twofish.

En Abril del 2000 se llevó a cabo la tercera conferencia AES recibiendo los últimos análisis, para finalmente el 2 de Octubre del 2000 se dio a conocer que el ganador fue el algoritmo Rijndael.

El algoritmo Rijndael fue elegido principalmente por garantizar seguridad, que significa ser inmune a los ataques conocidos, tener un diseño simple, y poder ser implementado en la mayoría de los escenarios posibles, desde dispositivos con recursos limitados, como smart cards, hasta procesadores paralelos. El tiempo ha permitido que AES sea adaptado poco a poco, desde los protocolos más usados como SSL, hasta las aplicaciones mas especializadas, como en VoIP.

La descripción de AES es simple si se cuentan con todos los elementos. Esta consiste en dos partes, en describir el proceso de Cifrado, y el proceso de Generación de las subclaves o Extensión de la clave K. El bloque de cifrado tiene una longitud de 128 bits, la longitud de la clave K varia de 128, 192 y 256 bits, en cada caso AES tiene 10,12, y 14 rondas respectivamente, cada vuelta de AES consiste en la aplicación de una ronda estándar, que consiste de 4 transformaciones básicas, la última ronda es especial y consiste de 3 operaciones básicas, añadiendo siempre una ronda inicial. Por otro lado

¹⁸ <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>

tenemos el programa de claves o extensión de la clave, como se aprecia en la figura 1.8.

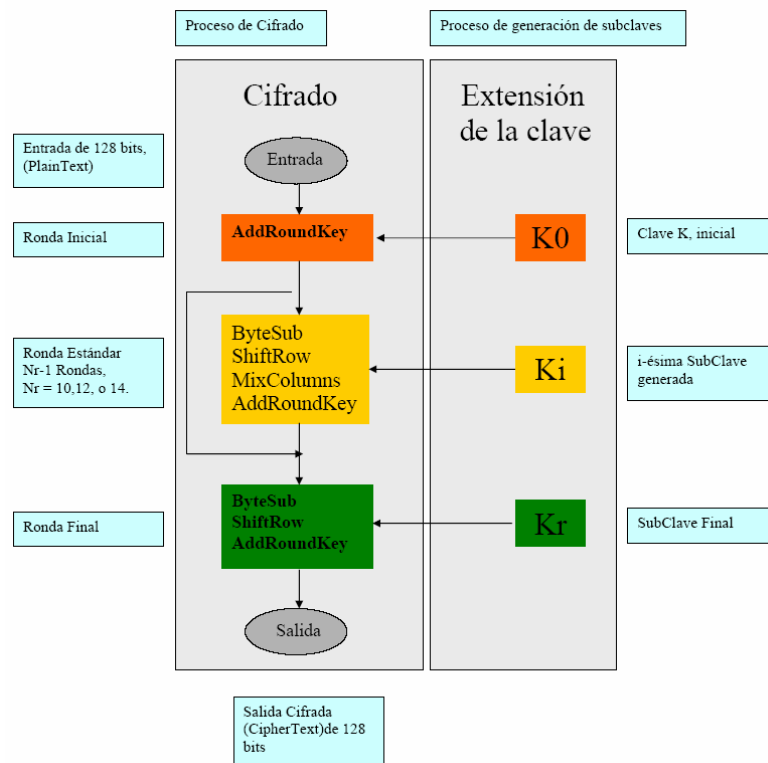


Figura 1.8 Proceso de Encriptación AES

1.5 COMPATIBILIDAD DE WiMAX CON TECNOLOGÍAS EXISTENTES¹⁹

WiMAX no ha sido diseñado para ser competidor de WiFi sino más bien para complementar y exceder las características técnicas de WiFi en aquellas carencias que éste presenta. WiMAX está pensado principalmente como tecnología de "última milla" y se puede usar para enlaces de acceso, MAN o incluso WAN. Destaca WiMAX por su capacidad como tecnología portadora sobre la que se puede transportar IP, TDM, T1/E1, ATM, Frame Relay y voz, lo que la hace perfectamente adecuada para entornos de grandes redes corporativas de voz y datos así como para operadores de telecomunicaciones que se vean obligadas a usar enlaces inalámbricos como parte de su

¹⁹ <http://www.intel.com/espanol/revistaTechnology@>.

backbone. Para cumplir este último requisito era imprescindible contar con diferentes niveles de calidad de servicio así como el uso de diferentes canales de comunicación en un mismo radio enlace físico. Asimismo permite cubrir distancias bastante respetables sin línea de visión directa (N-LOS).

Con la penetrante adopción de las redes inalámbricas en hotspots empresariales, residenciales y públicos, con base en los estándares WiFi, WiMAX y 3GPP (3rd Generation Partnership Project) las plataformas móviles deben ser cada vez más compatibles con radios múltiples y heterogéneas (receptores, equipos terminales). La conectividad continua y en todo lugar pasará a ser una característica de la vida de los usuarios finales, que confiarán en sus comunicadores y otros dispositivos móviles para proporcionarles el mejor servicio del sector. Atender esta visión exige que el sector asuma desafíos técnicos, siendo uno de los más importantes la implantación de tecnologías de roaming inteligente capaces de hacer transiciones transparentes dentro de una red inalámbrica y a través de múltiples redes inalámbricas.

La conectividad transparente requiere movilidad y compatibilidad con transiciones homogéneas y heterogéneas. Las transiciones heterogéneas incluyen el paso por diferentes redes tales como WLAN, WiMAX y redes celulares. Las transiciones homogéneas incluyen el paso a través de puntos de conexión tales como puntos de acceso a WLAN (WiFi) o estaciones base WiMAX, dentro de la misma red.

En el caso de transiciones homogéneas dentro de un ambiente WLAN (WiFi), el primer paso es que la plataforma móvil reconozca de forma inteligente el ambiente inalámbrico inmediato del usuario y que seleccione automáticamente el mejor punto de acceso (Access Point- AP) disponible. En el segundo paso, se deben designar recursos de calidad del servicio (Quality of Service – QoS) y se deben computar las asociaciones de seguridad, tanto antes o durante el intervalo de reasociación.

IEEE 802.11k y 802.11r son los principales estándares del sector actualmente en desarrollo que permitirán transiciones de Conjunto de Servicio Básico (Basic Service Set - BSS) en el ambiente LAN. El estándar IEEE 802.11k proporciona

información para descubrir el mejor punto de acceso disponible. El IEEE 802.11r define mecanismos para transiciones rápidas y seguras entre los puntos de acceso con el mismo Conjunto de Servicio (Extended Service Set - ESS).

Para mantener sin interrupción las conexiones del usuario durante las transiciones a través de diferentes redes, IEEE 802.21 define una función común de *Media Independent Handover* (MIH) entre la Capa 2 y 3 de la Interconexión de Sistemas Abiertos (Open Systems Interconnection-OSI) de la pila de red, lo que permite la movilidad a través de redes heterogéneas. Al permitir que los dispositivos y redes del cliente trabajen en cooperación durante estas transiciones de red, el IEEE 802.21 proporciona mecanismos para mejorar las transiciones a través de WiFi, WiMAX y radios celulares, lo que mejora significativamente la experiencia móvil del usuario. Para asegurar una adopción amplia y exitosa de múltiples redes inalámbricas para aplicaciones de voz, video y datos, Intel lidera el desarrollo de esos estándares de IEEE y comercializa módulos de montaje de tecnología que proporcionarán la movilidad inalámbrica en las plataformas móviles de Intel.

La adopción de la tecnología WiFi sigue creciendo a un ritmo acelerado conforme más redes WAN inalámbricas se ponen en línea y conformen han progresado los adelantos a WiMAX. No obstante, sólo un pequeño porcentaje de la población del mundo tiene acceso de banda ancha de este tipo.

En resumen la tabla 1.5 presenta una comparativa de WIMAX frente a tecnologías inalámbricas existentes.

Tecnología Características	WiMAX 802.16-2004	WiFi 802.11	MBWA 802.20	UMTS y CDMA2000
Velocidad	70 Mbps	11-54 Mbps	16 Mbps	2 Mbps
Cobertura	40-70 Km.	300 m	20 Km.	10 Km.
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Inconvenientes	Interferencias	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

Tabla 1.5 Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas

CAPÍTULO II

TIPOS DE SERVICIOS

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo estudia los diferentes servicios cableados e inalámbricos utilizados en la actualidad bajo diferentes tecnologías y estándares establecidos.

Se describen anchos de banda, alcances para los servicios cableados y áreas de cobertura para los sistemas de radio, se analiza además los tipos de servicios que podrían ser desplegados a través de una red WIMAX destacando su compatibilidad con otras tecnologías, convirtiéndose por esto en una solución interesante.

Finalmente se considera a WIMAX como una solución fácil de implementar y no muy costosa para llegar a lugares de difícil acceso.

2.2 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES QUE SE OFRECEN ACTUALMENTE

Actualmente existen diversas tecnologías con las que un usuario casero accede a Internet y otras redes. Las más comunes son por línea telefónica (dial-up), servicios de televisión por cable con canal de datos (cable módem), transmisión por línea telefónica a mayor frecuencia (DSL y ADSL) y las redes inalámbricas que cumplen con la norma IEEE 802.11, (genéricamente llamadas WiFi). Las comunicaciones por línea de telefonía celular y a través de los cables de energía eléctrica no tienen la misma penetración que las primeras, pero poco a poco se están ubicando en los nichos correspondientes del mercado.

2.2.1 SERVICIOS CABLEADOS

2.2.1.1 Red Digital de Servicios Integrados (ISDN)

Las tecnologías digitales de última milla nacen con ISDN (*Integrated Services Digital Network*), que permite transmitir voz, datos y video en formato digital sobre líneas telefónicas. El ancho de banda alcanza 128 Kbps (pudiéndose contratar varias líneas), pero se trata de una conexión discada por lo cual no es propia para ofrecer servicios en Internet.

La Red Digital de Servicios Integrados RDSI es un conjunto de estándares CCITT/UIT para la transmisión digital por hilo común de cobre así como para otros medios.

RDSI es un completo sistema de procesamiento, desarrollado por los carriers de telefonía con la intención de crear una red totalmente digital que permita transportar voz así como aplicaciones de datos (textos, gráficas, videoconferencia, etc.), desde una única interfaz de red. Entre las ventajas que posee respecto a las conexiones por módem son: la velocidad y confiabilidad de la conexión. Usando RDSI se puede lograr conexiones a más de 64 Kbps.

La RDSI requiere adaptadores a ambos extremos de la transmisión de modo que el proveedor de acceso también necesita un adaptador RDSI. La red RDSI generalmente está disponible a través de la compañía telefónica en la mayoría de las zonas urbanas.

2.2.1.2 Cable MODEM

Otra tecnología de transmisión se da a través del cable coaxial de televisión para abonados, llamada Cable Módem, es una excelente alternativa de acceso para hogares.

El cable módem es un dispositivo que permite acceder a la información de Internet a altas velocidades, así mismo, brinda servicios de transporte de datos, empleando para ello la red de televisión por cable.

El cable módem se conectan a un splitter, el cual divide la señal tanto para la red de televisión por cable como para la red de datos.

Los tipos de servicio pueden ser de una o dos vías:

Si el servicio es de una vía se utiliza la línea telefónica para enviar tráfico a Internet (subida) y se utiliza la red de televisión por cable para recibir los datos de Internet (bajada). El módem telefónico está integrado al cable módem.

Las ventajas son:

- Reducción en la tarifa de Internet para usuarios de alto consumo.
- Estabilidad en la conexión.
- Mayor velocidad de bajada, que la tecnología tradicional.
- Tarifa de uso ilimitado.

Si el servicio es de dos vías no es necesario el uso de la línea telefónica, todo el tráfico hacia y desde Internet viaja por la red de televisión por cable (sujeto a zonas de cobertura).

Las ventajas son:

- No utiliza línea telefónica.
- Todo el tráfico viaja por la red de televisión por cable.
- Mayor velocidad de transmisión
- Tarifa de uso ilimitado.
- Estabilidad en la conexión.

2.2.1.3 XDSL

XDSL es un grupo de tecnologías de comunicación que permiten transportar información multimedia a mayores velocidades, que las que se obtienen actualmente vía módem, simplemente utilizando las líneas telefónicas convencionales.

Puesto que la red telefónica también tiene grandes limitaciones, tales como la

de que su ancho de banda tan solo llega a los 4kHz, no permite el transporte de aplicaciones que requieran mayor amplitud de banda, nace la tecnología DSL (Digital Subscriber Line), que soporta un gran ancho de banda con unos costos de inversión relativamente bajos y que trabaja sobre la red telefónica ya existente, y que convierte la línea analógica convencional en una línea digital de alta velocidad.

Son unas tecnologías de acceso punto a punto a través de la red telefónica pública (circuitos locales de cable de cobre) sin amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, que soportan un gran ancho de banda entre la conexión del cliente y el primer nodo de la red, que permiten un flujo de información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado.

xDSL es una tecnología en la que se necesita un dispositivo módem xDSL terminal en cada extremo del circuito de cobre, que acepte flujo de datos en formato digital y lo superponga a una señal analógica de alta velocidad.

2.2.1.3.1 Funcionamiento

El factor común de todas las tecnologías xDSL es que funcionan sobre líneas de cobre simples, y aunque cada una tiene sus propias características, todas utilizan la modulación para alcanzar elevadas velocidades de transmisión.

Esta tecnología ofrece servicios de banda ancha sobre conexiones que no superen los 6 Km. de distancia entre la central telefónica y el lugar de conexión del abonado; dependiendo de:

- Velocidad requerida
- Calidad de las líneas
- Distancia
- Calibre del cable
- Esquema de modulación utilizado.

La ventaja de las técnicas consiste en soportar varios canales sobre un único par de cables. Basándonos en esto, los operadores telefónicos proporcionan

habitualmente tres canales: dos para datos (bajada y subida) y uno para voz.

2.2.1.3.2 Tipos de xDSL

ADSL.- la más común en el ámbito doméstico. La “A” está por “Asimétrico” ya que el ancho de banda la línea se divide de forma desigual para la subida y la bajada. Las líneas ADSL disponen siempre de mucha más capacidad para descargar datos de INTERNET que para subirlos a la red.

HDSL.- este tipo de línea es simétrico y su empleo está orientado básicamente a las empresas. La capacidad máxima de las HDSL es de 2,320 Kbps en cada una de las direcciones de transmisión.

SDSL.- es similar a la HDSL, debido al hecho de que también es simétrica, su tasa de transferencia, sin embargo, son algo más bajas y se encuentran en 1,544 Kbps.

UDSL.- es una propuesta unidireccional de HDSL, de modo que sólo existe una dirección de transmisión, eso sí al doble de velocidad.

VDSL.- es un desarrollo moderno de ADSL y aún se encuentra en proyecto. Se cree que el estándar VDSL será capaz de transportar datos a velocidades entre 51 Mbps y 55 Mbps, sin embargo las longitudes de las líneas se encuentran limitadas actualmente a 300 m, lo que implica un repetidor al cabo de esa distancia.

RADSL.- es una evolución de ADSL en el sentido de que las líneas RADSL se adaptan automáticamente a la línea y ajustan la velocidad de transmisión máxima posible en cada momento, obteniendo así la máxima eficiencia posible para una línea de comunicación determinada.

La tabla 2.1 hace una comparación de los tipos de xDSL.

		Máxima transferencia (5.490 metros de distancia entre cliente-central telefónica)		Máxima transferencia (3660 metros de distancia entre cliente-central telefónica)	
Tipo de servicio	Proveedor-usuario(descarga de datos)	Usuario-proveedor(carga de datos)	Proveedor-usuario(descarga de datos)	Usuario-proveedor(carga de datos)	
(ADSL)	1.5 Mbps	64 Kbps	6 Mbps	640 Kbps	
(CDSL)	1 Mbps	128 Kbps	1 Mbps	128 Kbps	
(RADSL)	1.544 Mbps	1.544 Mbps	1.544 Mbps	1.544 Mbps	
(ISDL)	128 Kbps	128 Kbps	128 Kbps	128 Kbps	
(RADSL)	1.5 Mbps	64 Kbps	6 Mbps	640 Kbps	
(SHDSL)	No soporta	No soporta	768 Kbps	768 Kbps	
(SDSL)	1 Mbps	1 Mbps	2 Mbps	2 Mbps	
(VDSL)	51 Mbps	2.3 Mbps	51 Mbps	2.3 Mbps	

Tabla 2.1 Comparación de tecnologías xDSL

2.2.2 SERVICIOS INALÁMBRICOS

A medida que la comunicación ha podido prescindir de los cables para convertirse en gran parte en inalámbrica, las empresas usuarias y los prestadores de servicio han visto surgir un sinnúmero de posibilidades anteriormente inexistentes. Por ejemplo, la posibilidad de desplegar sus redes más rápidamente y con menor costo y la presencia de servicios móviles que integran una amplia gama de servicios.

En este sentido, la comunicación inalámbrica se ha vuelto pieza clave para poder comercializar cuanto antes sus servicios de comunicación sin depender por completo de la fibra óptica o el cobre.

Por comunicación inalámbrica debe entenderse aquella que no requiere de cables. La variedad más importante es la que se realiza haciendo uso de la radiocomunicación (otra opción es la luminosa), y de ahí la gran importancia que tiene dividir y asignar en forma óptima el espectro radioeléctrico.

Las comunicaciones inalámbricas son normalmente más económicas de

implementar, ya que se elimina mucho del trabajo civil y de cableado. Las redes son más rápidas de construir y su mantenimiento es más económico, ya que se consolidan muchos de los componentes de la red. Por otro lado, las redes inalámbricas tienen una desventaja frente a las alámbricas y es que son más susceptibles al medio ambiente.

Sin embargo, aunque la opción inalámbrica es más rápida y económica en su construcción, las redes cableadas aún ofrecen velocidades más altas. Sin embargo, las redes inalámbricas tienen una ventaja adicional: la movilidad, y es eso lo que explica el auge que las redes inalámbricas están mostrando en la actualidad.

2.2.2.1 GSM²⁰

El GSM (Group Special Movil o Sistema Global para Comunicaciones Móviles) es el intento europeo de unificar los distintos sistemas móviles digitales.

La ventaja principal de este sistema es que permite realizar o recibir llamadas en cualquier país europeo, aun estando en tránsito por ellos: el portátil se registra automáticamente en la siguiente red GSM al cambiar de un país a otro, quedando inmediatamente disponible para su utilización. Su mayor seguridad es el acceso por tarjeta inteligente y cifrado de todas las conversaciones, evitando escuchas en la red. Integración de voz y datos gracias a la digitalización de las transmisiones de radio, compatibilidad con la RDSI, utilización del espectro de forma más eficiente, con células más pequeñas, y su menor consumo de energía que permite terminales más pequeños, son otras de sus ventajas.

2.2.2.1.1 Características de GSM

Sus características principales son:

- Frecuencia del receptor: 935,2 – 959,8 MHz
- Frecuencia del emisor: 890,2 – 914,8 MHz

²⁰ Todo sobre Comunicaciones, José Manuel Huidrobo, Paraninfo, 2002

- Canales por portadora(un total de 124): 8
- Separación entre portadoras: 200 KHz
- Anchura de banda del canal de radio: 25 KHz
- Técnica de transmisión: TDMA/FDD
- Modulación GMSK (Gaussian minimum shift keying)
- Voz codificada RPE-LPT a 13 Kbps
- Velocidad binaria de transmisión: 22.8 Kbps

2.2.2.2 CDMA²¹

CDMA utiliza códigos digitales únicos, en lugar de radiofrecuencia o canales separados, para distinguir a los abonados. Ambas, la estación móvil (teléfonos celulares) y la estación base, comparten los códigos, que se denominan *secuencia de código pseudo aleatorio*. Todos los usuarios comparten la misma banda del espectro radioeléctrico. Para la telefonía celular, CDMA es una técnica de acceso múltiple digital especificada por la TIA (Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones, Telecommunications Industry Association) como IS-95.

Los sistemas IS-95 dividen el espectro radioeléctrico en portadoras de 1250 KHz (1,25 MHz). Uno de los aspectos peculiares de CDMA es que aunque el número de llamadas telefónicas que una portadora puede transportar es ciertamente limitado, no es un número fijo. Más bien, la capacidad del sistema dependerá de una serie de factores diferentes.

Los receptores CDMA no eliminan el procesamiento analógico por completo, pero distinguen los canales de comunicación mediante una técnica de modulación pseudoaleatoria que se aplica al dominio digital, no esta basada en las frecuencias. De hecho, múltiples usuarios ocupan a la vez la misma banda de frecuencias.

2.2.1.3 Sistema de Distribución de Microondas Multipunto (MMDS)

MMDS (Microwave Multipoint Distribution System), es una tecnología

²¹ Comunicaciones Inalámbricas de Banda Ancha, Regis J. Bates, Mc Graw Hill, 2003

inalámbrica originalmente concebida para la distribución de video en aquellas zonas en las que no es factible realizar un cableado convencional. En los Estados Unidos y también en Ecuador MMDS opera en la banda de 2500 a 2686 MHz, mientras que en otros países se le ha asignado este servicio un rango que va de 2 a 3 GHz.

El sistema permite transmitir video en formato digital (DVB, Digital Video Broadcasting); de esta manera, es posible acomodar 5 canales de video con la técnica de compresión de video MPEG-2 y con resolución NTSC (que es la calidad de video asociada a un canal convencional de televisión del Ecuador) en un canal de 6 MHz.

La transmisión desde la estación principal es un Broadcasting hacia los puntos remotos, mientras la transmisión de los remotos a la estación central se rige mediante técnicas de acceso como pueden ser TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos) u otros.

2.2.2.3.1 Características técnicas de MMDS

En un sistema MMDS los datos son transmitidos vía microondas utilizando un esquema de multiplexión por división de tiempo (TDM, *Time Division Multiplexing*). Cada suscriptor dispone de un módem inalámbrico, el cual monitorea la señal recibida en espera de la información dirigida a un usuario particular. Los datos del canal de retorno (U/S, *upstreaming*) son enviados utilizando la línea telefónica, lo cual se ajusta a la asimetría inherente al acceso a Internet. El canal de D/S (*downstream*, información dirigida al usuario) está compartido, por lo que es necesario algún tipo de algoritmo para administrar el empleo del canal por parte de los suscriptores. Este algoritmo puede ser relativamente simple ya que sería ejecutado desde el extremo transmisor sin necesidad de realimentación por parte de los usuarios. Cada canal de 6 MHz podría ser modulado utilizando por ejemplo la técnica 64-QAM, lo cual representa una tasa de bits de 27 a 30 Mbps después de la respectiva corrección de errores.

Entre los formatos de modulación que pueden emplearse en MMDS tenemos

BPSK (*Binary Phase Shift Keying*, modulación binaria por corrimiento de fase), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*, modulación en cuadratura por corrimiento de fase), QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, modulación de amplitud por cuadratura) y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*, Espectro Esparcido de Secuencia Directa). BPSK es una alternativa pobre dado que la eficiencia espectral es la mitad de la correspondiente a QPSK con poca ventaja en cuanto a la relación señal/ruido. QAM parece ser el estándar adoptado por la industria, ya que permite obtener un elevado rendimiento en cuanto a velocidad de transmisión. DSSS es una técnica que permitiría obtener un rendimiento aún mayor del espectro radioeléctrico, a pesar de lo cual no ha sido aún adoptada por los fabricantes, posiblemente debido a problemas con la legislación vigente.

Otra técnica empleada para aumentar el rendimiento del espectro de RF es la *celularización*. En ella se utilizan múltiples transmisores para enviar información a grupos de suscriptores que están geográficamente dispersos; cada grupo de suscriptores se halla dentro de una región o *celda*. El incremento en la capacidad se produce al enviar diferente información de RF desde distintas celdas utilizando los mismos canales de RF. En la práctica se acostumbra utilizar una combinación de técnicas de sectorización y celularización. Para utilizar un esquema de celularización es necesario contar con un enlace de banda ancha entre la estación central y cada una de las estaciones base, el cual permitirá acomodar el crecimiento del ancho de banda provocado por la re-utilización de frecuencias. Dicho enlace suele ser de fibra óptica o microonda punto-a-punto. Por supuesto, es necesario diseñar tomando en cuenta la presencia de señales ajenas a la deseada en cada una de las celdas, lo que no es un problema tan grave como en el caso de la telefonía celular, en el que cada uno de los usuarios dispone de antenas omnidireccionales: en MMDS cada suscriptor emplea antenas altamente direccionales, dirigidas hacia la respectiva estación base, la figura 2.1 muestra un ejemplo de una configuración empleando MMDS.

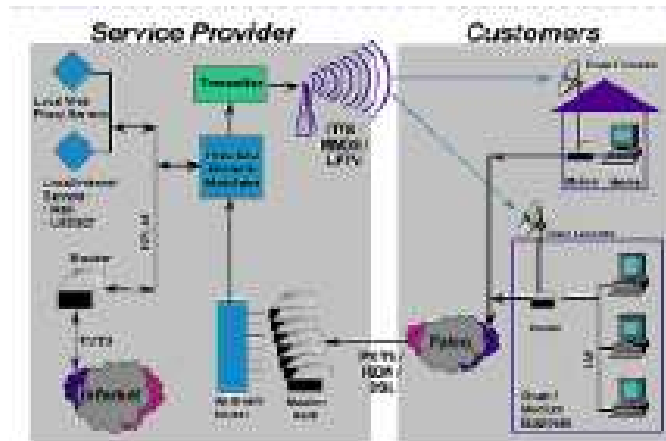


Figura 2.1 Ejemplo de una configuración MMDS

2.2.2.4 LMDS

Los sistemas LMDS (Local Multipoint Distribution Services) surgieron con una orientación similar a las de MMDS, es decir, aplicaciones de distribución de TV multicanal, si bien, debido a la mayor frecuencia de trabajo (26-28 GHz), las distancias alcanzables eran menores (3-4 Km. frente a los 15-20 de MMDS). Esto hizo que los sistemas LMDS se vieran desde el principio como una solución urbana, para entornos de alta densidad y concentración de usuarios.

A diferencia de MMDS, los sistemas LMDS no llegaron a desarrollarse en la práctica para la aplicación inicialmente concebida de distribución de TV, viéndose rápidamente su gran potencial como solución de acceso de gran capacidad en aplicaciones de voz y datos. En este sentido, las licencias concedidas en EEUU por la FCC en marzo de 1998 contemplaban la posibilidad no sólo de servicios de TV sino también servicios interactivos de datos y telefonía. Las licencias concedidas recientemente en España en la banda de 26 GHz van básicamente orientadas a servicios interactivos.

Ninguna de las denominaciones MMDS o LMDS responde a un estándar específico, por lo que dichos sistemas están basados generalmente en soluciones propietarias de cada fabricante. En el caso de LMDS entendemos por tales a aquellos sistemas de acceso radio fijo de gran capacidad, trabajando en las bandas de 26 ó 28 GHz.

Los sistemas LMDS están orientados fundamentalmente a proporcionar servicios de telecomunicaciones a PYME, por proporcionar grandes capacidades a los usuarios finales (2 Mbps y superiores en modo circuito), y por ofrecer una amplia gama de servicios tales como telefonía, RDSI (ISDN), líneas alquiladas a $n \times 64\text{Kbps}$ y 2 Mbps, paquetes de datos, acceso rápido a Internet, etc. A continuación en la figura 2.2 se puede apreciar un ejemplo de una red empleando LMDS:

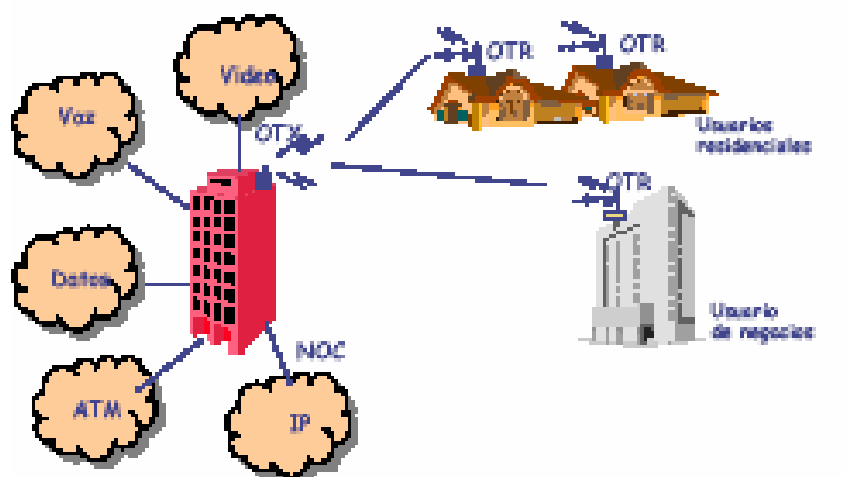


Figura 2.2 Ejemplo de una Red LMDS

2.2.2.5 Wireless Local Loop (WLL)

Se trata de un medio que provee enlaces locales sin cables. Mediante sistemas de radio omnidireccional de bajo poder, WLL permite a las operadoras una capacidad de transmisión mayor a un megabit por usuario y más de un gigabit de ancho de banda agregado por área de cobertura.

Tales sistemas están siendo implantados en las economías emergentes, donde aún no existe acceso a las redes públicas fijas. Los países en desarrollo como China, India, Brasil, Rusia, Indonesia y Venezuela tienen la mirada puesta en la tecnología WLL, como una manera eficiente de desplegar servicios a millones de suscriptores, evitando los costos de trazar rutas de cable físico.

También es altamente beneficioso para los operadores que entran en mercados competitivos, ya que dichas compañías pueden llegar a los usuarios sin tener que pasar por las redes de los operadores tradicionales.

WLL puede ser puesto en ejecución a través de cinco categorías de tecnologías inalámbricas:

- Digital celular.
- Analógico celular.
- Servicios de Comunicaciones personales (PCS).
- Telefonía sin cables de segunda generación (CT-2)
- Implementaciones propietarias.

Cada uno de estas tecnologías tiene una mezcla de fuerzas y debilidades para las aplicaciones WLL, como se puede apreciar en la figura 2.3.

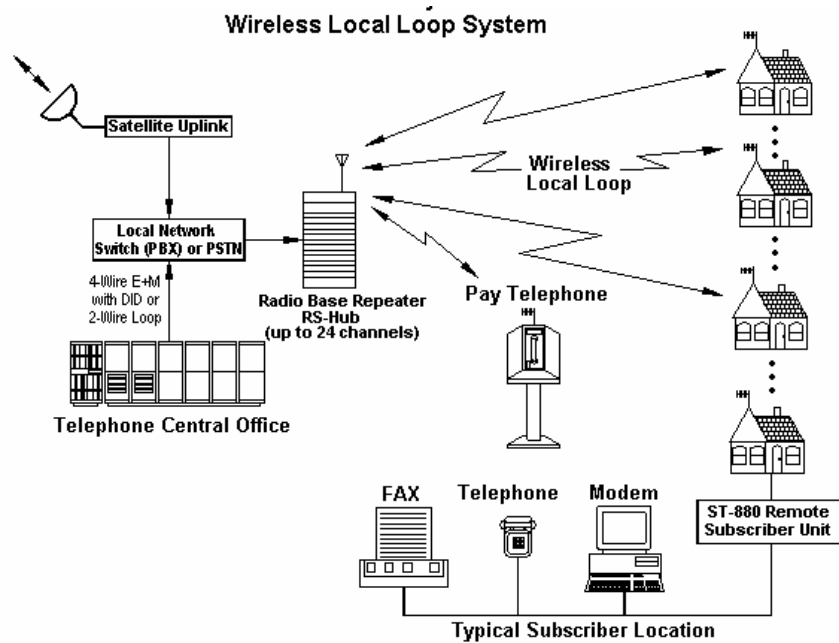


Figura 2.3 Configuración de una Red WLL

2.2.2.6 WiFi²²

La familia 802.11 actualmente incluye seis técnicas de transmisión por modulación que utilizan todos los mismos protocolos. El estándar original de este protocolo data de 1997, era el IEEE 802.11, tenía velocidades de 1 hasta

²² http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. En la actualidad no se fabrican productos sobre este estándar. El término IEEE 802.11 se utiliza también para referirse a este protocolo al que ahora se conoce como "802.11 legacy." La siguiente modificación apareció en 1999 y es designada como IEEE 802.11b, esta especificación tenía velocidades de 5 hasta 11 Mbps, también trabajaba en la frecuencia de 2,4 GHz. También se realizó una especificación sobre una frecuencia de 5 GHz que alcanzaba los 54 Mbps, era la 802.11a y resultaba incompatible con los productos de la b y por motivos técnicos casi no se desarrollaron productos. Posteriormente se incorporó un estándar a esa velocidad y compatible con el b que recibiría el nombre de 802.11g. En la actualidad la mayoría de productos son de la especificación b y de la g (Actualmente se está desarrollando la 802.11n, que se espera que alcance los 500 Mbps). La seguridad forma parte del protocolo desde el principio y fue mejorada en la revisión 802.11i. El primer estándar de esta familia que tuvo una amplia aceptación fue el 802.11b. En 2005, la mayoría de los productos que se comercializan siguen el estándar 802.11g con compatibilidad hacia el 802.11b.

Los estándares 802.11b y 802.11g utilizan bandas de 2,4 GHz que no necesitan de permisos para su uso. El estándar 802.11a utiliza la banda de 5 GHz. Las redes que trabajan bajo los estándares 802.11b y 802.11g pueden sufrir interferencias por parte de hornos microondas, teléfonos inalámbricos y otros equipos que utilicen la misma banda de 2,4 GHz.

2.2.2.7 Bluetooth²³

Es una especificación de la industria que describe la forma en la que teléfonos móviles, computadores, PDA pueden conectarse entre sí o con cualquier otro tipo de aparato utilizando emisiones inalámbricas de corto alcance. Su desarrollo comenzó hace unos siete años de la mano de Ericsson para conectar por radio los móviles con diferentes accesorios. Los emisores y receptores integran un chip con dicha función que les permite comunicarse en la banda de frecuencias de 2.4 GHz y más concretamente entre 2,402 y 2,480 GHz, que es una banda que se puede usar libremente. Debido a que esta

²³ <http://www.zonablueetooth.com>

banda, la banda ISM, está abierta a cualquiera, el sistema de radio Bluetooth está preparado para evitar las múltiples interferencias que se pueden producir. En los sistemas de radio Bluetooth se suele utilizar el método de salto de frecuencia debido a que ésta tecnología puede ser integrada en equipos de baja potencia y bajo costo. Éste sistema divide la banda de frecuencia en varios canales de salto, donde, los emisores, durante la conexión van cambiando de uno a otro canal de salto de manera pseudoaleatoria.

Bluetooth está capacitado para realizar transmisiones tanto de voz como de datos a través de múltiples sistemas operativos y es también válido para la creación de redes inalámbricas, aunque se ha visto superado por otros estándares. Cada uno de los dispositivos que usan esta tecnología posee una dirección única de 48 bits que lo identifica de manera inequívoca siguiendo el estándar IEEE 802.15. Las conexiones pueden ser punto a punto o multipunto y el alcance máximo es de unos 10 metros pero se puede llegar a los 100 metros empleando amplificadores o repetidores de la señal. Las transmisiones de datos podrán alcanzar tasas de hasta 721 Kbps en upstream y 56Kbps en downstream (en la segunda generación de dicha tecnología). Para asegurar la protección de la información se ha definido un nivel básico de encriptación, que se ha incluido en el diseño del radio para proveer de seguridad en equipos que carezcan de capacidad de procesamiento. Dos de los puntos importantes de esta tecnología es el bajo consumo de energía lo cual le otorga una gran movilidad y bajo costo. Por el desarrollo visto hasta ahora se puede prever que el campo de aplicación del Bluetooth estará circunscrito a la comunicación de móviles, PDAs, portátiles y PCs con diversos accesorios y periféricos: manos libres, auriculares, micrófonos, ratón, impresora, teclado, etc.

2.3 SERVICIOS QUE SE OFRECEN A TRAVÉS DE WIMAX

WiMAX se perfila como la opción más eficiente, económica y técnicamente a la hora de implantar conectividad en el ámbito empresarial y residencial, y así satisfacer la creciente demanda de servicios de banda ancha.

WiMAX fomentará el actual mercado del acceso de banda ancha gracias a que se sustenta en un completo proceso de estandarización y en características

tales como la interoperabilidad y la capacidad de transmisión sin necesidad de línea de vista.

WiMAX puede resultar muy adecuado para unir “hotspots” WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento WiFi es relativamente barato pero un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa radio parece muy razonable. WiMAX extiende el alcance de WiFi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G, según como se mire.

Para las empresas es una alternativa a contemplar, ya que el costo puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. Podría ser sustituto con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un costo muy competitivo frente a otras alternativas.

En los países en desarrollo como el nuestro resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia.

Para los operadores móviles, WiMAX es un arma de doble filo. Por una parte la instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que puede ser visto como una amenaza debido a que es un competidor directo de 3G, pero por otra, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

Al mismo tiempo nuevos operadores, fijos o móviles, o los tradicionales ISPs pueden ver una oportunidad para ofrecer servicios a ciertos nichos de mercado.

Algunos operadores de LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) están empezando a considerar esta tecnología muy en serio y ya han comenzado a hacer despliegues de red, utilizando los elementos que hoy por hoy están disponibles. Habrá que esperar para el ver resultado de estas pruebas y si se confirma su aceptación por el global de la industria y de los usuarios.

2.3.1 WiMAX COMO RED DE TRANSPORTE DE WiFi²⁴

El gran ancho de banda de WiMAX representa una opción excelente para usarse como red de transporte conocida como “backhaul”, que se refiere a la conexión desde una estación base o punto de acceso hasta la estación central.

WiMAX se puede usar como una red inalámbrica de transporte para unir “hotspots” WiFi a las redes de los operadores. WiMAX extiende el alcance de WiFi y se perfila como su complemento.

Debido al aumento de puntos de acceso de WiFi los usuarios buscan estar conectados inalámbricamente. Así se puede aplicar esta configuración de red en aeropuertos, universidades, colegios, hoteles, parques, etc.

WiMAX también permite al proveedor de servicios ofrecer inmediatamente conexiones de alta velocidad bajo demanda. Esto se aplica para eventos temporales como exposiciones o ferias, que generan cientos o miles de usuarios para “hotspots” WiFi. En esta aplicación, los operadores usan soluciones 802.16-2004 como transporte la red.

En la figura 2.4 se presenta a WiMAX como red de transporte para WiFi.

²⁴ Intel, IEEE 802.16-2004 and WiMAX, Broadband Wireless Access for Everyone, 2003, http://www.intel.com/netcomms/technologies/WiMAX/WiMAX_docs.htm

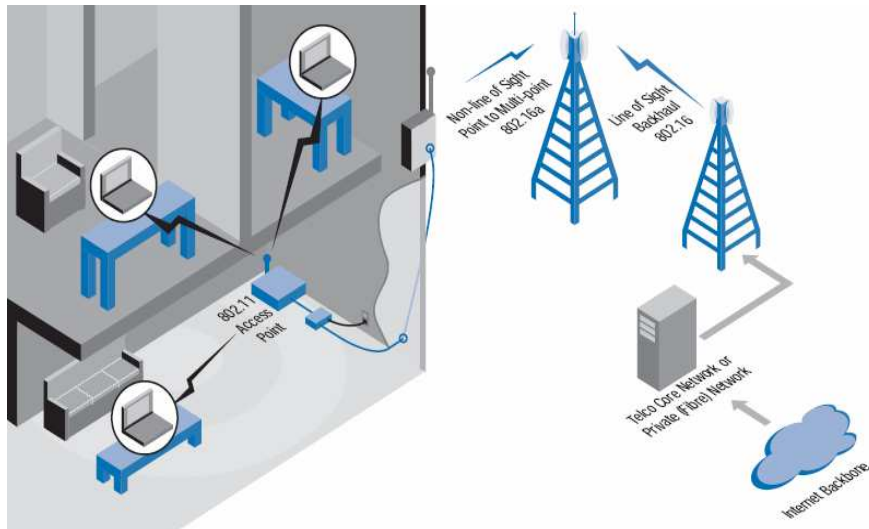


Figura 2.4 Red de Transporte para Hotspots WiFi

2.3.2 REDES PRIVADAS EMPRESARIALES²⁵

Las Redes Inalámbricas Metropolitanas de Banda Ancha conectan edificios y lugares remotos hasta 25 Km. de separación, con velocidades desde 2 Mbps hasta 70 Mbps (Dependiendo de la banda de frecuencia, distancia, antenas, etc.).

Empresas con redes inalámbricas de banda ancha proporcionan fiabilidad, seguridad, alta velocidad conectividad para dos o más ubicaciones remotas. Algunas de estas soluciones son usadas para proporcionar acceso de banda ancha a áreas que se encuentran fuera de cobertura o de difícil acceso, o a suplir redes cableadas existentes.

Las soluciones tanto de frecuencias licenciadas como no licenciadas, están disponibles a una fracción del costo de implementar enlaces de fibra o arrendar T1s. La mayoría de los costos de reemplazar equipos E1/T1 son recuperados en el primer año y se eliminan costos mensuales de operación que demandan estos servicios.

Las ventajas de las redes inalámbricas de banda ancha empresariales y privadas incluyen:

²⁵ www.WiMAX.com

- Habilidad para conectar oficinas de la matriz a oficinas sucursales remotas a través de una red segura y privada.
- Alternativa a costos T1s, RDSI, DSL y cable.
- Rápido despliegue con un mínimo impacto ambiental.
- Fácil escalabilidad para redes en crecimiento.
- Proporcionan respaldo y redundancia para redes existentes.
- Disponibilidad en conjunto de frecuencias licenciadas y no licenciadas.

Las redes inalámbricas de banda ancha empresariales y privadas están comenzando a ser utilizadas en algunas áreas incluyendo:

- Negocios de todos los tamaños.
- Educación (Escuelas públicas, campus universitarios, escuelas técnicas).
- Salud (hospitales y clínicas).
- Seguridad Pública y Cumplimiento de la ley.
- Municipalidades y Gobiernos locales.
- Mercados verticales (Transportación, Servicios públicos, Combustibles, etc.).

En la figura 2.5 se presenta un esquema de una red privada.

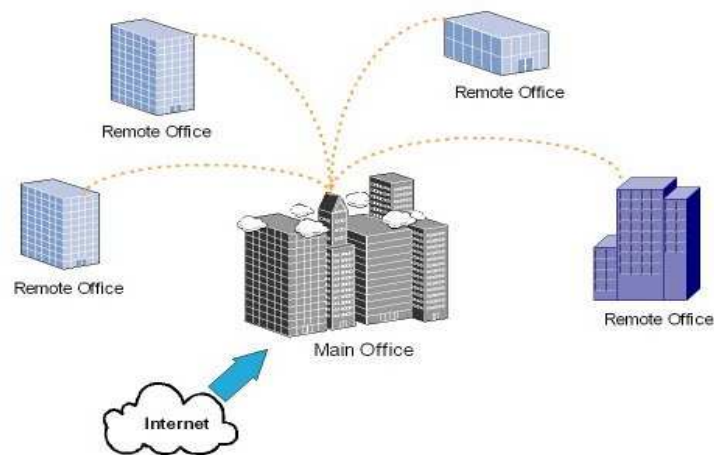


Figura 2.5 Ejemplo de una Red Empresarial Privada.

2.3.3 BACKHAUL INALÁMBRICO DE VOZ Y DATOS²⁶.

La conectividad inalámbrica de banda ancha proporciona flexibilidad, alternativas de bajo costo para celular y “backhaul” de puntos de acceso WiFi para distancias hasta los 25 Km. y velocidades cerca de 70 Mbps (dependiendo de la frecuencia, distancia, antenas, etc.).

El explosivo crecimiento de puntos de acceso WiFi ha creado una gran necesidad de “backhuls” de datos confiables y de bajo costo. Las “carriers” celulares están también incrementando el uso de banda ancha inalámbrica de gran cobertura para transmitir voz y datos hacia sus portales de red.

La solución de “backhaul” inalámbrico consta de conexiones punto a punto de banda ancha entre edificios con distancias de separación hasta los 25 Km. y una velocidad de transmisión desde 2 Mbps a 70 Mbps. Estas se implementan usando enlaces con línea de vista (LOS) para maximizar la efectividad de estas redes y pueden ser usadas en conjunto con otros equipos punto multipunto para brindar una solución completa.

Las ventajas de un backhaul inalámbrica de banda ancha incluyen:

- Habilidad para transmitir alta cantidad de datos a una fracción del costo tradicional de servicios cableados.
- Proporciona respaldo/redundancia para redes existentes.
- Disponibilidad en frecuencias con licencia y sin licencia.

Aplicaciones típicas para un backhaul inalámbrico:

- Transmisión de voz y datos celulares hacia redes conmutadas/PBX
- Transmisión desde puntos de acceso WiFi hacia portales IP.

En la figura 2.6 se presenta un esquema de un Backhaul inalámbrico.

²⁶ <http://www.WiMAX.com>



Figura 2.6 Backhaul inalámbrico

2.3.4 ISPs INALÁMBRICOS (PUNTO MULTIPUNTO)²⁷

Los ISPs inalámbricos proporcionan el acceso de banda ancha de última milla brindando una solución de bajo costo para proveedores y usuarios de Internet.

La solución de ISPs inalámbricos consta de conexiones punto multipunto de banda ancha desde una ubicación central hacia un número de edificaciones con distancias de separación hasta los 25 Km. y velocidades de transmisión de hasta 70 Mbps. Estas pueden ser implementadas con enlaces LOS o NLOS dependiendo de la topografía del terreno y los requerimientos de la red.

Las redes inalámbricas punto multipunto proporcionan alternativas de bajo costo para última milla en áreas de difícil acceso, donde podría ser muy caro implementar redes cableadas/DSL. El equipo usualmente consiste de una estación base central y varios equipos terminales, CPEs (customer premise equipment).

Las ventajas de ISPs inalámbricos incluyen:

- Habilidad para proporcionar servicio de última milla, donde no está disponible el servicio cableado tradicional.
- Alternativas a tecnología costosa como T1s, RDSI, DSL y cable.
- Rápida implementación con mínimo impacto ambiental.
- Escalabilidad para redes en crecimiento.

²⁷ www.WiMAX.com

- Disponible en frecuencias con y sin licencia.

Redes de ISPs inalámbricos están siendo usadas en muchas áreas incluyendo:

- Proporcionar servicios de Internet Inalámbrico.
- Parques industriales y campos empresariales.
- Municipalidades proporcionando acceso a Internet.
- Conectividad de banda ancha para eventos temporales.
- Educación (escuelas públicas, universidades, centros de investigación).
- Salud (Hospitales públicos).

En la figura 2.7 se presenta un esquema de un campus inalámbrico



Figura 2.7 Campus Inalámbrico.

2.3.5 SEGURIDAD Y VIGILANCIA²⁸

El mundo de hoy ha incrementado la demanda de aplicaciones de video en seguridad pública y privada, y en áreas de prevención contra el crimen (ojos de águila). Estos nuevos requerimientos, han creado una demanda a nivel mundial sin precedentes por sistemas de seguridad de bajo costo, flexibles y confiables.

Cada vez más compañías, proveedores e integradores de servicios, están usando redes IP con propósitos de vigilancia como parte de una migración de

²⁸ www.WiMAX.com

servicios hacia IP (video, voz sobre IP, servicios de datos). Usando una combinación de IP y tecnologías de banda ancha inalámbricas para video vigilancia, las compañías y organizaciones podrán beneficiarse de ambas tecnologías.

Ventajas de utilizar tecnologías de vigilancia inalámbrica IP:

- Aprovechamiento de redes IP existentes.
- Monitoreo remoto
- Los sistemas pueden ser instalados, reconfigurados, y desinstalados rápidamente.
- Imágenes de video vigilancia pueden ser transmitidas sobre redes IP privadas y seguras.

Aplicaciones para video vigilancia IP incluyen:

- Centros comerciales y tiendas de menor tamaño.
- Monitoreo de tráfico local.
- Seguridad en transportes y líneas de ferrocarril.
- Vigilancia en bases militares.
- Monitoreo en parques nacionales (fuego, deslaves, etc.)

En la figura 2.8 se presenta un esquema de una red de video vigilancia.



Figura 2.8 Video vigilancia sobre IP de una línea férrea.

2.3.6 INTERNET DE BANDA ANCHA

2.3.6.1 Internet Fijo

WiMAX expandirá la señal de Internet en un área que va de 30 a 50 kilómetros, según sea una zona densamente poblada con edificaciones altas o no, para servir a cientos de usuarios residenciales por antena.

El acceso actual de las empresas a las comunicaciones de banda ancha utiliza soluciones basadas en fibra óptica y en tecnologías DSL. Algunas todavía utilizan soluciones de circuitos dedicados E1/T1. Las velocidades típicas máximas obtenidas son de 1.5Mbps

2.3.6.2 Internet Móvil

Mientras que Internet nómada ofrece conectividad dentro del área de cobertura de una estación base, el Internet móvil ofrece continuidad de la comunicación a través de la red.

WiMAX va a permitir verdadera movilidad inalámbrica dentro del ámbito metropolitano o en un radio de 30 kilómetros, sin perder en ningún momento conectividad a anchos de banda superiores a 2Mbps; es decir, la capacidad de utilizar la computadora portátil o las PDAs para acceder a Internet o transmitir voz con mucha mayor capacidad y calidad de servicio que las ofertas actuales

El estándar para movilidad con WiMAX aun no ha sido lanzado por el grupo de trabajo 802.16e, sin embargo cuando sea aprobado el estándar, el usuario móvil podrá trasladarse de una celda WiMAX a otra (roaming inteligente).

Banda Ancha Móvil trabaja en la banda de frecuencia menor a 6 GHz, trabaja sin Línea de Vista utiliza modulación OFDM con 128 hasta 2048 subportadoras y un alcance de hasta 5 Km.

2.3.7 TELEVISIÓN SOBRE IP

Televisión sobre IP (IPTV) se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión y/o

vídeo usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. A menudo se suministra junto con el servicio de conexión a Internet, proporcionado por un operador de banda ancha sobre la misma infraestructura, pero con un ancho de banda reservado.

IPTV no es un protocolo en sí mismo. El IPTV o Televisión sobre el protocolo IP, ha sido desarrollado basándose en el video-streaming. Esta tecnología transformará en un futuro próximo la televisión actual, aunque para ello son necesarias unas redes mucho más rápidas que las actuales, para poder garantizar la calidad en el servicio.

A diferencia de la situación actual, el proveedor no emitirá sus contenidos esperando que el espectador se conecte, sino que los contenidos llegarán solo cuando el cliente los solicite. La clave está en la personalización del contenido para cada cliente de manera individual. Esto permite el desarrollo del pago por evento o el video bajo demanda. El usuario dispondrá de un aparato receptor conectado a su computador o a su televisión y a través de una guía podrá seleccionar los contenidos que desea ver o descargar para almacenar en el receptor y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee.

La programación que las empresas ofrecerán esta basada tanto en los canales tradicionales, como en canales más específicos sobre un determinado tema, para que el cliente seleccione los de su gusto. Además se emitirán eventos deportivos o películas de estreno bajo pago por visión, es decir abonando una cantidad adicional a la tarifa del servicio para poder verlas. Se trata de comprar los contenidos que se deseen ver para confeccionar una televisión a la carta. La IPTV gracias a sus características permitirá almacenar los contenidos para verlos las veces que se desee, pero además permitirá realizar pausas, avanzar, retroceder como si de tratase una cinta de video o DVD se tratase.

Para que la IPTV pueda desarrollarse de una manera completa es necesario aumentar la velocidad de las conexiones actuales. Podemos diferenciar dos tipos de canal: de definición estándar SDTV o de alta definición HDTV. Para un canal del primer tipo sería necesario tener una conexión de 1.5 Mbps y para un canal del segundo tipo 8 Mbps. Si tenemos varios canales distintos (por tener

varios receptores de televisión por ejemplo) necesitaremos más ancho de banda. A este ancho de banda hay que sumar el necesario para la conexión a Internet. Estamos hablando de 4.5 Mbps para tres canales de SDTV o 11 Mbps para un canal HDTV y dos canales SDTV. En todo caso se utiliza la tecnología Mpeg-4 para la compresión/codificación del vídeo.

La figura 2.9 presenta una topología simplificada de IPTV

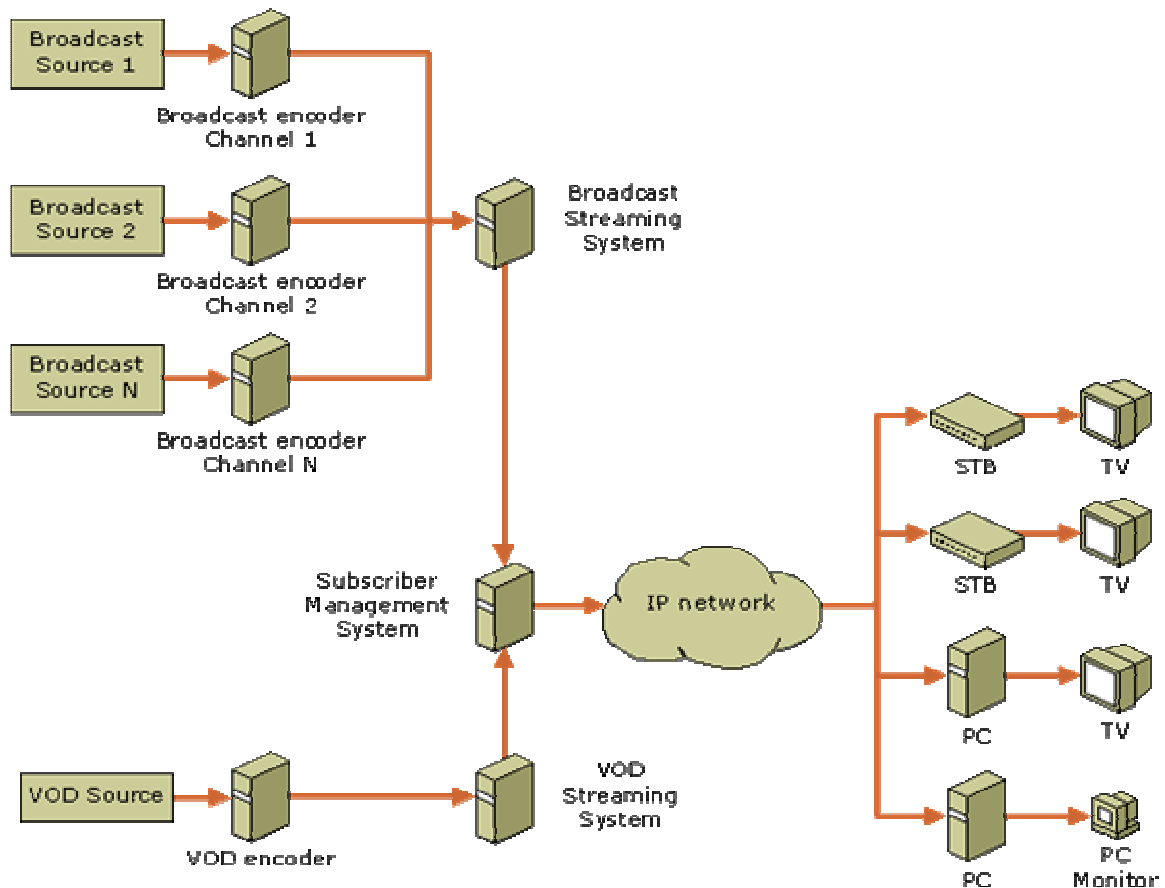


Figura 2.9 Topología IPTV

La topología consiste de los siguientes componentes:

- Adquisición de la señal de video
- Almacenamiento y servidores de video
- Distribución de contenido
- Equipo de acceso y suscriptor
- Software

2.3.8 WIMAX INTEGRADO A LA TELEFONÍA CELULAR²⁹

WiMAX podrá integrarse a los sistemas de telefonía celular actuales, los grandes “carriers” de tecnología celular que ya tienen una infraestructura de torres repetidoras pueden añadir un repetidor de WiMAX y ofrecer un servicio móvil. La banda de frecuencia es diferente a la que usan los celulares y el costo por llamada es más económico.

WiMAX transmite en banda sin licencia de 5,8 GHz para lo cual se requiere de estaciones bases de muy bajo costo y un espectro abierto para nuevas oportunidades. También transmite en bandas con licencia de 2,5 / 3,5 GHz para lo cual se requiere de un gran desarrollo.

En la figura 2.10 se presenta un esquema de backhaul para operadores móviles.

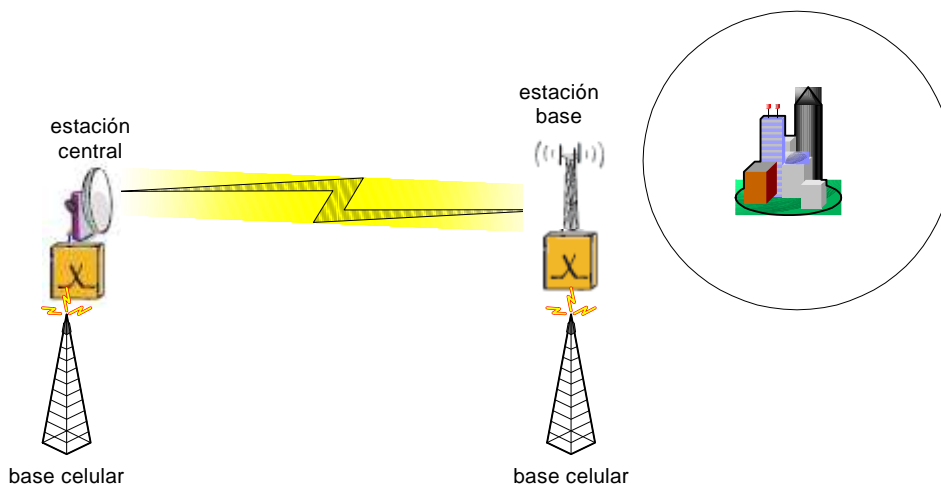


Figura 2.10 WiMAX como backhaul de los operadores móviles.

Hoy en día, los teléfonos móviles están evolucionando hacia auténticos sustitutos inalámbricos de los módems. El despliegue de redes inalámbricas de velocidad más alta permite una conexión directa entre el teléfono móvil y la computadora portátil o de mano.

²⁹ WiMAX Operator's Manual, Building 802.16-2004 Wireless Networks; Daniel Sweeney, Apress, 2004.

Una velocidad mayor no sólo es útil para las transmisiones de datos: los teléfonos móviles ahora mandan y reciben imágenes gráficas para navegación completa por la Web o para transferencia de imágenes. Según crezca la velocidad de las redes WiMAX, será posible aumentar las tasas de transferencia de video en tiempo real, con lo cual cada usuario de teléfono móvil podrá ver a la persona con la que está hablando. Hoy en día, solo son posibles unas cuantas tramas por segundo, pero al aumentar el ancho de banda como sucede con WiMAX, el video en tiempo real será posible en un futuro no muy distante.

2.3.9 TELEFONÍA IP³⁰

La telefonía es otro servicio que se puede ofrecer. WiMAX soporta tanto circuitos de voz como voz sobre IP (VoIP). En los circuitos de voz se requieren canales de 56 Kbps para cada transmisión de voz. Si se considera la velocidad de transmisión de WiMAX como 124 Mbps (estándar IEEE 802.16 – 2004), se tendrían disponibles 2200 canales para los usuarios, dato que podría variar según los equipos utilizados. Esto contrasta con los dispositivos de telefonía digital, que pueden operar en velocidades tan bajas como 2 Kbps con una buena fidelidad, lo que implica que se tendrían 62000 canales para los usuarios.

Otro factor a considerar cuando se escoge entre circuitos de voz y VoIP es el costo de la infraestructura. Los equipos para circuitos de voz están en el rango de los millones de dólares. La telefonía IP está soportada por soft-switches, que representa el conjunto de software, hardware y protocolos que permiten el acceso a la red IP, y cuyo costo está alrededor de los diez mil dólares.

Un proveedor de servicios de telecomunicaciones puede proporcionar el servicio de telefonía mediante WiMAX, para ello deben añadirse los equipos a la infraestructura que ya tiene (cableado, fibra óptica, etc.) y que ha costado muchísimo dinero.

Con la tecnología WiMAX se puede ofrecer telefonía IP a usuarios finales,

³⁰ WiMAX Operator's Manual, Building 802.16-2004 Wireless Networks; Daniel Sweeney, Apress, 2004.

hogar e individual. La tecnología IP está llegando a un momento en que puede funcionar también como la telefonía fija. Para extenderla al usuario común debe funcionar como un teléfono y no a través de una computadora y una dirección IP.

WiMAX permite llevar los servicios telefónicos a sitios donde hoy no se tiene esos servicios porque es mucho más barato, ya que lo más caro de dar servicio telefónico es construir la infraestructura cableada. Para que WiMAX pueda ofrecer servicio telefónico, se puede configurar una infraestructura similar a la telefonía celular, es decir, mediante la instalación de torres que corresponden a las estaciones base.

En la telefonía IP el cambio fundamental se produce en la red de transporte: ahora esta tarea es llevada a cabo por una red basada en el protocolo IP, de conmutación de paquetes, por ejemplo Internet. En cuanto a la red de acceso, puede ser la misma que en el caso anterior, físicamente hablando (bucle de abonado).

Los elementos necesarios para que se puedan realizar llamadas vocales a través de una red IP dependen en gran medida de qué terminal se utiliza en ambos extremos de la conversación. Estos pueden ser terminales IP o no IP. Entre los primeros está el teléfono IP, un computador multimedia, un fax IP, etc. Entre los segundos está un teléfono convencional, un fax convencional, etc.

Los primeros son capaces de entregar a su salida la conversación telefónica en formato de paquetes IP, además de ser parte de propia red IP, mientras que los segundos no, por lo que necesitan de un dispositivo intermedio que haga esto antes de conectarlos a la red IP de transporte.

La VoIP es muy adecuada para dar un servicio de telefonía de larga distancia a bajo costo ya que todas las llamadas se facturan como locales. Los clientes son típicamente los *carriers* tradicionales, y una nueva categoría de ISP, los ITSP, nacida específicamente para este mercado.

En estos momentos, los grandes ahorros en cuanto a la telefonía sobre IP se realizan en las llamadas internacionales. La relativa falta de competencia en

este segmento hace que los precios sean altos, y los mecanismos de compensación internacionales no favorecen la aparición de nuevos operadores con mejores precios, porque siempre tendrán que acordar cómo transportar el tráfico por las redes de los operadores existentes.

Además de la comunicación Teléfono a Teléfono, estos clientes demandan comunicaciones PC a Teléfono, servicios de Fax, enrutamiento en función del costo, tasación y contabilidad en tiempo real, etc.

2.3.10 SERVICIOS DE BANDA ANCHA A ZONAS RURALES DE DIFÍCIL ACCESO

WiMAX se perfila como una estupenda oportunidad para ampliar los servicios de telecomunicaciones a nivel gubernamental, empresarial e institucional. Una universidad podrá proporcionar acceso a la red en todo su campus con una sola antena, a la suficiente altura y ubicación. Los gobiernos pueden respaldar los actuales esquemas de comunicación de datos por medios alámbricos, usando celdas WiMAX ubicadas de manera estratégica en zonas de acceso controlado. En el ámbito social, la combinación de WiFi, WiMAX y la telefonía por IP (VoIP) permitirá el despliegue de más líneas de telecomunicaciones hacia zonas apartadas, con ancho de banda suficiente para la integración de servicios multimedia: voz, imagen y datos.

La industria ahora está en un proceso de migración a WiMAX que marca el inicio de la nueva era de la conectividad, acelerando el despliegue de banda ancha en países en desarrollo y subdesarrollados. En las áreas del mundo donde la banda ancha no está disponible hoy, WiMAX es una alternativa ideal para conectar la infraestructura ya que es económico y rápido de implementar. Países que han sufrido la falta de acceso a los servicios de telecomunicaciones por muchos años podrán ahora levantarse y usar esta tecnología para revolucionar sus comunicaciones y experimentar un impulso en sus economías como resultado de ello.

En general en la figura 2.11 se presenta un ejemplo de una estructura de red

utilizando WIMAX.

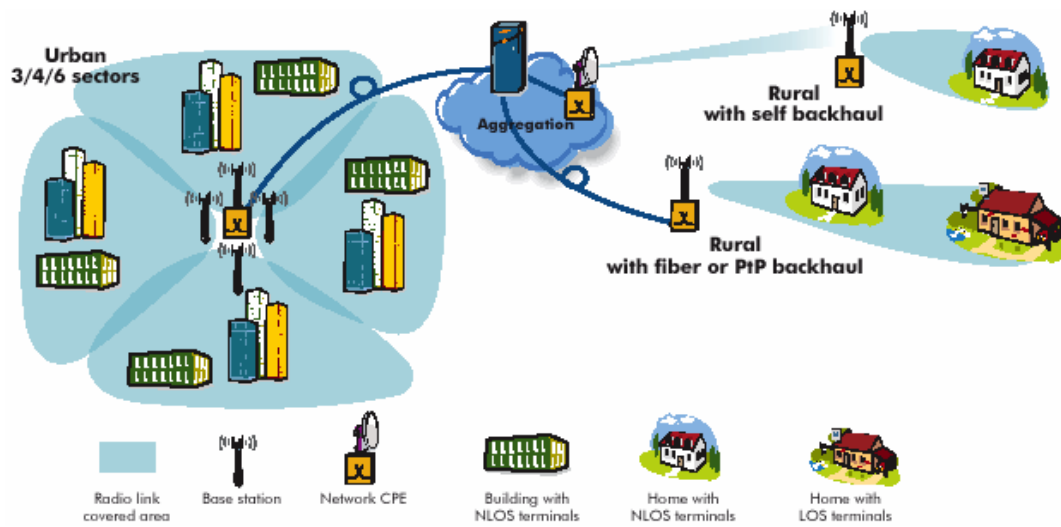


Figura 2.11 Esquema de red para zonas rurales y urbanas

2.4 INTEGRACIÓN DE SERVICIOS A TRAVÉS DE WIMAX

Previo al estudio de demanda desarrollado en el Capítulo 3 (Estudio y Proyección de la Demanda), es necesario identificar los servicios que vamos a ofrecer a través de la red de comunicaciones. Esto permitirá tener una idea clara al momento de dimensionar la red, ya que se lo hará en función de los requerimientos de cada uno de los servicios antes mencionados.

El principal objetivo del proyecto es integrar los puntos de acceso WiFi existentes en el DMQ a través de un backbone inalámbrico, tal como podemos apreciar en la figura 2.12.

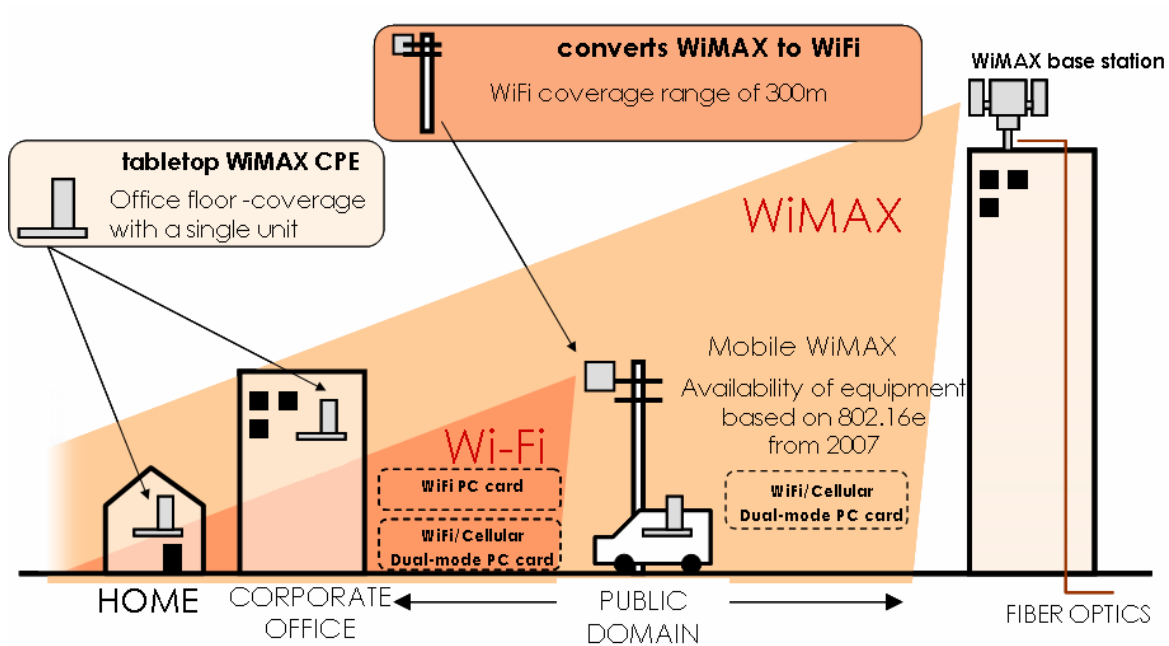


Figura 2.12 Integración WiFi con WiMAX

Además contemplamos otros servicios, que son los siguientes:

Principales:

- Internet de banda ancha
- Telefonía fija inalámbrica

Secundarios:

- Televisión digital
- Video bajo demanda
- Video vigilancia

CAPÍTULO III

ESTUDIO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

3.1 INTRODUCCIÓN

Previo al diseño de una red de telecomunicaciones es necesario realizar un estudio de demanda de los servicios que podrían ofertarse a través de mencionada red.

El presente estudio de demanda identifica donde se encuentran concentrados los posibles usuarios del sistema, además mediante el uso de encuestas se prevé llegar a los usuarios potenciales para conocer las características de los servicios que actualmente reciben; así como para conocer las expectativas del cliente para contratar un nuevo proveedor de servicios considerando anchos de banda, calidad de servicio, disponibilidad, costos en relación al mercado actual, etc.

Es necesario un enfoque más directo hacia los diferentes tipos de clientes por lo que se realizará una segmentación de mercado diferenciando así a clientes residenciales y clientes corporativos, cada uno con requerimientos diferentes. Es necesario realizar esta segmentación debido a que al momento de establecer tarifas se lo hará en función del tipo de servicio prestado.

Una vez ubicados los posibles usuarios potenciales, y segmentado el mercado mediante el uso de estadísticas establecidas y confiables obtenidas en la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones se realizará una proyección del crecimiento de usuarios durante los próximos 4 años.

Después de concluir el estudio de demanda es importante conocer el tamaño de tráfico de información que circulará a través de la red, este cálculo es

indispensable ya que permitirá dimensionar la red, distribuyendo el tráfico de la manera más óptima. El correcto dimensionamiento se verá reflejado en la satisfacción de los posibles clientes, así como; en el uso adecuado y eficaz de recursos por parte del proveedor.

3.2 LA DEMANDA³¹

La demanda se define como la respuesta al conjunto de mercancías o servicios, ofrecidos a un cierto precio en una plaza determinada y que los consumidores están dispuestos a adquirir, en esas circunstancias. En este punto interviene la variación que se da por efecto de los volúmenes consumidos. A mayor volumen de compra se debe obtener un menor precio. Es bajo estas circunstancias como se satisfacen las necesidades de los consumidores frente a la oferta de los vendedores.

En el estudio de la demanda se debe estudiar aspectos tales como los tipos de consumidores a los que se quiere vender los productos o servicios. Esto es saber qué niveles de ingreso tienen para considerar sus posibilidades de consumo. Se habla en ese caso de estratos de consumo o de una estratificación por niveles de ingreso, para saber quiénes serán los clientes o demandantes de los bienes o servicios que se piensa ofrecer. Aparte de ello se deben conocer los gustos y modas pues los intereses de los grupos de consumidores menores de edad no siempre responden a un nivel de ingresos que les permita consumir como lo pueden hacer estratos económicos con un mayor poder adquisitivo pero con gustos distintos. Además en muchos casos influye la moda que debe tomarse en cuenta para la oferta de bienes o servicios, pues de manera general los intereses del consumidor cambian muy rápidamente y es necesario adaptarse a sus gustos.

Las tecnologías de la información han modificado considerablemente los medios de acceso personal al conocimiento y a la comunicación dando lugar a un nuevo paradigma llamado sociedad de la información, que reúne las posibilidades necesarias para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y

³¹ <http://www.esmas.com/Estudiodemercado/Lademanda>

aumentar la eficacia de nuestra organización social y económica. En este sentido, se observa una nueva tendencia en la prestación del servicio universal encaminada a favorecer la conectividad comunitaria y el acceso en banda ancha en lugar de garantizar a todos los hogares, a corto plazo, una línea telefónica.

La expansión acelerada del sistema de telecomunicaciones exige una visión general de la tendencia evolutiva del sistema y de sus principales parámetros. Esto hace que la demanda de servicios de telecomunicaciones crezca rápidamente.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CLIENTE

Al momento de realizar un diseño y para que su desarrollo a futuro no cause problemas, es importante tomar en cuenta y complacer los requerimientos del cliente. Actualmente, las empresas de servicios prestan mucha atención a la calidad de servicio que ofrecen ya que de esto depende el conservar o perder a un cliente.

Los requerimientos varían de un usuario a otro dependiendo de sus necesidades y exigencias. El diseño ideal de una red es aquel que satisface las necesidades de cada uno de sus usuarios. Ahora bien, la infraestructura necesaria para ofrecer diversos servicios de distintas capacidades puede resultar muy compleja y por lo tanto muy costosa. En la práctica, el diseño de una red pretende satisfacer las necesidades del cliente promedio; es decir, satisfacer las necesidades de la mayoría, logrando de esta manera compartir recursos y por ende las ventajas y limitaciones de una misma red. En muchos de los casos existirán clientes que sobrepasen las características de un usuario promedio.

En este caso se debe incluir una densidad poblacional y su variación anual, como se verá conforme avance el desarrollo del capítulo se tomará en cuenta la densidad poblacional de usuarios actuales de Internet, tanto para usuarios corporativos como para residenciales.

Como se mencionó anteriormente, existen varios tipos de usuarios, los cuales pueden ser: residenciales, oficinas pequeñas u oficinas de casa, empresas pequeñas, empresas medianas, corporaciones o empresas grandes, etc., que se dividirán en dos grupos para el presente estudio. Cada uno de estos usuarios estará interesado en tener un servicio a través del sistema WiMAX, por ejemplo: ISDN, nxE1/T1, Ethernet, Frame Relay y otros.

3.2.1.1 Calidad de Servicio

La calidad de servicio es un conjunto de efectos relativos al servicio que determinan el grado de satisfacción del usuario en la utilización del mismo. Estos son la calidad de atención al cliente, la calidad de transmisión y la calidad de funcionamiento³²

3.3 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA³³

Cualquier decisión razonable entraña algún tipo de suposición relativa a cómo va a ser el futuro, es decir, algún tipo de proyección, estimación o pronóstico. Gran parte de estos pronósticos, aun los realizados por las empresas, no llegan a formalizarse, son suposiciones basadas en la experiencia, en la intuición o algún tipo de tendencia, fundamentados en la experiencia personal y en el tipo de carácter (optimista o pesimista) de quien lo realiza. En vista de las imprecisiones inherentes a este proceso de indagar sobre el futuro, se plantea la pregunta ¿por qué pronosticar? la respuesta generalizada es que todas las organizaciones operan bajo una atmósfera de incertidumbre y a pesar de este hecho se deben tomar decisiones que afectan el futuro desempeño de la organización.

El proceso de estimación es el procedimiento de realizar proyecciones de acontecimientos predefinidos y/o incidentes; en dicho proceso se utiliza habitualmente información objetiva y subjetiva.

Toda estimación exige un esfuerzo cuya proporción determina directamente la

³² www.WiMAXforum.com

³³ Proyección de la Demanda: Antecedentes, Necesidad e Importancia, Paola Martínez Serna, Universidad Nacional de Colombia

precisión y fiabilidad de la misma es decir con el parecido que se espera tenga el valor real respecto al estimado. Es conveniente por tanto que la cantidad de esfuerzo se relacione con las repercusiones que la falta de precisión ocasionaría. Esto se relaciona con los múltiples factores del proyecto que al variar de alguna forma afectarán el rumbo del pronóstico. Si una estimación tiene poco efecto en los resultados del proyecto debe destinarse poco esfuerzo y tiempo en la elaboración de la estimación. El grado de detalle de una estimación refleja la precisión y fiabilidad esperada de este valor se define en términos del número de niveles existentes en la descomposición de la estructura del proyecto. Una descomposición más fina puede conducir a una estimación mas precisa cuanto más concretamente esté definida la tarea u objeto respecto al cual se hacen las estimaciones, mayor es la probabilidad de obtener estimaciones fiables. Una planeación eficaz se basa en un pronóstico exacto de la demanda de un producto o servicio. Generalmente se estiman las ventas totales que en condiciones normales esperan vender las empresas que constituyen la industria para sus productos o servicios particulares. El resultado final de la estimación de la demanda es un pronóstico de ventas, el cual indica las ventas probables que se proyecta obtener de un determinado producto en un tiempo futuro.

El pronóstico de la demanda está relacionado directamente a algunos factores que deben ser tomados en cuenta, pues afectan de forma trascendental los resultados que se desean obtener.

Una vez conocido el problema se decidirá la forma en que se llevara a cabo la proyección de demanda de un producto o servicio, y para ello se realizarán sondeos de opinión pública. Estos sondeos se realizan a través de encuestas.

La planificación de redes de telecomunicaciones se basa directamente en la distribución de abonados prevista para el futuro. Las partes de la red más dependientes del tráfico no se pueden proyectar ni dimensionar adecuadamente sin contar con previsiones confiables.

3.3.1 EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA DEMANDA³⁴

Si se estudia el tráfico den un nodo de la red a lo largo del tiempo, se observa que existe un incremento porcentual progresivo, dando la idea de un crecimiento lineal. En realidad este incremento, no se manifiesta de forma lineal, dado que en el desarrollo de la red se presentan fases y etapas con marcadas diferencias. Las tres etapas fundamentales en la vida de una red son: fase de arranque, fase de crecimiento acelerado y fase de saturación.

En la figura 3.1 se indica las fases de desarrollo de una red de telecomunicaciones.

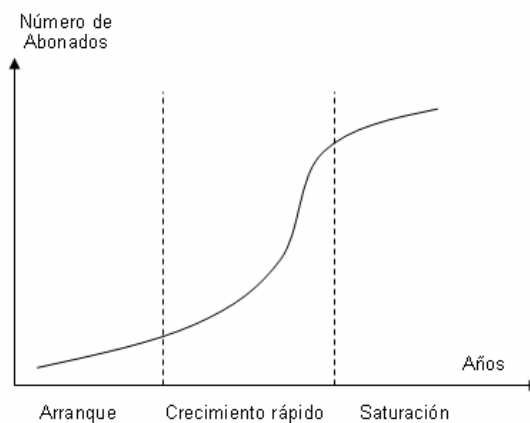


Figura 3.1 Fases de desarrollo de una red de telecomunicaciones.

Durante la fase de arranque el crecimiento es muy lento, el origen del crecimiento radica en la demanda profesional y está claramente en concordancia con el desarrollo industrial del país.

En la segunda fase de crecimiento rápido el servicio tiene mayor acogida por parte de los usuarios los mismos que exigen mayor calidad de servicio además de nuevos servicios.

En esta fase se constituye la red, por lo que es de mucha importancia el estudio minucioso de las previsiones, ya que pueden inducir a costosos errores en la planificación.

³⁴ Las Comunicaciones de Datos. AHCINET, 1989.

Cuando el desarrollo de la red penetra profundamente en el sector privado, se puede decir que se encuentra en la fase de madurez, alcanzando entonces la fase saturación.

La duración de las tres fases varía de un país a otro según su nivel de desarrollo.

3.3.2 LOCALIZACIÓN DE LA DEMANDA

Para realizar la proyección de la demanda, es necesario recopilar una serie de informaciones de las zonas demográficas, debido a que se debe considerar:

- Datos socioeconómicos de población, número de empresas y su importancia, crecimiento, etc.
- Datos de la demanda del sistema.

Para la recolección de estos datos se deberá dividir la zona comercial de la ciudad de Quito, en zonas administrativas menores para facilidad de acceso a datos actualizados y fiables. Se debe considerar una división en zonas en relación al servicio y otras por zonas administrativas, estableciendo las proyecciones para ambas.

3.3.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de información, que dará a conocer los requerimientos del cliente; se usará un método muy usado y que se detallará a continuación:

3.3.3.1 Encuesta Personal.

Es la más usada en la práctica, y consiste en una entrevista entre el encuestador y la persona encuestada.

Cabe recalcar que en la presente investigación de mercado se ha utilizado este método de sondeo de opinión, pues se ha comprobado que los resultados por éste tipo de encuesta es bastante exacta y beneficiosa para poder adoptar una decisión más acertada y segura.

3.3.3.1.1 Ventajas y desventajas de utilizar una encuesta personal.

En la tabla 3.1 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de utilizar encuestas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">➤ Se aclaran las dudas y respuestas en el acto.➤ Se juzga a la persona y se segmenta sus datos personales.➤ La muestra queda perfectamente definida.	<ul style="list-style-type: none">➤ Su laboriosidad y duración.➤ El riesgo de la influencia en la respuesta, por parte del entrevistador.

Tabla 3.1 Ventajas y desventajas del uso de encuestas personales

3.3.3.2 Segmentación del Mercado

Es el proceso que consiste en dividir el mercado total de un bien o servicio en varios grupos más pequeños e internamente homogéneos.

Todos los mercados están compuestos de segmentos y éstos a su vez están formados usualmente por subsegmentos. Por ejemplo; atendiendo a bases de edad, sexo, situación económica o algún otro interés.

Un segmento de mercado está constituido por un grupo importante de compradores. La segmentación es un enfoque orientado hacia el consumidor y se diseñó para identificar y servir a éste grupo.

No existe una sola forma de segmentar un mercado, es por eso que se deben probar diversas variables, solas y combinadas, con la esperanza de encontrar la manera óptima de concebir la estructura del mercado.

Previa la realización de encuestas es necesario identificar los lugares en donde se encuentran concentrados los usuarios potenciales, estas zonas estratégicas permitirán conocer las características de todos en general ya que serán los sitios escogidos para realizar el sondeo.

Se han considerado importantes sectores comerciales del DMQ que están

ubicados en el centro histórico, la Mariscal, parque La Carolina, Iñaquito; en los mismos que se realizarán encuestas corporativas.

Para las encuestas domésticas se han elegido urbanizaciones y conjuntos residenciales donde existe una gran concentración de clientes.

3.3.4 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA REALIZAR LA ENCUESTA

El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos a concretar en las fases previas de la investigación comercial y determina el grado de credibilidad que concederemos a los resultados obtenidos.

Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales (muestra aleatoria simple) es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{(e^2 \cdot (N-1)) + k^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

N: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados), para nuestro caso sería el número total de usuarios de Internet residenciales, corporativos y cybercafés en Quito.

k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

En la tabla 3.2 se indica los valores de k y sus correspondientes niveles de confianza.

K	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
Nivel de Confianza (%)	75	80	85	90	95	95.5	99

Tabla 3.2 Valores de k más utilizados y sus niveles de confianza

e: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

Ejemplo: si los resultados de una encuesta dicen que 100 personas comprarían un producto y tenemos un error muestral del 5% comprarán entre 95 y 105 personas.

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que $p = q = 0.5$ que es la opción más segura.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es $1-p$.

n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

3.3.4.1 Determinación del tamaño de la muestra.

Para realizar el estudio de mercado se ha realizado una segmentación del mismo de acuerdo al tipo de servicio y/o usuarios, mismo que esta representado en la figura 3.2

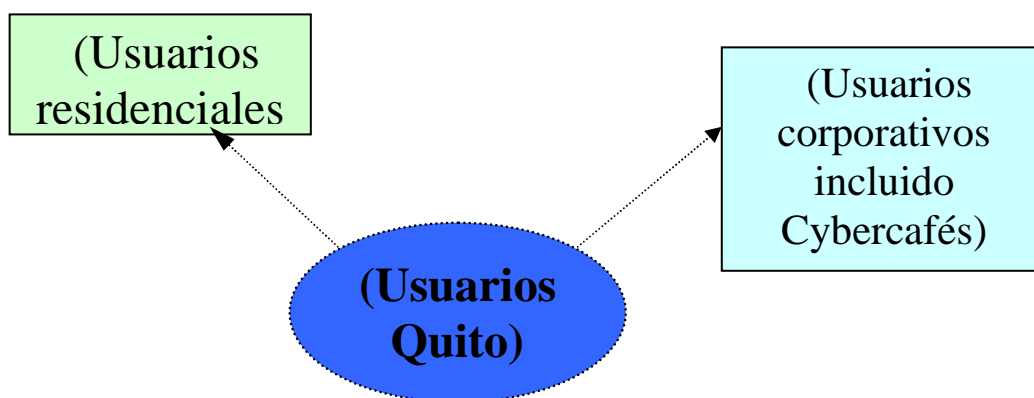


Figura 3.2 Segmentación de mercado.

Los valores tabulados a continuación en la tabla 3.3 son un estimado del total de los usuarios con acceso a Internet en la ciudad de Quito, se obtuvieron de las estadísticas de la Superintendencia de Telecomunicaciones (Dirección de Servicios de Telecomunicaciones).

	Usuarios Residenciales totales	Usuarios Dedicados totales	Número de CyberCafés totales
N (total de posibles usuarios)	25418	13755	309

Tabla 3.3 Usuarios totales de Internet hasta Noviembre 2005³⁵

Por lo tanto, las encuestas se realizan enfocadas a cada segmento del mercado:

$N_1 = 25418$ Universo o número total de posibles usuarios residenciales.

Si consideramos que: $k = 2 \rightarrow 95.5\%$, $e = 8\%$, $p = 0.5$, $q = 1 - p = 0.5$

Reemplazando los valores en la formula tenemos:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N-1)) + k^2 * p * q}$$

$$n_1 = \frac{(2)^2 * (0.5) * (0.5) * (25418)}{[(0.08)^2 * (25418)] + [(2)^2 * (0.5) * (0.5)]}$$

$$\Rightarrow n_1 = 156$$

De donde; tenemos que el número de encuestas necesarias para poder realizar una proyección con un margen de error aceptable son 156 a usuarios residenciales.

$N_2 = 14059$ Universo o número total de posibles usuarios corporativos.

Si consideramos que: $k = 2 \rightarrow 95.5\%$, $e = 8\%$, $p = 0.5$, $q = 1 - p = 0.5$

Reemplazando los valores en la fórmula:

³⁵ SuperIntendencia de Telecomunicaciones Ecuador, www.supertel.gov.ec, diciembre del 2005

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N-1)) + k^2 * p * q}$$

$$n_1 = \frac{(2)^2 * (0.5) * (0.5) * (14059)}{[(0.08)^2 * (14059)] + [(2)^2 * (0.5) * (0.5)]}$$

$$\Rightarrow n_2 = 155$$

De donde; tenemos que el número de encuestas necesarias para poder realizar una proyección con un margen de error aceptable es de 155 empresas, a usuarios corporativos.

3.3.4.2 Tabulación de resultados de las Encuestas.

Cómo se explicó anteriormente, se realizaron dos tipos de encuestas unas dirigidas a usuarios residenciales y otras a usuarios empresariales, dentro de los usuarios empresariales se toma en cuenta a cybercafés.

3.3.4.2.1 Resultados de Encuestas Residenciales

Cabe recalcar que las preguntas de las encuestas dirigidas a posibles usuarios residenciales permitió dar a conocer algo acerca de la tecnología Inalámbrica WiMAX a las personas encuestadas, además permite identificar si estarían dispuestos a contratar servicios con las ventajas mencionadas y que actualmente están disponibles pero con otras tecnologías.

Para la tabulación de los resultados obtenidos de encuestas, se utilizó un software gratuito, utilizado en Estadística; llamado SPSS versión 12.0 en español.

En la tabla 3.4 se presenta todas las preguntas de la encuesta y el valor de la muestra considerada para el estudio (Revisar anexo 2).

	1. ¿Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio con tecnología WiMAX?	2a) ¿Contrataría usted servicio de Internet Inalámbrico de Banda Ancha para su hogar más económico del que posee?	2b) ¿Contrataría usted el servicio de Televisión Digital para su hogar más económico del que se oferta actualmente?	2c) ¿Contrataría usted un servicio de Video Bajo demanda para su hogar más económico del que se oferta actualmente?	2d) ¿Contrataría usted un servicio de Telefonía fija Inalámbrica para su hogar más económico del que se oferta actualmente?
N Válidos	160	160	160	160	160

Tabla 3.4 Tabla de frecuencias de las preguntas de las encuesta domésticas

En las tablas que a continuación se exponen presenta resultados de las diferentes preguntas de la encuesta, donde se indica el valor de la muestra considerada, la frecuencia de selección de cada respuesta, el porcentaje que equivale a cada selección, el porcentaje válido y el porcentaje acumulado.

Las preguntas desarrolladas para el mercado doméstico son muy simples en estructura lo que permite que la tabulación de resultados sea más simple.

En las tablas 3.5 a 3.9 se presentan los resultados obtenidos de las encuestas:

1 ¿Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio con tecnología WiMAX?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	10	6,3	6,3	6,3
	Sí	150	93,8	93,8	100,0
	Total	160	100,0	100,0	

Tabla 3.5 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 1

2a) ¿Contrataría usted el servicio de Internet de Banda Ancha Inalámbrico para su hogar?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	20	12,5	12,5	12,5
	Sí	140	87,5	87,5	100,0
	Total	160	100,0	100,0	

Tabla 3.6 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2a.

2b) ¿Contrataría usted el servicio de Televisión Digital para su hogar?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	12	7,5	7,5	7,5
	Sí	148	92,5	92,5	100,0
	Total	160	100,0	100,0	

Tabla 3.7 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2b.

2c) ¿Contrataría usted un nuevo servicio de Video Bajo demanda para su hogar?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	52	32,5	32,5	32,5
	Sí	108	67,5	67,5	100,0
	Total	160	100,0	100,0	

Tabla 3.8 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2c.

2d) ¿Contrataría usted un servicio de Telefonía fija Inalámbrica para su hogar?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	36	22,5	22,5	22,5
	Sí	124	77,5	77,5	100,0
	Total	160	100,0	100,0	

Tabla 3.9 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2d.

De los resultados obtenidos se puede concluir, que los encuestados estarían dispuestos a recibir diferentes y múltiples servicios en su domicilio a través de

una nueva red de conectividad inalámbrica y de menor costo comparado con el actual.

Además durante el sondeo se pudo observar el interés por parte de los usuarios hacia nuevos servicios como telefonía fija inalámbrica y video bajo demanda.

3.3.4.2.2 Resultados de las encuestas Empresariales

Las encuestas se realizaron a varias empresas entre las que se puede recalcar: hoteles que poseen redes inalámbricas internas, agencias de viajes que necesitan estar conectados a Internet todo el tiempo para reservas e información de vuelos, redes de farmacias que necesitan consultar bases de datos, cybercafés, etc.

La encuesta desarrollada para usuarios corporativos tiene una estructura más elaborada debido a que necesitamos mayor información por parte de ellos (Revisar Anexo 2).

La pregunta N° 1 provee la información necesaria de la Empresa a la que se realizó la encuesta, por lo tanto; no existen datos para tabular.

En la tabla 3.10 se presentan todas las preguntas de la encuesta, indica además el valor de la muestra considerada.

Las encuestas tomadas como válidas son las que en la segunda pregunta (*¿Tiene acceso a Internet su empresa?*) tienen como respuesta un SI, ya que si la respuesta es NO se daba por terminada la encuesta dado que las demás preguntas están en función de esta.

		1. Datos de la empresa	2. ¿Tiene acceso a Internet en su empresa?	3. Número de sucursales de la Empresa en la ciudad de Quito	4. ¿Con qué tipo de acceso a Internet cuenta su empresa?	5. ¿Conoce Ud. que velocidad de acceso le proporciona su ISP?	6. ¿Cuántas máquinas tienen acceso a Internet en su empresa?
N	Válidos	155	153	153	153	153	153
	Perdidos	0	2	2	2	2	2
		7. ¿Tiempo medio estimado de ocupación diaria de Internet por cada máquina?	8. ¿Cree Ud. que su empresa necesita mayor velocidad en su acceso a Internet?	9. ¿Cómo califica a su servicio de Internet?	10. ¿Cuenta su empresa con alguna Intranet inalámbrica?	11. ¿Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio de Internet inalámbrico de Banda Ancha y más económico que el actual?	12. ¿Conoce algo acerca de la nueva tecnología de acceso inalámbrico WiMAX?
N	Válidos	153	153	153	153	153	153
	Perdidos	2	2	2	2	2	2

Tabla 3.10 Tabla de frecuencias de las encuestas corporativas.

En las tablas 3.11 a 3.21 se presentan los resultados de las diferentes preguntas de la encuesta, indica: el valor de la muestra considerada, la frecuencia de selección de cada respuesta, el porcentaje que equivale a cada selección, el porcentaje válido y el porcentaje acumulado.

Además se exponen las figuras 3.3 a la 3.13, gráficas que muestran una distribución porcentual de cada pregunta.

En algunas preguntas se puede escoger únicamente entre dos posibles respuestas, como SI ó NO; en cambio existen preguntas con dos o más respuestas que también están indicadas en las tablas de frecuencias.

2. ¿Tiene acceso a Internet en su empresa?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	2	3,9	3,9	3,9
	Si	153	97,1	96,1	100,0
	Total	155	100,0	100,0	

Tabla 3.11 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 2

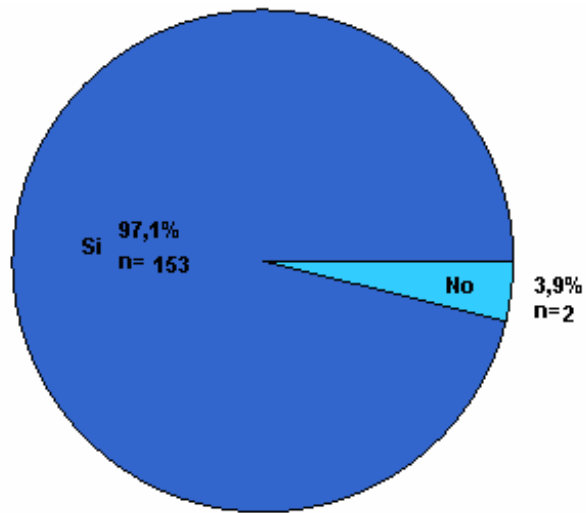


Figura 3.3 Distribución porcentual pregunta 2

3. Número de sucursales de la Empresa en la ciudad de Quito

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sólo Matriz	134	86,5	87,6	87,6
	Una	4	2,6	2,6	90,2
	Dos	7	4,5	4,6	94,8
	Tres o más	8	5,2	5,2	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.12 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 3

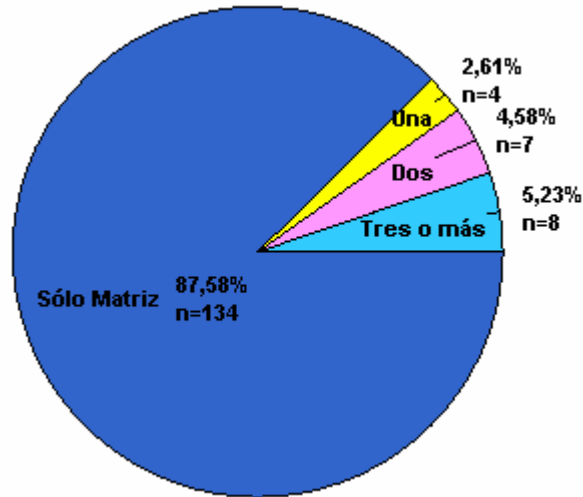


Figura 3.4 Distribución porcentual pregunta 3

4. ¿Con qué tipo de acceso a Internet cuenta su empresa?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Dial Up	26	16,8	17,0	17,0
	Línea Dedicada	12	7,7	7,8	24,8
	ADSL	93	60,0	60,8	85,6
	Otro	22	14,2	14,4	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.13 Tabla de frecuencias y porcentajes de la pregunta 4

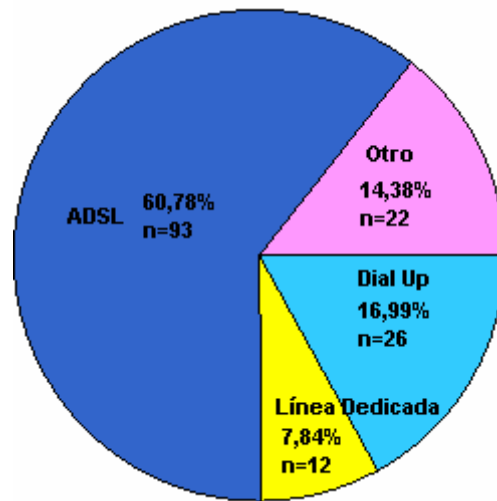


Figura 3.5 Distribución porcentual de la pregunta 4

5. ¿Conoce Ud. que velocidad de acceso le proporciona su ISP?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	49	31,6	32,0	32,0
	Si, 56kbps	6	3,9	3,9	35,9
	Si, 64kbps	15	9,7	9,8	45,8
	Si, 128kbps	41	26,5	26,8	72,5
	Si, 256kbps	22	14,2	14,4	86,9
	Si, 512kbps	16	10,3	10,5	97,4
	Si, 1Gbps	4	2,6	2,6	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.14 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 5

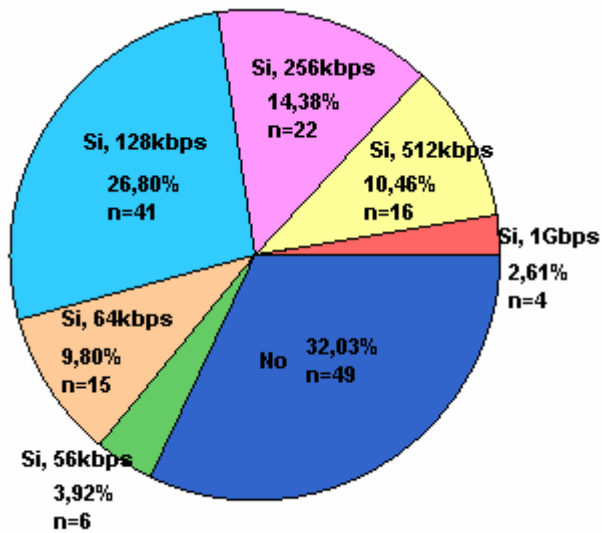


Figura 3.6 Distribución porcentual de la pregunta 5

6. ¿Cuántas máquinas tiene acceso a Internet en su empresa?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1 a 5	16	35,5	35,9	35,9
	6 a 10	30	19,4	19,6	55,6
	11 a 15	17	11,0	11,1	66,7
	16 a 20	55	10,3	10,5	77,1
	más de 21	35	22,6	22,9	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.15 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 6

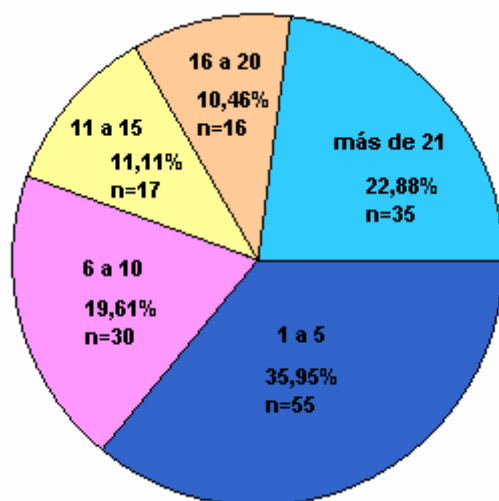


Figura 3.7 Distribución porcentual de la pregunta 6

7. ¿Tiempo medio estimado de ocupación diaria de Internet por cada máquina?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	< 1 hora	6	3,9	3,9	3,9
	1 a 3 horas	24	15,5	15,7	19,6
	4 a 7 horas	22	14,2	14,4	34,0
	8 a 10 horas	79	51,0	51,6	85,6
	mas de 10 horas	22	14,2	14,4	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.16 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 7

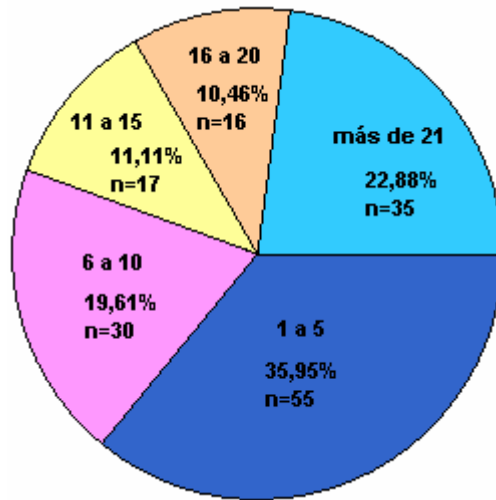


Figura 3.8 Distribución porcentual de la pregunta 7

8. ¿Cree Ud. que su empresa necesita mayor velocidad en su acceso a Internet?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	47	30,3	30,7	30,7
	Si	106	68,4	69,3	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.17 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 8

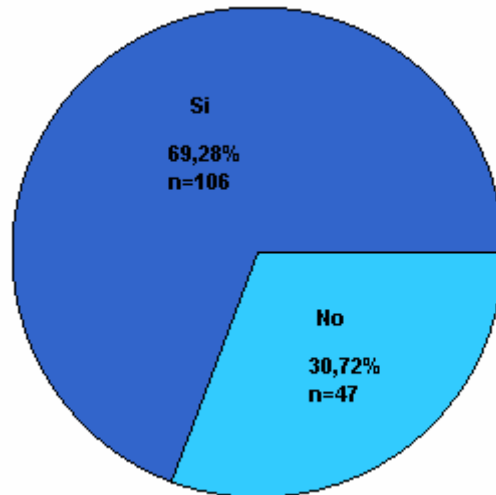


Figura 3.9 Distribución porcentual de la pregunta 8

9. ¿Cómo califica a su servicio de Internet?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Malo	5	3,2	3,3	3,3
	Regular	29	18,7	19,0	22,2
	Bueno	97	62,6	63,4	85,6
	Excelente	22	14,2	14,4	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.18 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 9

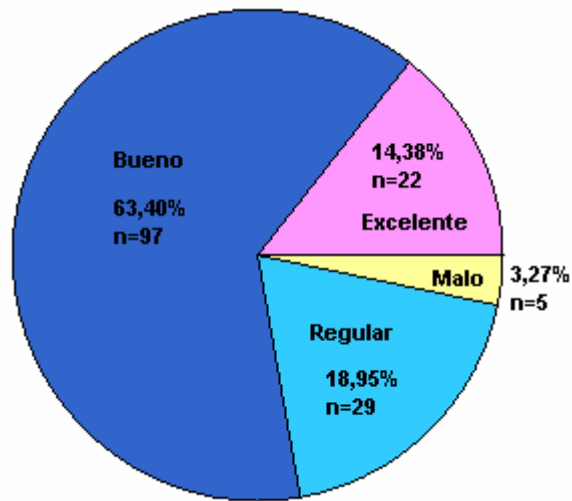


Figura 3.10 Distribución porcentual de la pregunta 9

10. ¿Cuenta su empresa con alguna Intranet inalámbrica?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	108	69,7	70,6	70,6
	Si	45	29,0	29,4	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.19 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 10

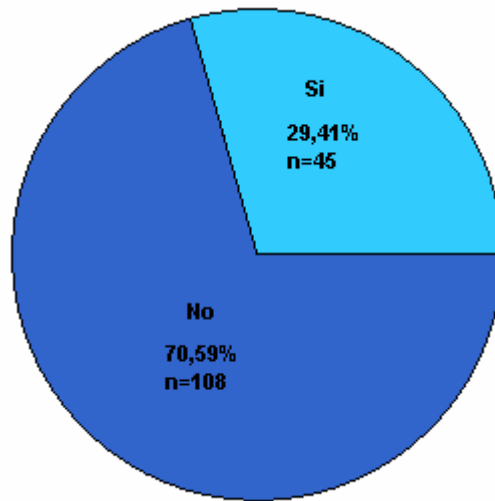


Figura 3.11 Distribución porcentual de la pregunta 10

11. ¿Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio de Internet inalámbrico de Banda Ancha y más económico que el actual?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	49	31,6	32,0	32,0
	Si	104	67,1	68,0	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.20 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 11

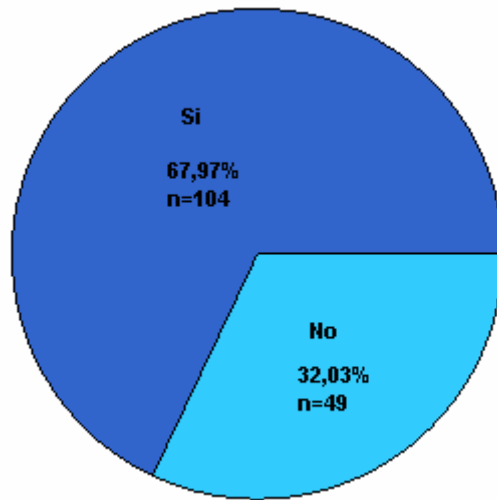


Figura 3.12 Distribución porcentual de la pregunta 11

12. ¿Conoce algo acerca de la nueva tecnología de acceso inalámbrico WiMAX?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	No	122	78,7	79,7	79,7
	Si	31	20,0	20,3	100,0
	Total	153	98,7	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,3		
Total		155	100,0		

Tabla 3.21 Tabla de frecuencias y porcentajes pregunta 12

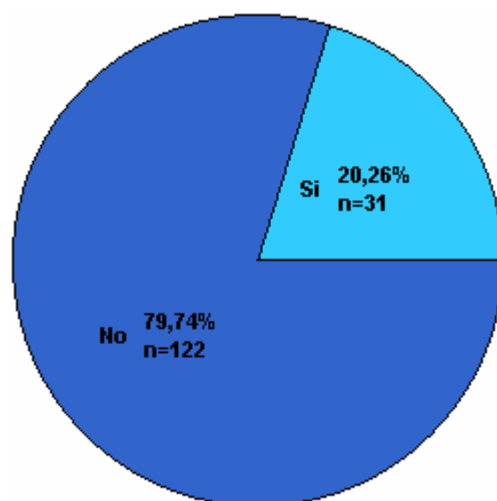


Figura 3.13 Distribución porcentual de la pregunta 12

3.3.5 TASA DE CRECIMIENTO DE ABONADOS DE INTERNET EN ECUADOR

De acuerdo a las estadísticas de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, el número de cuentas de Internet de los últimos cinco años a nivel nacional, está representada por los valores de la tabla 3.22

CUENTAS DE INTERNET A NIVEL NACIONAL (ABONADOS)			
Año	Abonados (DIAL-UP)	Abonados (LÍNEAS NO CONMUTADAS)	TOTAL
2001	83.007	2.623	85.630
2002	94.164	6.499	100.663
2003	102.787	4.563	107.350
2004	108.169	11.599	119.768
2005	110.540	26.786	137.326

Tabla 3.22 Crecimiento de Usuarios de Internet a Nivel Nacional

En la figura 3.14 se presenta un gráfico de barras que representa los abonados de Internet a nivel nacional.

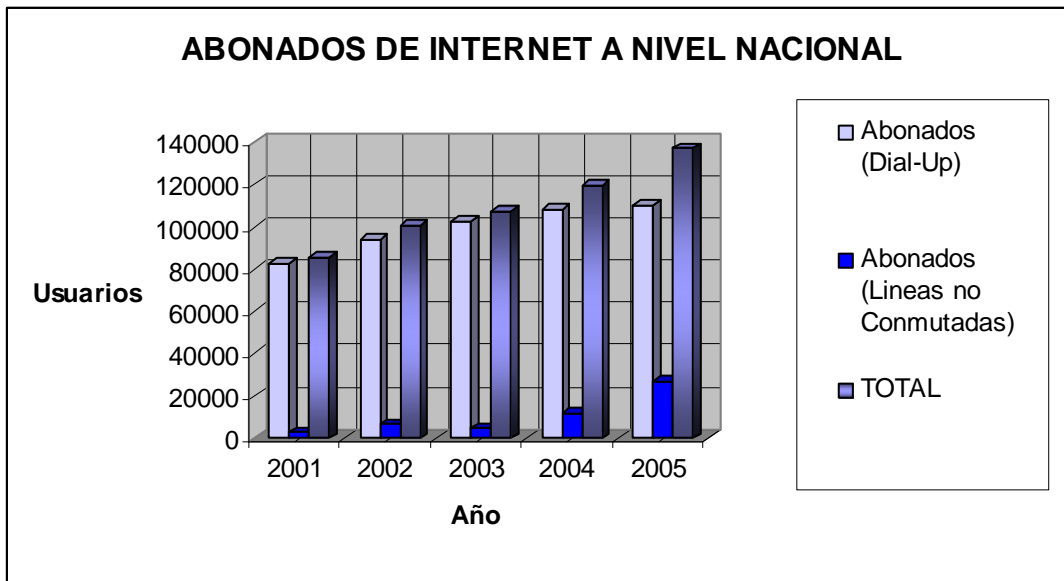


Figura 3.14 Abonados de Internet a Nivel Nacional³⁶

Analizando los resultados obtenidos en la tabla 3.22, se observa que el dato de abonados de líneas no conmutadas correspondiente al año 2003, no es muy confiable para realizar una proyección de crecimiento de usuarios. Razón por la cual hemos considerado recalcular ese valor en función de los datos anteriores y posteriores a esa fecha. Dando como resultado 8686 usuarios de líneas no conmutadas. Quedando la estadística como se muestra en la tabla 3.23:

CUENTAS DE INTERNET A NIVEL NACIONAL (ABONADOS)			
Año	Abonados (DIAL-UP)	Abonados (LÍNEAS NO CONMUTADAS)	TOTAL
2001	83.007	2.623	85.630
2002	94.164	6.499	100.663
2003	102.787	8.686	111.473
2004	108.169	11.599	119.768
2005	110.540	26.786	137.326

Tabla 3.23 Abonados de Internet a Nivel Nacional

En la tabla 3.24 se presenta las tasas de crecimiento de Internet a nivel nacional, que han sido calculadas con los valores de las estadísticas antes mencionadas.

³⁶ Estadísticas SUPTEL/SENATEL, diciembre 2005

Año	Tasa de Crecimiento (DIAL-UP)	Tasa de Crecimiento (NO CONMUTADAS)	Tasa de Crecimiento (TOTAL)
2001 a 2002	13,44%	147,77%	17,56%
2002 a 2003	9,16%	33,65%	10,74%
2003 a 2004	5,24%	33,53%	7,44%
2004 a 2005	2,19%	130,93%	14,66%

Tabla 3.24 Tasa de Crecimiento de Internet a Nivel Nacional

En las figuras 3.15, 3.16 y 3.17 que se muestran a continuación observamos la variación de un año a otro de las tasas de crecimiento de los usuarios Dial-Up, usuarios de líneas no conmutadas y del total de usuarios.

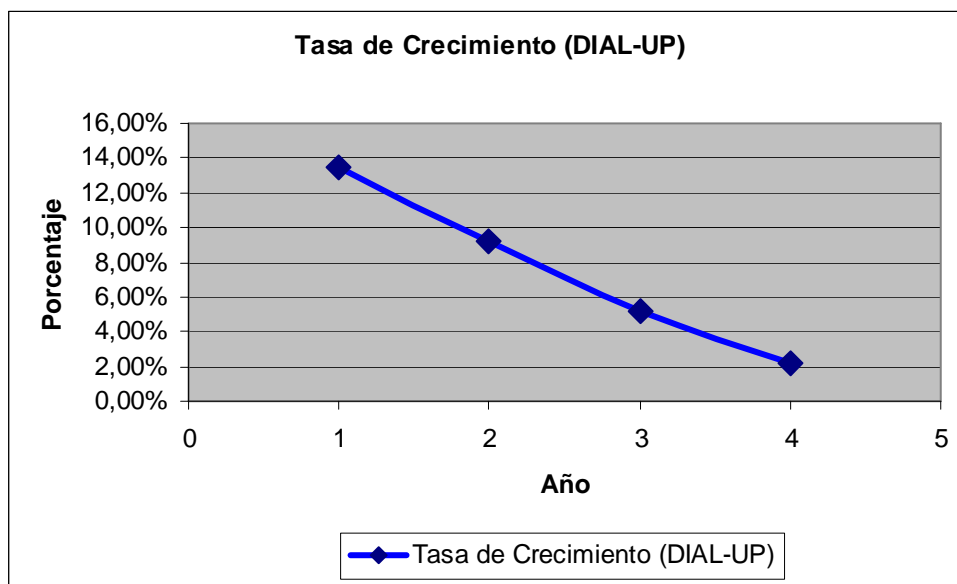


Figura 3.15 Crecimiento Abonados de Internet Dial-Up a Nivel Nacional

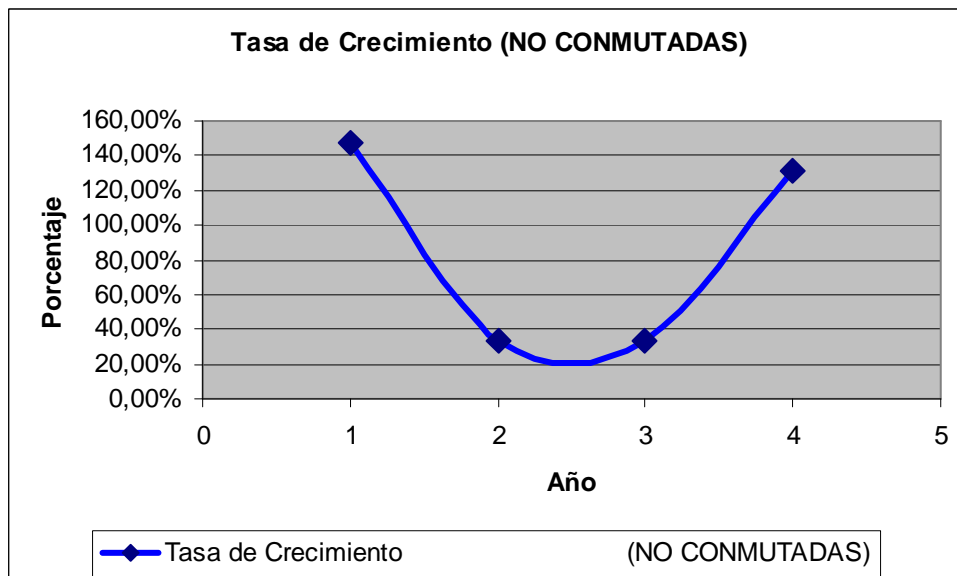


Figura 3.16 Crecimiento Abonados de Internet de Líneas no Conmutadas a Nivel Nacional

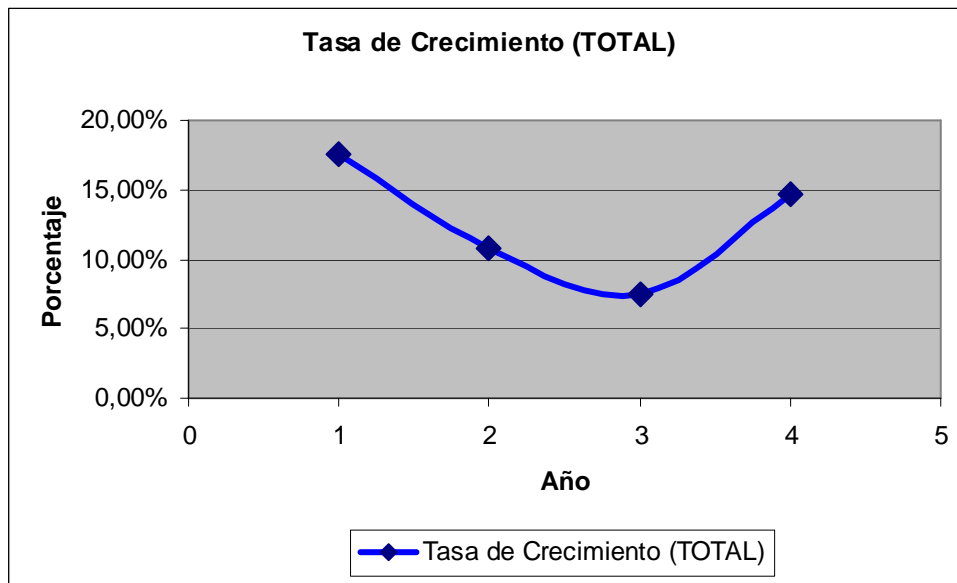


Figura 3.17 Curva de crecimiento promedio de abonados de Internet a Nivel Nacional

Para la proyección de usuarios se considerara una tasa de crecimiento promedio del 12.6% anual, este valor ha sido obtenido en función de las estadísticas antes mencionadas.

3.3.6 PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ANCHO DE BANDA

El presente estudio realizará una proyección de demanda desde dos ópticas una el crecimiento de demanda de ancho de banda de acuerdo a las aplicaciones existentes actualmente y otra de acuerdo al crecimiento de posibles usuarios.

Como se puede observar las estadísticas de la SENATEL en la tabla 3.24 el crecimiento de usuarios de líneas no conmutadas es mayor que la de usuarios de líneas conmutadas, eso se debe a que existen nuevas aplicaciones que demandan mayor ancho de banda para poder desplegarlas ya sea en un entorno doméstico o corporativo; como son aplicaciones en tiempo real como voz y video.

De acuerdo a los resultados de la tabla 3.24, la tasa de crecimiento de líneas no conmutadas son en realidad muy altas en algunos intervalos pasan del 100% de incremento de un año a otro, al contrario de lo que sucede con

usuarios Dial-up la tasa de crecimiento por año ha ido disminuyendo lo que demuestra que los clientes están optando por enlaces de mayor velocidad como el ADSL.

En conclusión podríamos considerar que la demanda de ancho esta en función del crecimiento de los usuarios de líneas no conmutadas que son los denominados de banda ancha, que crecen a una razón promedio de 86.47% anual

3.3.7 MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROYECCIÓN DE DEMANDA DE USUARIOS.

Para la proyección de la demanda de usuarios se utilizará el método de la tasa de crecimiento exponencial y está dado por la fórmula:

$$P_t = P_o * (1 + C)^t \quad [3.1]$$

En donde: %C \Rightarrow Tasa de crecimiento promedio acumulativa anual.

t \Rightarrow Número de años.

P_o \Rightarrow Cantidad de usuarios potenciales.

P_t \Rightarrow Cantidad de usuarios potenciales luego de t años.

Inicialmente se diseñará para el 2% de los usuarios potenciales, no se puede cubrir el total de usuarios debido a que para desplegar una red para cubrir a todos los usuarios potenciales no sería económicamente factible. A medida que transcurra el tiempo se incrementará el valor inicial y se espera llegar a cubrir un 9% del número total de usuarios potenciales tomando un crecimiento del 12.6% anual.

No se llegará a cubrir el total de usuarios potenciales ya que a medida que se

amplíe el sistema, los usuarios que se encuentran en la periferia de las celdas se convertirán en usuarios de futuras celdas adyacentes.

La proyección de la demanda del presente proyecto será a corto plazo, el objetivo es asegurarse que los usuarios reciban el servicio dentro de los criterios de funcionamiento adecuado, previendo que se cuente con el tiempo necesario para la realización de los planes, programas o proyectos suficientes para este objetivo. El resultado del planeamiento a corto plazo es un conjunto de decisiones y especificaciones de equipos, instalaciones o programas y planes para su implementación. Estas decisiones no pueden ser modificadas, pues se supone que se cuenta con el tiempo justo para su ejecución.

El tiempo máximo para el planeamiento de un sistema a corto plazo es de cuatro años; por lo tanto para el presente proyecto se realiza la proyección para cuatro años.

Como se mencionó anteriormente se realizará la proyección enfocándonos en los dos segmentos de mercado, para usuarios residenciales y usuarios corporativos dentro de los cuales se toma en cuenta a cybercafés.

3.3.7.1 Proyección de Demanda

Entonces con la fórmula 3.1 realizamos la proyección.

➤ Usuarios Residenciales.

De acuerdo a las estadísticas con las que cuenta la Superintendencia de Telecomunicaciones actualmente existen aproximadamente 25.418 cuentas DIAL-UP en el Distrito Metropolitano de Quito considerando que son usadas en entornos residenciales, dato tomado hasta diciembre del 2005 (Tabla 3.3). La tabla 3.25 presenta los usuarios que tendrán acceso a Internet durante los próximos cuatro años en el DMQ y la figura 3.18 nos da una óptica más clara ya que permite visualizar la curva de crecimiento de usuarios.

Datos:

$P_o = 25418$ Abonados

$C = 12.6\%$

$t = 4$ años

Año	Abonados Totales
1	25.418
2	28.620
3	32.226
4	36.286

Tabla 3.25 Posibles Usuarios Residenciales de Internet en Quito pronóstico para 4 años

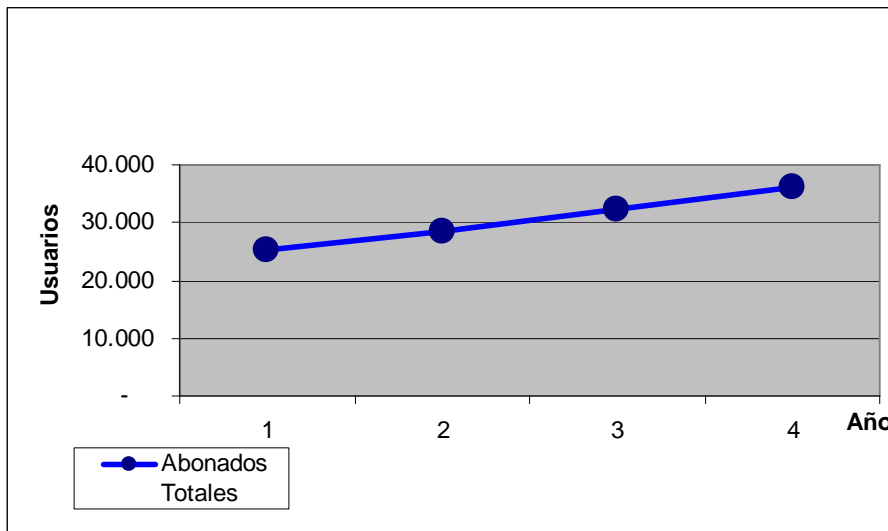


Figura 3.18 Curva de crecimiento usuarios Residenciales de Internet en Quito pronóstico para 4 años

Se ha fijado un mercado meta para cada año de funcionamiento del sistema, estimando que la empresa gane un porcentaje de usuarios del total proyectado en cada año; este porcentaje a sido considerado como objetivo y mercado meta para nuestra empresa tanto para posibles usuarios domésticos como para corporativos y se detalla a continuación en la tabla 3.26:

Año	% por año del Total de Abonados Esperados en 4 años
-----	---

1	1%
2	2%
3	2,5%
4	3,5%

Tabla 3.26 Porcentaje del total de abonados esperados en 4 años

A continuación en la tabla 3.27 se consideran diferentes porcentajes del total de Abonados Residenciales de la Red de Integración y Multiservicios en el Distrito Metropolitano de Quito que se espera tener al final de cada año.

Año	Abonados Totales	% Anual de Abonados Esperados del total	Abonados Esperados
1	25.418	1%	254
2	28.620	2%	572
3	32.226	2,5%	806
4	36.286	3,5%	1.270

Tabla 3.27 Abonados Residenciales esperados de la Red, pronóstico para 4 años

De acuerdo a la proyección para el cuarto año se contará con aproximadamente 36.286 usuarios residenciales de Internet en el Distrito Metropolitano de Quito, y de acuerdo a la proyección de abonados esperados tendríamos aproximadamente 1.270 posibles usuarios residenciales de los servicios que se ofrecen a través de una red WiMAX.

➤ **Usuarios Corporativos.**

De acuerdo a las estadísticas con las que cuenta la Superintendencia de Telecomunicaciones actualmente existen 14.064 abonados de Internet de líneas no conmutadas en el Distrito Metropolitano de Quito este dato incluye a Cybercafés; tomado hasta diciembre del 2005 (Tabla 3.3), y la tasa de

crecimiento anual de usuarios es del 12,6%³⁷.

Para el presente estudio no se contó con estadísticas de Usuarios WiFi en el Distrito Metropolitano de Quito y tampoco a nivel Nacional, se supone que la estadística de abonados de líneas no conmutadas considera a estos usuarios.

El estudio de tráfico de la red se lo dimensionará considerando los resultados de las encuestas y las estadísticas disponibles.

La tabla 3.28 presenta los usuarios corporativos que tendrán acceso a Internet durante los próximos cuatro años en el DMQ y la figura 3.19 nos da una óptica más clara ya que permite visualizar la curva de crecimiento de usuarios.

Datos:

$$P_o = 14064 \text{ Abonados}$$

$$C = 12.6\%$$

$$t = 4 \text{ años}$$

Año	Abonados Totales
1	14.064
2	15.836
3	17.831
4	20.078

Tabla 3.28 Posibles Usuarios Corporativos de Internet en Quito pronóstico para 4 años

³⁷ Superintendencia de Telecomunicaciones, [www. Supertel.gov.ec](http://www.Supertel.gov.ec)

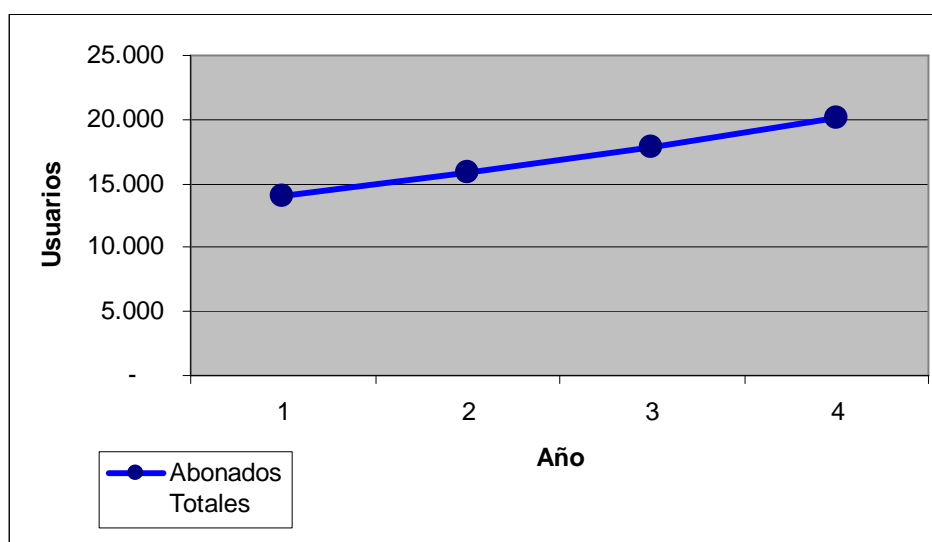


Figura 3.19 Curva de crecimiento usuarios corporativos de Internet en Quito pronóstico para 4 años

A continuación en la tabla 3.29 se consideran diferentes porcentajes del total de Abonados Corporativos de la Red de Integración y Multiservicios en el Distrito Metropolitano de Quito que se espera tener al final de cada año; estos porcentajes se considerarían como mercado meta de una empresa.

Se considera además los mismos porcentajes como objetivo de mercado para cada año, como se mencionó anteriormente.

Año	Abonados Totales	% Anual de Abonados Esperados	Abonados Esperados
1	14.064	1%	141
2	15.836	2%	317
3	17.831	2,5%	446
4	20.078	3,5%	703

Tabla 3.29 Abonados Corporativos esperados de la Red, pronóstico para 4años

De acuerdo a la proyección para el cuarto año se contará con aproximadamente 20.078 usuarios Corporativos de Internet en el Distrito Metropolitano de Quito, y de acuerdo a la proyección de abonados esperados tendríamos aproximadamente 703 posibles usuarios Corporativos de los servicios que se ofrecen a través de una red WiMAX.

Al momento de realizar las encuestas, se recopiló información de la ubicación

física de los posibles usuarios potenciales así como del número de pisos de los edificios; esto servirá para el cálculo del tráfico que soportará la red.

Como se puede observar en la figura 3.17 el crecimiento de abonados de Internet durante los cinco últimos años no tiene un comportamiento constante, sino que varía de acuerdo al año; para el estudio y proyección realizado se consideró una tasa de crecimiento promedio.

Las curvas de crecimiento de usuarios de las figuras para los próximos cuatro años tienen ese comportamiento debido al modelo matemático utilizado en la proyección, podría variar de acuerdo a las características y pensamiento de los posibles usuarios.

El crecimiento y la aspiración para poder ganar usuarios deben ser similares a la del primer año hasta posicionarse en el mercado, y contar con usuarios estables y comprometidos con este servicio.

El mercado estudiado es propicio para desplegar una red de servicios con las características ya mencionadas.

La tendencia de las telecomunicaciones es liberar al usuario de los cables, por lo que WiMAX se presenta como una atractiva solución a la necesidad de muchos.

3.4 ESTUDIO DE TRÁFICO

La previsión de la demanda es un paso clave dentro del proceso de planificación de un sistema de comunicaciones, con ella se puede determinar la capacidad de los equipos que se deben instalar. Para tener un dimensionamiento completo se requiere de un dato más, las previsiones de tráfico del sistema.

Los usuarios potenciales pueden tener diferentes comportamientos en el tráfico que requieran del sistema inalámbrico; de acuerdo a los resultados de las encuestas se calculará el tráfico que podría demandar la red. En la tabla 3.30 se detallan los valores de ancho de banda que ocupan ciertas aplicaciones.

Service Name	Error Rate (BER)	Max Access Delay	Jitter	Bandwidth
VoIP	High	<150ms	<100ms	5-8Kbps
Video Telephony	Medium	<100ms	30ns	1-2Mbps
Broadcast Video (SD)	Medium	<50ms	30ns	2Mbps
Broadcast Video (HD)	Medium	<50ms	30ns	6Mbps
Video Conferences	low			
Interactive Gaming	none	<50ms -100ms		
Instant Messaging	none			
Basic Data: Email, FTP	none			
A / V Surveillance	High			
Sensor and Control	none	<10ms	30ns	2.4Kbps
Factory Automation	none	<10ms	30ns	2.4Kbps
Vehicle Control	none	<10ms	30ns	2.4Kbps

Tabla 3.30 Directrices estimadas para garantizar QoS³⁸

De acuerdo a los resultados de las pregunta N° 10 de la encuesta Empresarial el 29,4 % de las empresas encuestadas tienen una intranet inalámbrica con tecnología WiFi, a partir de este dato se podría realizar un cálculo de los usuarios WiFi en el Distrito Metropolitano de Quito.

Tomando en cuenta las estadísticas de la Suptel³⁹ en la ciudad de Quito existen 14.064 usuarios corporativos, de donde;

$$UsuariosWiFi = 0.294 * 14064$$

$$UsuariosWiFi = 4134$$

Entonces, de acuerdo a este pronóstico en Quito 4134 empresas cuentan con una intranet inalámbrica.

Tomando la tabla 3.28 de la proyección de abonados corporativos, considerando el porcentaje de abonados esperados del total y con el dato obtenido del cálculo anterior tenemos los posibles usuarios de nuestra red para una proyección de cuatro años, indicado en la tabla 3.31:

³⁸ Mike Connery, Intel, 21 de julio del 2005

³⁹ Superintendencia de Telecomunicaciones

Año	Abonados Totales	% Anual de Abonados Esperados	Abonados Totales
1	4.134	1%	41
2	4.655	2%	93
3	5.241	2,5%	131
4	5.902	3,5%	207

Tabla 3.31 Abonados WiFi esperados como usuarios de la Red pronóstico para 4 años

Para el cálculo de tráfico se consideran los resultados de la pregunta N° 5 (revisar tabla 3.14) de la encuesta Empresarial donde se indica que la velocidad promedio que proporcionan los ISPs a usuarios corporativos es de 128 Kbps para acceso a Internet. Además analizando los resultados de la pregunta N° 8 (revisar tabla 3.17) de la encuesta Empresarial, la mayoría de los encuestados considera que necesita mayor velocidad en su empresa. Por lo tanto el estudio de tráfico se realizará con una velocidad promedio de 512 Kbps con nivel de compartición 2 a 1, tres veces más del promedio actual.

El ancho de banda promedio para usuarios residenciales será de 128 Kbps con nivel de compartición 4 a 1, este valor ha sido considerado como suficiente para acceder a Internet desde el hogar y comparándolo con el servicio dial-up actual es considerablemente mejor.

De donde tenemos:

Abonados Totales	Ancho de Banda Requerido (Kbps)
41	10.496

Tabla 3.32 Ancho de Banda Requerido por usuarios WiFi

La demanda de ancho de banda de la red diseñada únicamente como red de Integración WiFi sería de 10.496 Kbps o 10,5 Mbps.

El diseño de la red considera, además de clientes WiFi, a toda clase de usuarios actuales, por lo tanto se calcula el tráfico que demandaran durante el primer año de operación de la red, valores indicados en la tabla 3.33

	Total de Abonados Esperados para el primer año
Empresariales	100
WiFi	41
Residenciales	244
Total	385

Tabla 3.33 Abonados esperados primer año

En la tabla 3.34 se presenta el cálculo del ancho de banda requerido por usuarios residenciales y corporativos que no han desplegado una intranet inalámbrica.

Tipo de Usuario	Abonados Totales	Ancho de Banda Requerido (Kbps)
Corporativos	100	25.600
Residenciales	244	7.808
TOTAL		33.408

Tabla 3.34 Ancho de banda total requerido

No se realiza un estudio de tráfico para usuarios de telefonía fija inalámbrica ya que a través del ancho de banda contratado para Internet podrían también obtener este tipo de servicio de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 3.30.

A continuación en la tabla 3.35 se detallan los valores de ancho de banda para los posibles usuarios de la red.

Servicio	Abonados	Ancho de Banda (Mbps)
Residenciales	244	7,81
WiFi	41	10,50
Corporativos	100	25,60
Reserva para nuevos servicios		30,00
	Total:	73,91

Tabla 3.35 Ancho de banda requerido para el servicio durante el primer año de operación

Entonces el ancho de banda total demandado para el primer año de operación de la red será de 73,91 Mbps que serán distribuidos de acuerdo a la ubicación

de los posibles usuarios potenciales.

Para realizar el estudio y proyección de demanda se procedió de la siguiente manera, se efectuó una segmentación de mercado de acuerdo al servicio que utilizan quedando identificadas dos partes: usuarios residenciales y corporativos; una vez realizada la segmentación utilizando estadísticas existentes de la SENATEL se calcula el tamaño de la muestra para la elaboración de encuestas y recopilar información de los posibles usuarios potenciales para conocer que servicios reciben actualmente, calidad de servicio, ancho de banda, etc. La información obtenida de los resultados de las encuestas es utilizada para predecir el número de posibles usuarios para los próximos cuatro años así como la demanda de ancho de banda conforme crecen los usuarios.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA RED WIMAX.

4.1 INTRODUCCIÓN

Considerando los resultados obtenidos en los capítulos 2 y 3 del presente proyecto se procede a dimensionar y diseñar la red.

El diseño en primer lugar considera establecer la estructura de la red, esto permitirá tener una idea clara de lo que necesitamos realizar en instancias posteriores. Una vez estructurada la red es necesario ubicar sitios estratégicos para situar las estaciones base y definir el área de cobertura de cada una.

Es importante definir la banda de frecuencia dentro de la cual se va operar, en esta parte es necesario considerar la regulación establecida y vigente para los servicios que se van a prestar a través de la red, así como para la frecuencia escogida, dichas regulaciones han sido elaboradas por el CONATEL.

A continuación se procede a la elección de los equipos que serán empleados en la implementación de la red, es importante considerar equipos que se acoplen de mejor manera a los requerimientos del sistema.

En este punto se diseñará un sistema que integre todos nuestros nodos de red de manera eficaz, este sistema de integración será el “backbone” de nuestra red y se propone realizarlo mediante el uso de microondas punto a punto bajo el estándar de WiMAX.

4.2 PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA

Los avances tecnológicos contribuyen a la convergencia de los servicios de telecomunicaciones y cambian continuamente la manera de trabajar de las personas. Las nuevas y revolucionarias tecnologías, combinadas con los servicios que ofrece y las fuertes relaciones que se establece con los clientes,

hacen de este mundo un lugar más pequeño.

El vínculo estrecho entre proveedor-cliente hace que los sistemas estén diseñados para satisfacer las necesidades particulares de cada uno de ellos; además las soluciones que se presenten, estén en capacidad de funcionar en las condiciones más exigentes del mundo actual, para cubrir las necesidades de los usuarios, siendo capaces de ofrecer con gran experiencia y eficiencia un buen servicio siempre pensando que con una buena planificación se tenga satisfecho al cliente.

Una solución inalámbrica sería de gran beneficio, tanto para los usuarios como para los operadores del sistema, debido a su rápido despliegue y puesta en marcha del sistema⁴⁰.

4.2.1 CONCEPTOS GENERALES

Para alcanzar los objetivos planteados es ineludible una buena planificación del despliegue del sistema tomando en cuenta que, es necesario un conocimiento y comprensión profunda de tres áreas distintas y separadas como son: el plan comercial y la base de clientes/abonado comprometido; un conocimiento sólido de la demografía y la topografía de la zona en la cual se va a desplegar/prestar el servicio; un conocimiento, experiencia y especialización en ingeniería de radio pertinentes y detallados.

Puesto que son áreas diferentes es necesario un trabajo conjunto para alcanzar el éxito dando una solución óptima. Al planificar se puede prever, tomar dediciones contemplando distintas posibilidades; resultando mucho más rentable y técnicamente fiable en muchos aspectos, que en un financiamiento basado en criterios personales.

4.2.2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA

El proceso es una serie de acciones o eventos realizados para lograr, hacer algo con un resultado en particular o una serie de cambios que pasan

⁴⁰ Acceso Inalámbrico Fija, UIT, 2da Ed.. Oficina de Radiocomunicaciones 2001

naturalmente⁴¹. Y combinando con una planificación que muestre los detalles importantes involucrados en el sistema se conseguirá un buen diseño.

Este proceso empieza con la definición de las estrategias a seguir, en otras palabras cumplir con los objetivos planteados con los medios y tecnología disponibles. Definida la línea de estrategia, se centra el análisis en la planificación estructural, definiendo planes de desarrollo del sistema centrándose en los planes técnicos fundamentales. Finalmente se define el mantenimiento y la explotación del sistema diseñado.

4.3 ESTRATEGIAS

Estrategia es un plan de gran alcance para lograr algo o alcanzar una meta, o la habilidad de hacer cosas así planeadas.

A continuación se definen los objetivos que esperamos tener al final del diseño,

4.3.1 OBJETIVOS

- Aumentar la tasa de penetración de los usuarios en la zona comercial de la ciudad de Quito, con una demanda inicial y su respectiva proyección a corto plazo.
- Ubicar a posibles usuarios para los múltiples servicios que se podrían ofrecer a través de una red de integración inalámbrica WiMAX (Capítulo3).
- Establecer una estructura general de la red.
- Dimensionar y diseñar la red inalámbrica de integración para el Distrito Metropolitano de Quito.
- Determinar los equipos requeridos.
- Elaborar los diagramas de cobertura.
- Elaborar los perfiles topográficos.
- Realizar una evaluación referencial de costos de equipos, materiales y recursos humanos para una futura implementación de la Red de integración y multiservicios WiMAX (Capitulo 5).

⁴¹ Acceso Inalámbrico Fijo. 2da Ed. UIT. Oficina de Radiocomunicaciones.2001

- Detallar las fortalezas y debilidades de la Red además de recomendaciones para su implementación.

4.3.2 ETAPAS.

La red de integración WiMAX deberá pasar por las siguientes etapas para cumplir con los objetivos propuestos en el literal anterior:

- a) Identificación de las necesidades y diseño técnico detallado.
- b) Planificación del sistema.
- c) Diseño técnico y posibles soluciones.
- d) Despliegue de la red de telecomunicaciones.
- e) Análisis y optimización de la calidad de funcionamiento de la red.
- f) Escalabilidad

De acuerdo al plan de proyecto de titulación aprobado, no contempla los literales d, e y f; pero se los menciona como parte del sistema.

4.3.3 PLAN ESTRATÉGICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y DESPLIEGUE DE LA RED

El plan estratégico aplicado viene dado por siguiente flujograma de la figura 4.1 :

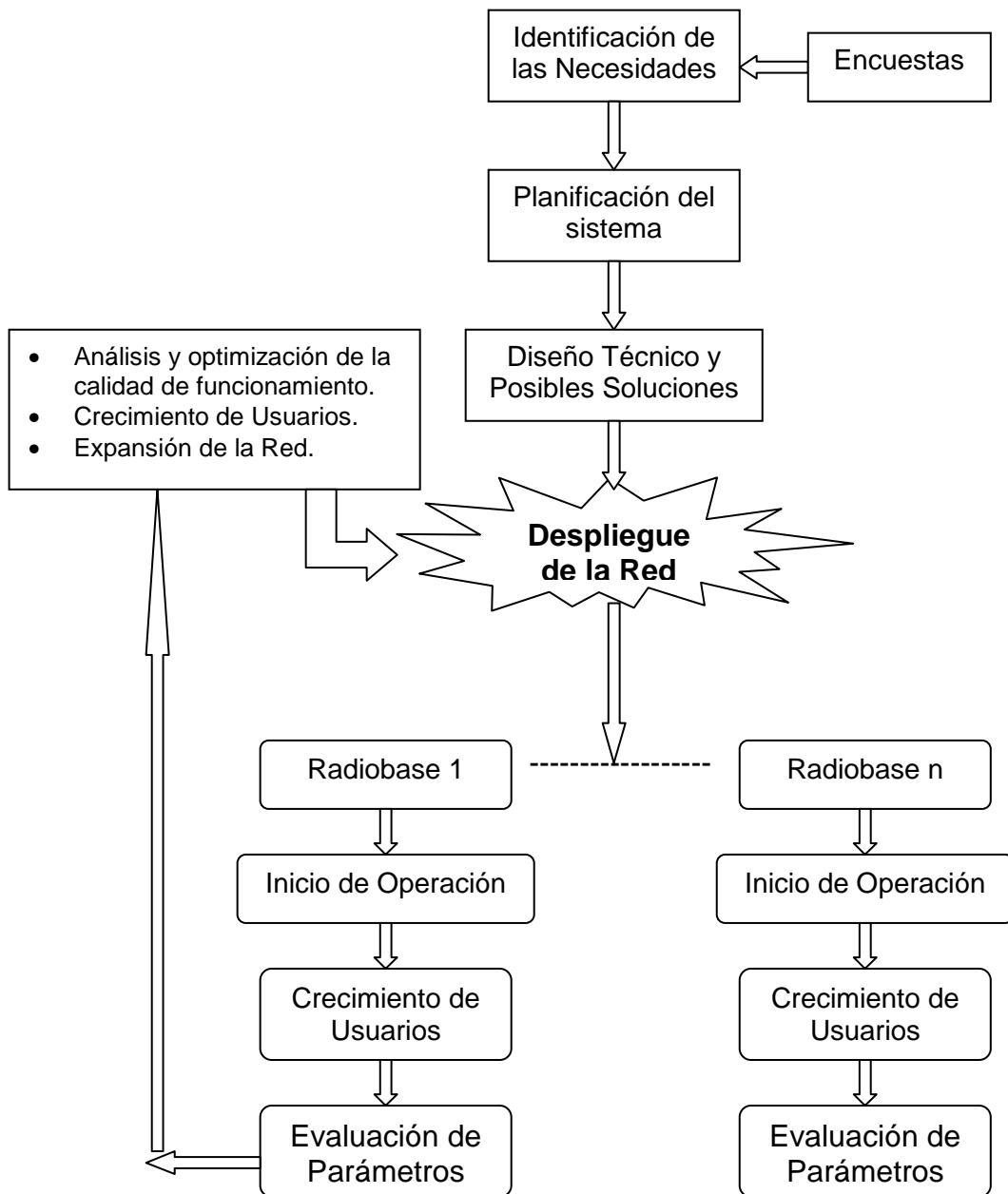


Figura 4.1 Flujograma del plan estratégico.

4.4 ESTRUCTURA DE LA RED

La figura 4.2 que a continuación se presenta, nos da una idea de la posible estructura de la red, que ha sido considerado en función de la densidad de posibles usuarios y la ubicación geográfica de los mismos.

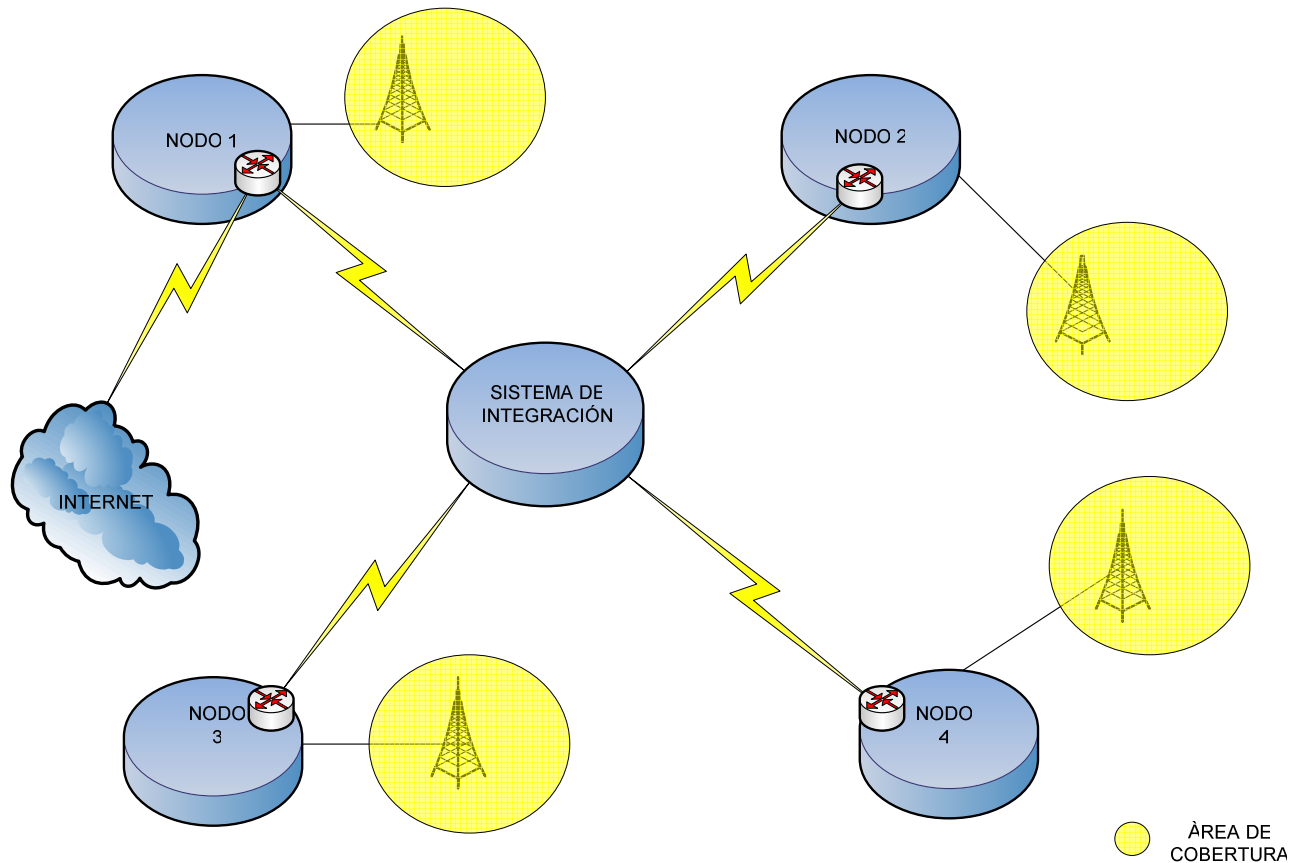


Figura 4.2 Diagrama de bloques de la red

4.5 UBICACIÓN DE LAS RADIOBASES

Para escoger la ubicación geográfica de las radiobases es necesario cumplir con ciertos requisitos:

- Línea de vista con la mayoría de los usuarios potenciales.
- Cubrir la zona en su totalidad.
- Evitar que las celdas se superpongan y produzcan interferencias entre ellas.

Ya que es importante que se cumpla los requisitos antes mencionados, se realizó una inspección para encontrar un lugar adecuado para el emplazamiento de las radiobases dando como resultado su ubicación en los lugares detallados en la tabla 4.1.

Lugar de emplazamiento de las Radiobases	Altura sobre el nivel del mar [m]	Altura de las antenas sobre el nivel de tierra [m]	Coordenadas Geográficas	
			Latitud	Longitud
Edificio DAC	2881,45	9	0° 12' 42"S	78° 30' 6,20" W
Edificio Operador del Servicio	2847,66	9	0° 10' 15"S	78° 29' 06" W
Colegio Alvernia	2798,02	9	0° 7' 22,43"S	78° 29' 39" W
Urbanización Pusuquí	2555,34	9	0° 3' 52,71"S	78° 27' 45,46" W

Tabla 4.1 Ubicación geográfica de las radiobases

Cabe destacar que las estaciones que cubrirán la gran mayoría de usuarios potenciales están ubicadas en el edificio del operador del servicio y en el edificio de la DAC, razón por la cual los equipos que se elijan deberán acoplarse de la mejor manera a esta necesidad ya que será la zona que mayor carga de tráfico maneje.

Los sitios que han sido elegidos para el emplazamiento de las estaciones base están en las siguientes direcciones:

- Edificio de la DAC, ubicado en la Av. 10 de Agosto y José Riofrío.
- Edificio Financiero, ubicado en la Av. Río Amazonas y Pereira.
- Edificio colegio Alvernia, ubicado en la Av. De la Prensa N58-23 y Flavio Alfaro.
- Urbanización Pusuquí, ubicada en el kilómetro 5 ½ de la autopista Manuel Córdova Galarza.

4.6 BANDA DE FRECUENCIA

La tecnología WiMAX opera en bandas con licencia como la de 3.5 GHz y en

bandas sin licencia como la banda ICM. Para el desarrollo del proyecto hemos escogido la banda ICM puesto que requiere menos trámite para su utilización, mientras que las bandas con licencia son concesionadas por el CONATEL.

Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha en las siguientes bandas de frecuencias⁴²:

:

BANDA (MHz)	ASIGNACIÓN
902 - 928	ICM
2400 - 2483.5	ICM
5150 – 5250	INI
5250 – 5350	INI
5470 – 5725	INI
5725 - 5850	ICM, INI

Tabla 4.2 Bandas de Frecuencias asignadas por la SNT

El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha en bandas distintas a las indicadas en la presente Norma, previo estudio sustentado y emitido por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

El presente diseño se utilizará la banda de 5,725 – 5,850 GHz denominada Banda ICM; debido a que en esta banda presenta mayor ancho de banda por canal hasta 10 MHz, según el equipo que utilice.

4.6.1 REUSO DE FRECUENCIA EN ESCENARIOS MULTICELDA

Como ya se ha mencionado, el reuso de frecuencia en los escenarios multicelda de los sistemas WiMAX se cumple en grupos de N celdas, es decir, se asignan canales a cada uno de los sectores de un grupo de celdas

⁴² RESOLUCION 417-15-CONATEL-2005, capítulo 3, artículo 6

contiguas teniendo en cuenta aspectos como máxima separación entre canales adyacentes y polarizaciones alternantes, luego se repite el patrón de N celdas hasta cubrir la totalidad del área de servicio.

4.7 ÁREA DE COBERTURA

Como se especificó anteriormente el diseño de la red tendrá un área de cobertura que va desde el Centro Histórico hasta el centro de convenciones CEMEXPO, debido a que entre estos dos sectores se encuentra la zona comercial más importante del Distrito Metropolitano de Quito; propicia para el despliegue de un sistema como el que exponemos en el presente proyecto.

Cabe destacar que la densidad de usuarios en la ciudad no es uniforme, por lo que es necesario ubicar las zonas donde están concentrados los usuarios potenciales, considerando el análisis de demanda realizado en el capítulo 3.

En la figura 4.3 se indica el área de cobertura del sistema.

4.8 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Existe una cantidad extensa de equipos que pueden ser utilizados en sistemas WiMAX. Muchos de los fabricantes conocidos a nivel mundial han desarrollado tecnología de punta para todo tipo de usuarios en los mercados más exigentes.

El proceso de selección de equipos entre un fabricante y otro, no es tarea sencilla. Se lo realiza siguiendo ciertos pasos, según lo disponga la empresa interesada en la compra de equipos. Se podrá seguir un proceso parecido al siguiente:

- Llamar a una presentación de ofertas, habiendo estudiado con detenimiento los requerimientos del sistema.
- Conocer las características técnicas que presenta cada fabricante
- Estudiar las propuestas económicas de cada fabricante
- Seleccionar uno o varios fabricantes, basándose en los dos puntos anteriores
- Negociar formas de financiamiento con los fabricantes seleccionados
- Elección del equipo a ser instalado en el sistema.

La tabla 4.3 presenta varios fabricantes y las características más relevantes de los equipos que ofrecen. Se elegirá al que se acople mejor a las necesidades del diseño.

Fabricante	AIRSPAN	NEX-G	SIEMENS	ALVARION	APERTO
<i>Modelo</i>	<i>HyperMax</i>	<i>Horizon</i>	<i>SkyMax</i>	<i>BreezeMax</i>	<i>PacketMax</i>
<i>Banda de Frecuencia (GHz)</i>	3,4 - 3,6 y 5,8	5,8; 3,5 y 2,5	3,4 - 3,8	3,4 - 3,6	3,4 - 3,6 y 5,8
<i>Potencia del Transmisor (dBm)</i>	32 x antena	NO ESPECIFICA	35	28	20 – 28
<i>Sensibilidad del receptor (dBm)</i>	-115 (1/16)	NO ESPECIFICA	-103/-100	-100/-103	-100
<i>Ancho del canal(Mhz)</i>	1,75; 3,5; 5; 7 y 10	1,75; 3,5; 7 y 10	1,75 a 14	1,75; 3,5	2 - 10 pasos de 1

QoS	UGS rtPS nrtPS BE	RT	CG RT NRT BE	RT	CG RT NRT BE
Ganancia de la Antena	DL 18dBi UL 13dBi	18dbi	NO ESPECIFICA	17dBi	NO ESPECIFICA
IPv6	Si	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA
CIR/MIR	Si	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA
Encriptación	AES/DES	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	WEP 64 – 128 bits	AES/DES
Actualización de software	Si	Si	Si	NO ESPECIFICA	Si
VLAN	Si	Si	Si	Si	Si

Tabla 4.3 Características de equipos WiMAX

Si estudiamos detalladamente la tabla 4.3 observamos que las marcas AIRSPAN, NEX-G y APERTO trabajan en la banda de 5,8 GHz que es la que utilizamos para el diseño del proyecto. Es importante monitorear y administrar el ancho de banda de cada uno de los clientes esta opción está disponible con los equipos AIRSPAN.

Al momento los equipos AIRSPAN tienen compatibilidad con el estándar IPv6 y además soportan actualización del software del estándar 802.16-2004 a 802.16-e.

Después de revisar las especificaciones técnicas de cada fabricante y sus equipos llegamos a la conclusión que los equipos de Airspan y su línea AsMax se acoplan de mejor manera a los requerimientos de nuestro diseño.

Una vez seleccionado el fabricante y la línea de equipos a continuación se describirá las estaciones base y los CPE´s que se considerarán en el diseño.

4.8.1 ESTACIÓN BASE HIPERMAX

HiperMax está diseñado para operar sobre grandes redes, utiliza un sistema altamente escalable y redundante.

Proporciona una amplia cobertura con un arreglo de antenas de 8 elementos, toda estación base HiperMax soporta Sistema de Antenas Adaptivas (AAS), diversidad de transmisión y recepción multicanal, además posee una plataforma que le permitirá utilizar Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA), el cual usa el arreglo de antenas para mejorar la capacidad y el re-uso de frecuencias.

Las estaciones base HiperMax pueden ser configuradas para proveer aplicaciones de voz tradicionales utilizando TDM o pueden ser optimizadas para soportar aplicaciones VoIP, usando un gateway estándar hacia la PSTN (Public Switched Telephone Network).

La estación base HiperMax a sido seleccionada ya que permite manejar gran cantidad de tráfico así como de CPE's.

4.8.2 ESTACIÓN BASE MICROMAX⁴³

La estación base MicroMax tiene un diseño altamente modular, y consiste de dos partes principales: una externa de radio frecuencia (BSR, Base Station Radios) y una interna denominada Unidad de Distribución de Estación Base (BSDU) o un sencillo adaptador de canal de datos. Cada emplazamiento de estaciones base puede contener hasta 12 BSRs, dependiendo de la cantidad de espectro disponible. Cada BSR es conectada a la BSDU a través de un interfaz 100BASE-T operando sobre cable UTP categoría 5, el cual conduce datos y alimentación.

MicroMax-SOC ha sido diseñada para soportar baja densidad de tráfico, acceso de banda ancha rural, aplicaciones empresariales y DSL operando en bandas licenciadas y no licenciadas.

⁴³ www.airspan.com

Una de las principales características de MicroMax BSR es que requiere menos de 28 vatios de potencia, haciéndolo ideal para alimentarse de energía a través de la línea de datos usando líneas SHDSL, de éste modo se hace posible la entrega económica de servicios inalámbricos de banda ancha a comunidades rurales, superando el alcance de DSL.

MicroMax ha sido considerada para zonas en las que la concentración de usuarios no es muy grande y el tráfico que generan no es muy alto.

4.8.3 EQUIPO TERMINAL DE USUARIO(CPE)

El CPE (Customer Premises Equipment) de WiMAX es un terminal simple “plug and play”, similar a un módem xDSL, proporciona la conectividad. Para los clientes situados a varios kilómetros de la estación base de WiMAX, una antena al aire libre se puede requerir para mejorar calidad de transmisión. Para servir a clientes alejados se requiere una antena directiva apuntando a la estación base de WiMAX. Para los clientes que solicitan voz además de servicios de banda ancha, el CPE específico permitirá la conexión del teléfono estándar o de los teléfonos de VoIP. Para las “notebooks” el CPE consiste en una tarjeta insertable, mientras que para los equipos móviles será un chip WiMAX.



Figura 4.4 CPE WiMAX, para aplicaciones fijas y móviles.

4.8.3.1 Equipo de Usuario ProST-WiFi

El ProST ha sido diseñado para un despliegue externo rápido y simple, para ser instalado por personal calificado en menos de una hora. Esta unidad es ideal cuando se necesita garantizar calidad de servicio. El ProST asegura alta disponibilidad de servicio en rangos mejorados, operando indistintamente en ambiente de propagación LOS y NLOS.

Para ofrecer un servicio básico, el ProST posee una configuración simple, sin embargo; para dar mejor servicio el ProST requerirá el sistema de administración para autenticar el equipo de usuario usando el protocolo X.509. La figura 4.5 nos da una idea de cómo trabaja el ProST.

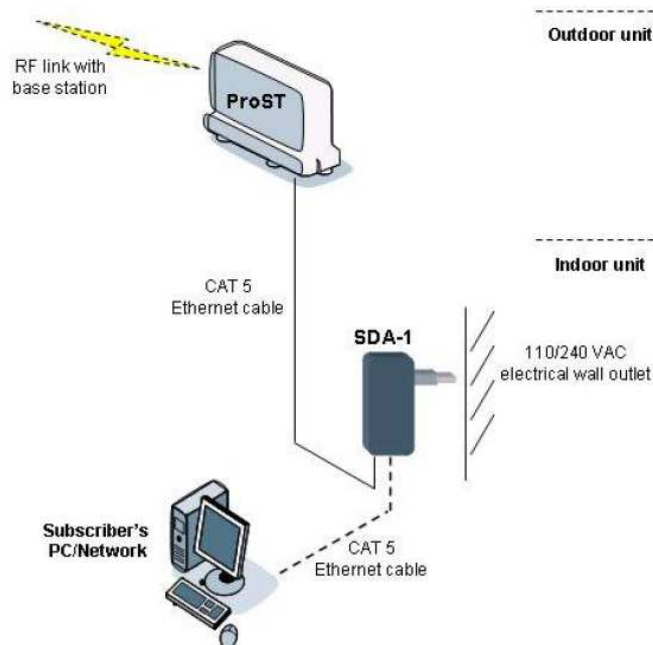


Figura 4.5 Equipo ProST con antena integrada

ProST-WiFi es el equipo terminal que será utilizado para los usuarios empresariales por las características antes mencionadas.

4.8.3.2 Equipo de Usuario EasyST

EasyST es un CPE WiMAX diseñado para ser instalado fácilmente a un costado del PC del usuario final, como se puede apreciar en la figura 4.6.

Las principales características de EasyST:

- CPE WiMAX de fácil instalación por el usuario final
 - Desplegable en ambientes NLOS internos
 - Plug and Play
 - La instalación tarda menos de un minuto
- Diseño compacto
 - Utiliza chip Intel 802.16 ProWireless 5116
 - Punto de Acceso WiFi opcional IEEE 802.11b/g
 - Opcional VoIP para 1 o 2 - 4 líneas POTS
- Diferentes tipos de antenas
 - Antena auto selectiva de 7dBi
 - Antena externa de 11.5 dBi
- Soporta subcanalización (OFDMA en Uplink)
- Lector universal de tarjetas SIM
- Operación Nómada
- Auto-configuración

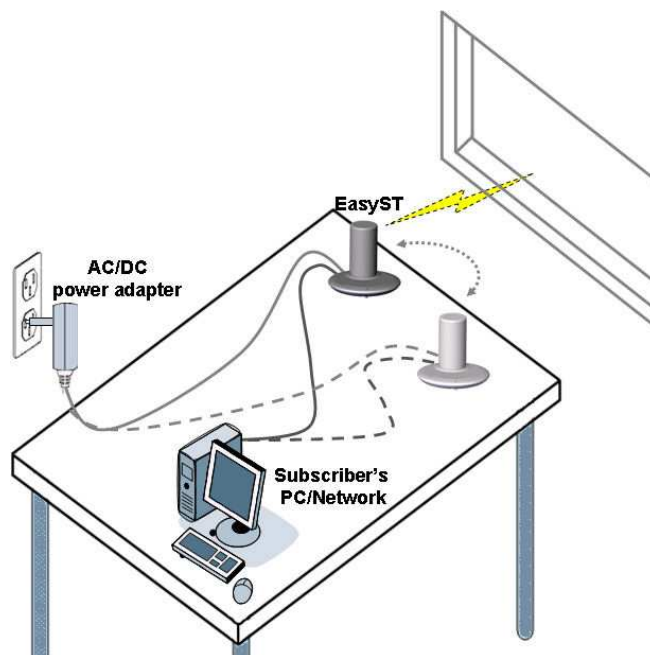


Figura 4.6 Equipo EasyST

El equipo EasyST es el equipo terminal que será utilizado para los usuarios residenciales.

En la tabla 4.4 y 4.5 se puede obtener mayor información técnica acerca de

características específicas de los equipos

		Macro Cells Base Stations	
		HiperMAX	MacroMAX
RF Interface	Physical Layer	OFDM (SDR software upgradable to SOFDMA)	OFDM (SDR software upgradable to SOFDMA)
	Frequency Bands	3.4-3.6GHz initially, 2.3-2.4GHz, 4.9-5.0GHz + subsequent additional WIMAX bands	3.4-3.6GHz initially
	Channel Size	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz, 7MHz, 10MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz
	FFT	256 (SDR software upgradable to 512 and 1024)	256 (SDR software upgradable to 512 and 1024)
	Duplex Method	FDD + TDD	FDD initially
	Sector Angle	60, 90, 120, 180, omni	60, 90, 120, 180, omni
	Modulations Supported	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
	WIMAX Profiles Supported	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2
	Standards Compliance	IEEE 802.16-2004 (Software upgradable to 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (Software upgradable to 802.16e)
	Tx Power (see note 1)	Up to +32dBm per antenna element	Up to +37dBm per antenna
	Rx Sensitivity (see note 2)	-115dBm (1/16), -103dBm (1/1)	-115dBm (1/16), -103dBm (1/1)
AAS & Diversity Gains (Downlink / Uplink)	Up to 22dB / 15dB	Up to 7dB / 7dB	
RF Interface Options	Adaptive Antenna System (AAS) Support	Yes	No
	Multi Channel Tx Diversity	Yes	Yes
	Nth Order Rx Diversity	Yes	Yes
	Space Division Multiple Access (SDMA) Support	Yes, by software upgrade	No
	Spatial Frequency Interface Rejection (SFIR) Support	Yes, by software upgrade	No
	Uplink Sub-Channelisation Support	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 (+1/32 with software upgrade)	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 (+1/32 with software upgrade)
	Dynamic Frequency Selection (DFS) Support	N/A	N/A
	Turbo Coding Supported	Yes, by software upgrade	Yes, by software upgrade
	Configurable Cyclic Prefix	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
	Configurable Frame Duration	2.5, 4, 5, 8, 10, 12.5, 20ms	2.5, 4, 5, 8, 10, 12.5, 20ms
	GPS Clock Synch Supported	Yes	Yes
IP Options / Features	Bridging Mode	802.1D self-learning bridge	802.1D self-learning bridge
	IPv	IPv4 + IPv6	IPv4 + IPv6
	802.1Q VLAN	Yes	Yes
	MIR / CIR	Yes	Yes
	DiffServ	Yes	Yes
	Packet IPv6 over 802.3/Ethernet	Yes	Yes
	Packet IPv4 over 802.1Q	Yes	Yes
	Packet IPv6 over 802.1Q	Yes	Yes
	Payload Header Suppression	Yes	Yes
	Multicast Polling	Yes	Yes
	ARQ	Yes	Yes
Packing	Yes	Yes	
Scheduling	Unsolicited Grant Service	Yes	Yes
	Real Time Polling	Yes	Yes
Encryption	Data Encryption AES CCM	Yes	Yes
	TEK Encryption AES 128bit	Yes	Yes
	TEK Encryption AES 1024	Yes	Yes
Management	Managed Subscriber Station	N/A	N/A
User / Network Interface Options	User / Network Interface	100bt/1000bt Ethernet	100bt Ethernet
Power	Voltage	-48V DC nominal	85-265V AC
	Power Consumption	250W per AAS Sector	300W per Diversity Sector
Mechanical	Indoor Dimensions (h-w-d)	Chassis to fit 19" / 23" Equipment Rack	Chassis to fit 19" / 23" Equipment Rack
	Outdoor Dimensions (h-w-d)	710 x 275 x 130 mm (inc. antenna array)	840 x 159 x 82.5 mm (for a single 120deg antenna)
	Indoor Weight	110kg	13.5kg
	Outdoor Weight	20kg	7kg (for a single 120deg antenna)

Note 1: Tx powers apply for QPSK operation. 64QAM support requires appropriate power back-off.

Note 2: Rx sensitivities apply to the minimum channel bandwidth supported and include maximum sub-channelisation.

Tabla 4.4 Características técnicas de los equipos

Como todo sistema de telecomunicaciones necesita de un sistema que controle y monitoree la red, se ha elegido para el presente diseño utilizar uno que ha sido elaborado por los mismos fabricantes de los equipos; esto permitirá un óptimo funcionamiento de la red.

Netspan es un administrador de red centralizado que soporta una arquitectura cliente/servidor y está basado en SNMP. El Netspan Server corre sobre la plataforma de un PC, haciendo uso de una Base de Datos SQL que almacena la configuración, estadísticas e historial de alarmas de la red de radio. Para acceder al servidor Netspan se lo hace desde el Explorador de Internet Microsoft, usando el servicio de web del servidor Netspan, como se aprecia en la figura 4.7.

Netspan soporta equipos que conforman el estándar WiMAX, y puede ser integrado con sistemas de administración existentes.

Soporta sistemas fijos y nómadas (móviles y portátiles) con actualizaciones.

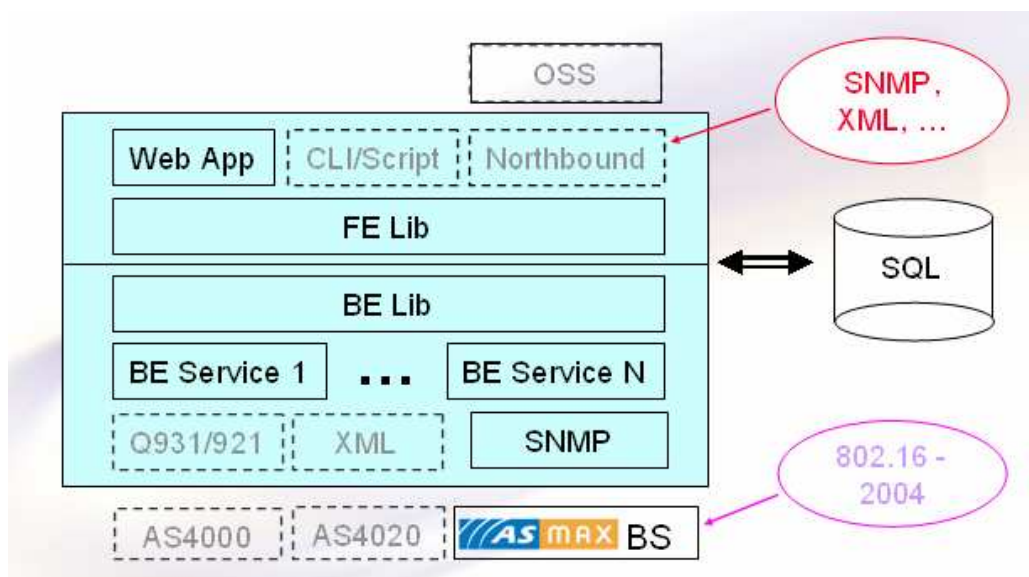


Figura 4.7 Modelo de la Arquitectura de capas Netspan

El Sistema de Administración de Red Netspan está basado en una plataforma Microsoft.net que permite configuración, operación y mantenimiento como cliente web estándar. La figura 4.8 presenta un esquema de cómo Netspan administra los terminales de los clientes.

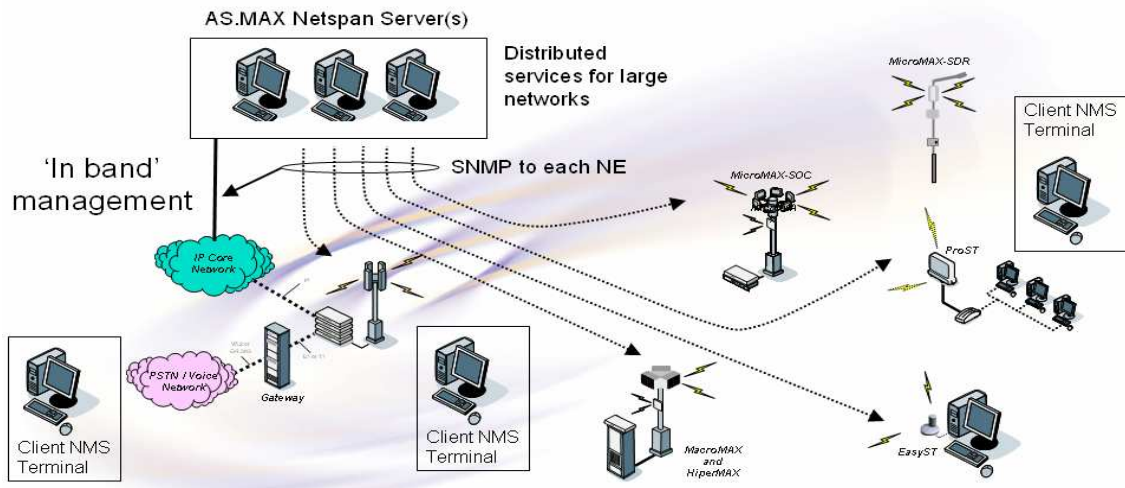


Figura 4.8 Terminales NMS de cliente distribuidos

Permite el control centralizado de las estaciones base mediante reportes continuos de las mismas hacia el centro de operaciones donde estará ubicada la terminal de control. La figura 4.9 nos da una idea de cómo Netspan monitorea y administra las estaciones base de manera centralizada.

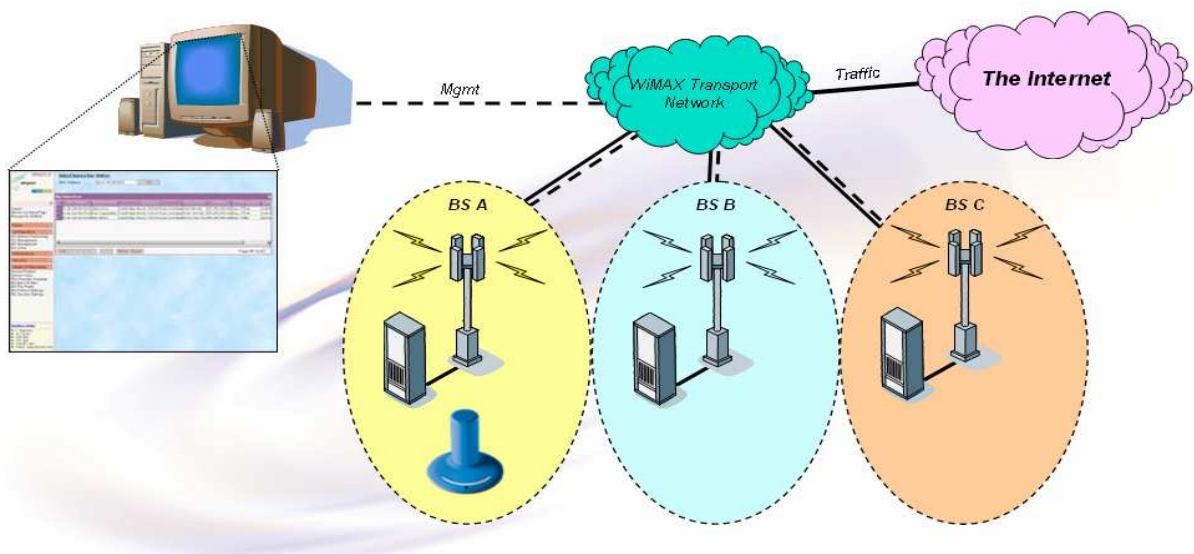


Figura 4.9 Modelo de Administración total de la Red incluyendo Estaciones Base

4.8.4.1 Actualización de WiMAX

Los equipos antes mencionados podrán utilizar actualizaciones para operar con nuevas versiones de software ya sea bajo el estándar fijo o móvil, de acuerdo a las especificaciones de la tabla 4.6.

	WiMAX Fijo	WiMAX Móvil
Estándar	802.16-2004	802.16e-2005,
Capa Física	256 FFT OFDM	512 and 1024 FFT SOFDMA
Tamaño de Canal	3.5 MHz, 7 MHz y 10 MHz	5 MHz y 10 MHz
Método de Duplexación	TDD & FDD	TDD (actualmente)
Capa de Convergencia	Ethernet (Capa 2)	IP (Capa 3)
Escenarios de Aplicación	Fijo y nómada Posiblemente Portable	Portable y Móvil
Cliente	CPEs externos módems de escritorio	Tarjetas para Laptop, Dispositivos USB, Mini-PCI (para Laptops), PDAs, Handsets
Esquemas de Modulación	64 QAM en Uplink y Downlink	64 QAM en downlink, 16 QAM en uplink
Características del sistema	Bridging transparente, Roaming nómada, Instalación personal	Soporte Handover, Paging, Sleep Mode
Características de CPEs para soportar técnicas de RF	Diversidad de Tx and Rx (opcional) Uplink Sub-canalización (opcional) AAS (opcional)	AAS (obligatorio) MIMO (obligatorio)

Tabla 4.6 Actualización de WiMAX fijo a WiMAX móvil

4.9 DISEÑO DEL “BACKBONE” DE LA RED

Las estaciones base necesitan de un sistema que las integre y es independiente de la tecnología se podría usar enlaces de fibra óptica, así como enlaces de microondas, el presente proyecto propone el diseño de un “backbone” utilizando tecnología WiMAX con enlaces punto-punto para integrar todas las estaciones base.

Se realizará un enlace desde la estación base situada en el edificio donde opera el proveedor hacia una estación base ubicada en el Cerro Pichincha desde aquí se enlazarán a las demás estaciones base localizadas en la ciudad de Quito mediante enlaces punto-punto.

Las coordenadas geográficas de la estación ubicada en el cerro Pichincha se presentan en la tabla 4.7:

Lugar de emplazamiento	Altura sobre el nivel del mar [m]	Altura de las antenas sobre el nivel de tierra [m]	Coordenadas Geográficas	
			Latitud	Longitud

Pichincha	3832	20	0°10' 5,7"S	78°31' 27,9" W
-----------	------	----	-------------	----------------

Tabla 4.7 Ubicación geográfica de la estación Pichincha

Como se puede observar en la figura 4.10 las estaciones base están ubicadas en zonas estratégicas y nos da la idea de los recorridos que realizan los enlaces.

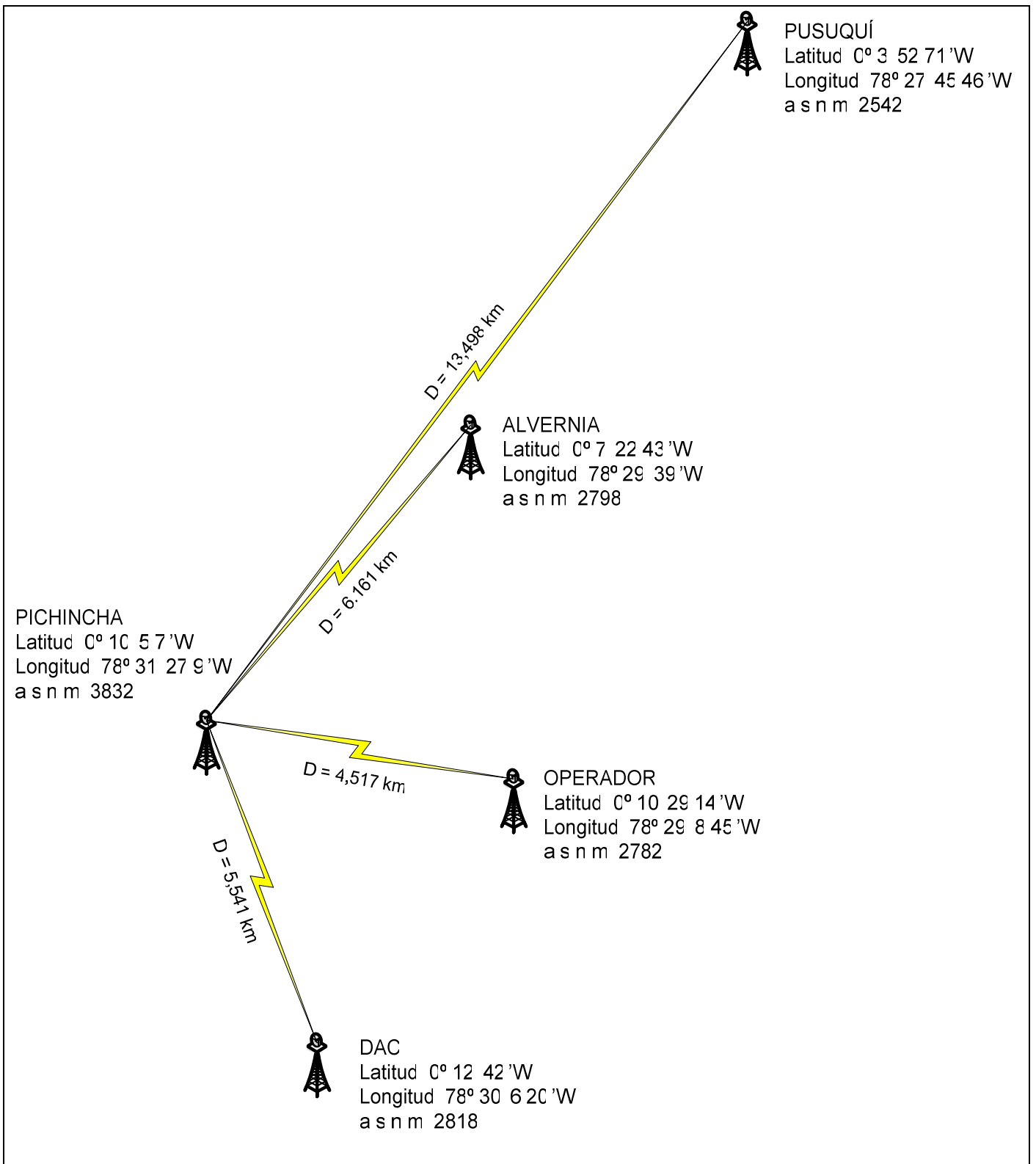


Figura 4.10 Recorrido de los enlaces entre las estaciones base

4.9.1 CÁLCULO DE LOS SISTEMAS MICROONDAS⁴⁴

A continuación se detalla las características de los sistemas microondas y todos los aspectos a considerar en un diseño:

Para el balance del sistema es necesario entender un concepto muy importante como es el margen de umbral del sistema. El margen de umbral es una medida de la confiabilidad del sistema, ya que incorpora varios parámetros de interés en el diseño de enlaces y representa la pérdida neta de un sistema de radio. En su forma más simple, y aplicando solo al equipo representa la diferencia entre la potencia de umbral del receptor y la potencia umbral del sistema, para una tasa de error dada BER (Bit Error Rate). Este valor de ganancia debe ser mayor o igual al margen de desvanecimiento.

Matemáticamente, se lo puede representar así:

$$P_U = P_{TX} - A_{WGTot} - A_{BTot} + G_{TX} - A_O + G_{RX}$$

$$M_U = P_{RX} - P_U \geq FM$$

- En donde:
- P_U \implies Ganancia del sistema (dB).
 - P_{TX} \implies Potencia de salida del transmisor (dBm).
 - P_{RX} \implies Potencia mínima de entrada del receptor para un objetivo de calidad determinado (dBm).
 - A_O \implies Pérdida de trayectoria de espacio libre entre antenas (dB).
 - A_{WG} \implies Pérdida en el alimentador de guías de onda (dB) entre la red de distribución y la antena respectiva.
 - A_B \implies Pérdidas total de acoplamiento o ramificación (dB).
 - FM \implies Margen de desvanecimiento para un determinado objetivo de confiabilidad.
 - G_{TX} \implies Ganancia de la antena transmisora (dB) relativa a un radiador isotrópico.

⁴⁴ Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Propagación de las Ondas de Radio, Tomasi Wayne, 1996.

G_{RX} \implies Ganancia de la antena receptora (dB) relativa a un radiador isotrópico.

4.9.1.1 Pérdida de Trayectoria de Espacio Libre

Es la pérdida ocasionada por una onda electromagnética a medida que se propaga por una línea recta a través de un vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de los objetos cercanos. La ecuación de la pérdida de espacio libre es la siguiente:

$$A_o(dB) = 92.4 + 20\log f(GHz) + 20\log D(Km)$$

4.9.1.2 Margen de Desvanecimiento

Al margen de desvanecimiento se lo llama como factor de acolchonamiento, el mismo que considera características no ideales y de la propagación de ondas como la propagación de múltiples trayectorias (pérdidas de múltiples trayectorias) y sensibilidad a superficie rocosa.

Es muy importante la consideración del margen de desvanecimiento en la determinación de la ganancia de un sistema, puesto que influye en las condiciones atmosféricas causando situaciones temporales anormales en la misma y produciendo alteraciones en la pérdida de trayectoria en el espacio libre. Además el margen de desvanecimiento depende de los objetivos de confiabilidad del sistema. Matemáticamente se lo puede representar así:

$$FM = 30\log D + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70$$

en donde: $30\log D$ \implies efecto de múltiples trayectorias.

$10\log(6ABf)$ \implies sensibilidad a superficie rocosa.

$10\log(1 - R)$ \implies objetivos de confiabilidad.

en donde: FM \implies margen de desvanecimiento.

D \implies Distancia (Km.).

- f \Rightarrow Frecuencia (GHz).
- R \Rightarrow Confiabilidad expresada como decimal (99.995% = 0.99995 de confiabilidad).
- (1 - R) \Rightarrow Objetivo de confiabilidad para una trayectoria.
- A \Rightarrow Factor de Rugosidad
- A = 4 sobre agua o en un terreno muy parejo.
- A = 1 sobre terreno normal
- A = 0.25 sobre terreno montañoso y disparejo.
- B \Rightarrow Factor para convertir una probabilidad del peor mes una probabilidad anual.
- B = 1 para convertir una disponibilidad anual a una base para el peor mes.
- B = 0,5 para áreas calientes y húmedas
- B = 0.25 para áreas normales tierra adentro.
- B = 0.125 para áreas montañosas o muy secas.

4.9.1.3 Zona de Fresnel

Es el área elíptica que rodea el camino visual, el tamaño de la zona varía de acuerdo a la longitud del camino y la frecuencia de la señal, puede calcularse y debe tomarse en cuenta al momento de diseñar los enlaces para evitar pérdidas extras, como se presenta en la figura 4.11.

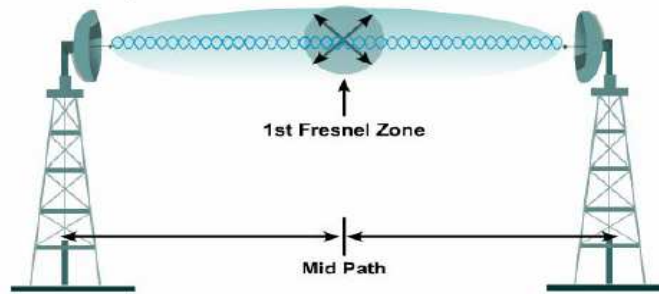


Figura 4.11 Zona de Fresnel

Si la frecuencia disminuye, el tamaño de la zona de Fresnel se incrementa y si la longitud del camino se incrementa, el tamaño de la zona de Fresnel disminuye. El radio de la zona de Fresnel es mayor a mitad del camino y debe estar libre de obstáculos.

Mientras más grande sea la separación entre las antenas; mayor debe ser la altura de las antenas. La curvatura de la tierra se convierte en una preocupación para enlaces mayores a 11 Km. y a los 25 Km. desaparece la línea de vista; por lo tanto, debe considerarse la curvatura de la tierra cuando se calcula la altura de montaje de las antenas, además la obstrucción por el "abultamiento" de la tierra.

En la figura 4.12 se presenta un esquema de la zona de fresnel libre



Figura 4.12 Zona de Fresnel Libre

4.9.1.4 Cálculo de la Primera Zona de Fresnel para cada enlace

Como se mencionó anteriormente el cálculo de la primera zona de Fresnel se lo realizará utilizando el software Radio Mobile v7.0.5, en la banda de frecuencia de 5780 MHz, cada perfil topográfico presenta la distancia entre transmisor y receptor, alturas de las estaciones sobre el nivel del mar, altura de las torres.

El modelo para realizar los cálculos de propagación que utiliza el Radio Mobile es el de OKUMURA-HATA, que ha sido descrito en el cálculo de los sistemas microondas.

4.9.1.4.1 Enlace Cerro Pichincha-DAC

La figura 4.13 nos da una idea de la configuración del enlace Pichincha-DAC, así como distancia entre los puntos

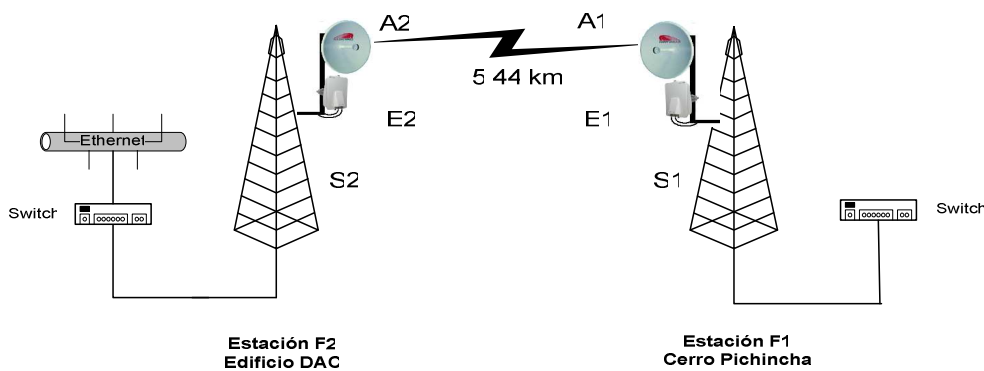


Figura 4.13 Diagrama del enlace

La figura 4.14 presenta el perfil topográfico del enlace punto-punto Pichincha-DAC en el que se puede observar la primera zona de fresnel libre.

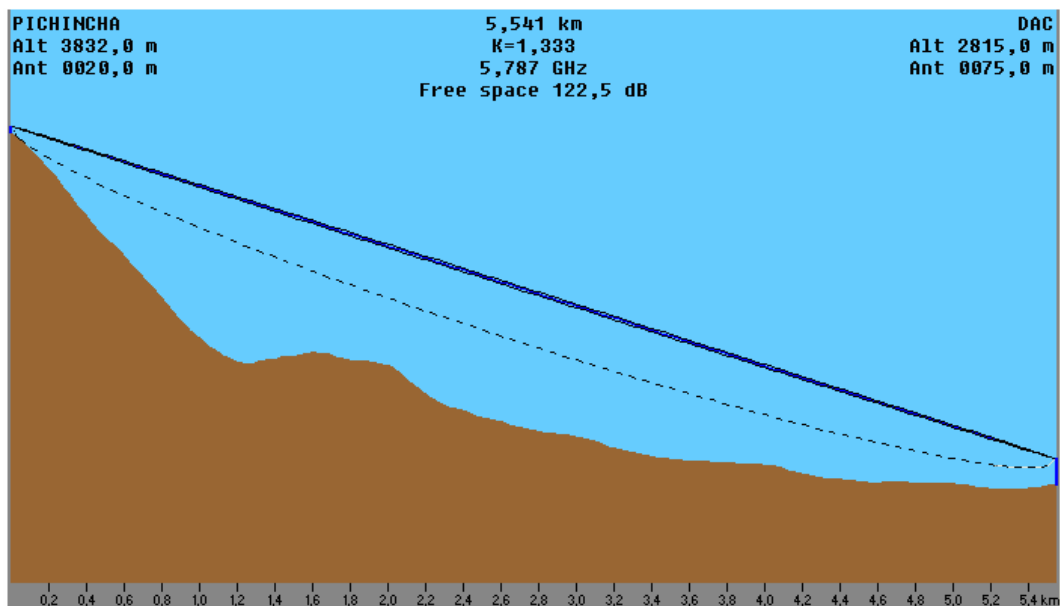


Figura 4.14 Enlace Pichincha-DAC

La figura 4.15 presenta las características del enlace Pichincha –DAC.

Distance between PICHINCHA and DAC is 5,5 km (3,4 miles)
True North Azimuth = 152,4°, Elevation angle = -10,0401°
Terrain elevation variation is 1085,3 m
Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 18,4F1 at 0,0km
Average frequency is 5787,500 MHz
Free Space = 122,5 dB, Obstruction = 0,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 3,2 dB, Statistics = 23,7 dB
Total propagation loss is 149,5 dB (interference mode <optimistic>)
System gain from PICHINCHA to DAC is 165,1 dB
System gain from DAC to PICHINCHA is 165,1 dB
Worst reception is 15,6 dB over the required signal to meet
99,995% of time, 70,000% of locations, and 99,000% of situations

Figura 4.15 Características del enlace Pichincha-DAC

4.9.1.4.2 Enlace Operador-Pichincha

La figura 4.16 nos da una idea de la configuración del enlace Pichincha-DAC, así como distancia entre los puntos.

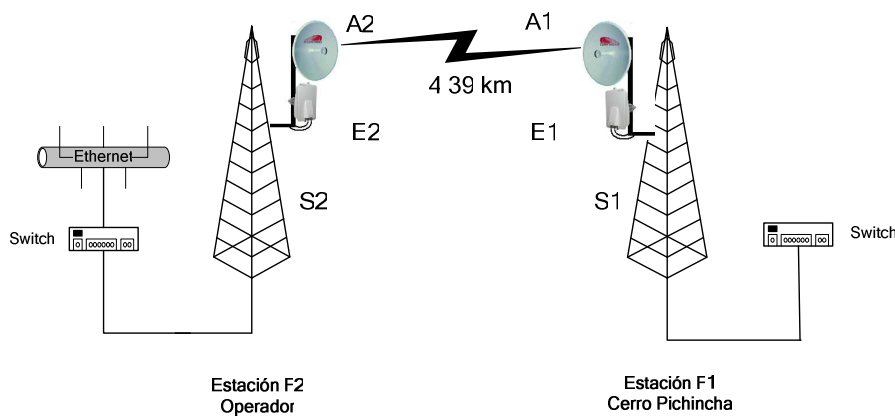


Figura 4.16 Diagrama del enlace

La figura 4.17 presenta el perfil topográfico del enlace punto-punto Pichincha-DAC en el que se puede observar la primera zona de fresnel libre.

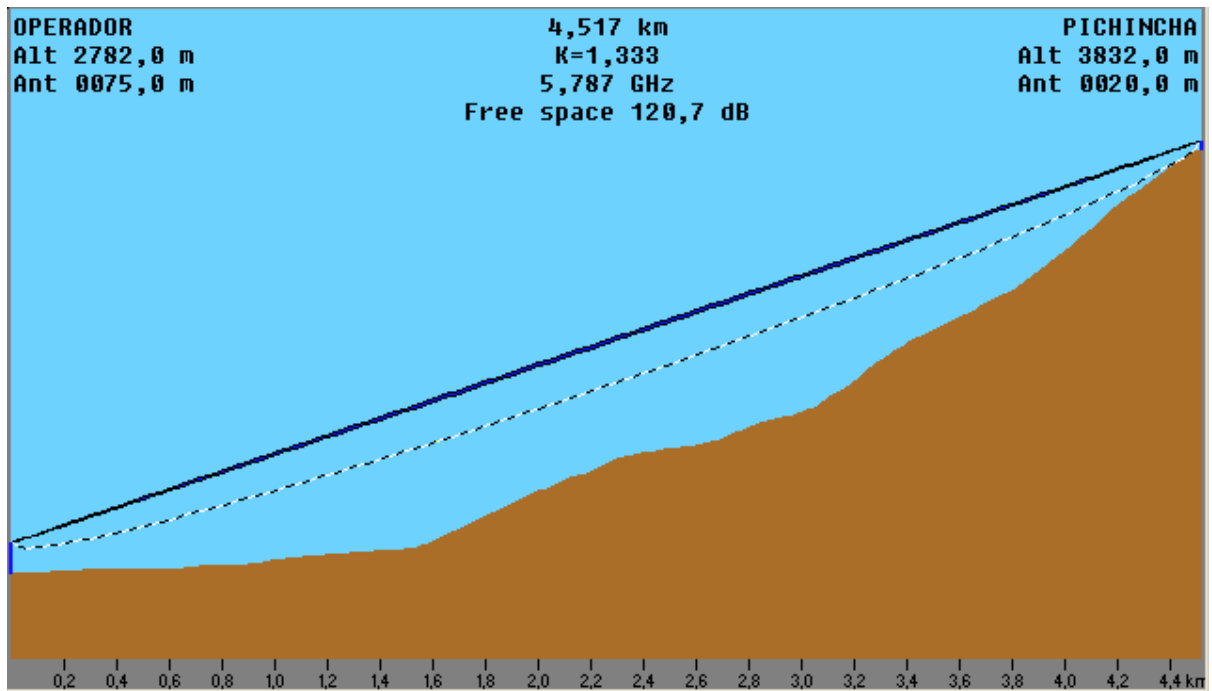


Figura 4.17 Enlace Pichincha-Operador

La figura 4.18 presenta las características del enlace Pichincha –DAC.

Distance between OPERADOR and PICHINCHA is 4,5 km (2,8 miles)
 True North Azimuth = 273,8°, Elevation angle = 12,7270°
 Terrain elevation variation is 1052,1 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 14,3F1 at 4,5km
 Average frequency is 5787,500 MHz
 Free Space = 120,7 dB, Obstruction = 0,0 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 3,2 dB, Statistics = 23,7 dB
 Total propagation loss is 147,7 dB (interference mode <optimistic>)
 System gain from OPERADOR to PICHINCHA is 165,1 dB
 System gain from PICHINCHA to OPERADOR is 165,1 dB
 Worst reception is 17,4 dB over the required signal to meet
 99,995% of time, 70,000% of locations, and 99,000% of situations

Figura 4.18 Características del enlace Pichincha-Operador

4.9.1.4.3 Enlace Pichincha-Alvernia

La figura 4.19 nos da una idea de la configuración del enlace Pichincha-DAC, así como distancia entre los puntos.

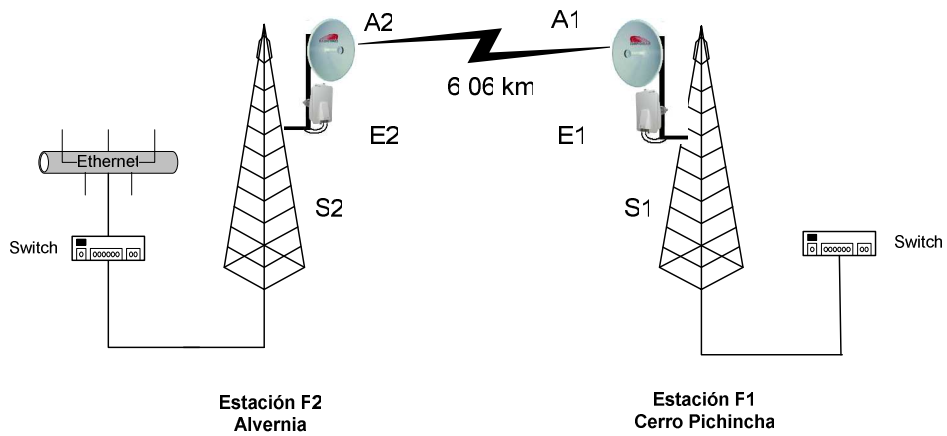


Figura 4.19 Diagrama del enlace

La figura 4.20 presenta el perfil topográfico del enlace punto-punto Pichincha-DAC en el que se puede observar la primera zona de fresnel libre.

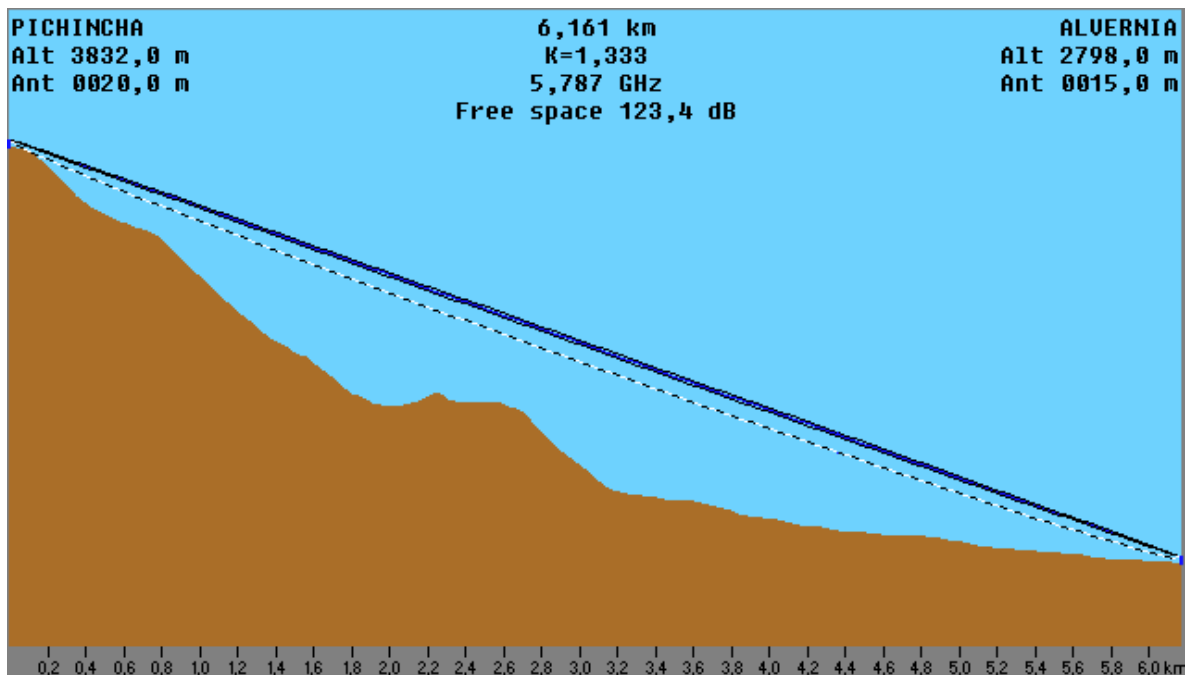


Figura 4.20 Enlace Pichincha-Alvernia

La figura 4.21 presenta las características del enlace Pichincha –DAC.

Distance between PICHINCHA and ALVERNIA is 6,2 km (3,8 miles)
 True North Azimuth = 33,7°, Elevation angle = -9,7535°
 Terrain elevation variation is 1037,9 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 5,4F1 at 0,1km
 Average frequency is 5787,500 MHz
 Free Space = 123,4 dB, Obstruction = -2,4 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 3,2 dB, Statistics = 23,6 dB
 Total propagation loss is 147,9 dB (interference mode <optimistic>)
 System gain from PICHINCHA to ALVERNIA is 177,1 dB
 System gain from ALVERNIA to PICHINCHA is 177,1 dB
 Worst reception is 29,1 dB over the required signal to meet
 99,995% of time, 70,000% of locations, and 99,000% of situations

Figura 4.21 Características del enlace Pichincha-Alvernia

4.9.1.4.4 Enlace Pichincha-Pusuquí

La figura 4.22 nos da una idea de la configuración del enlace Pichincha-DAC, así como distancia entre los puntos.

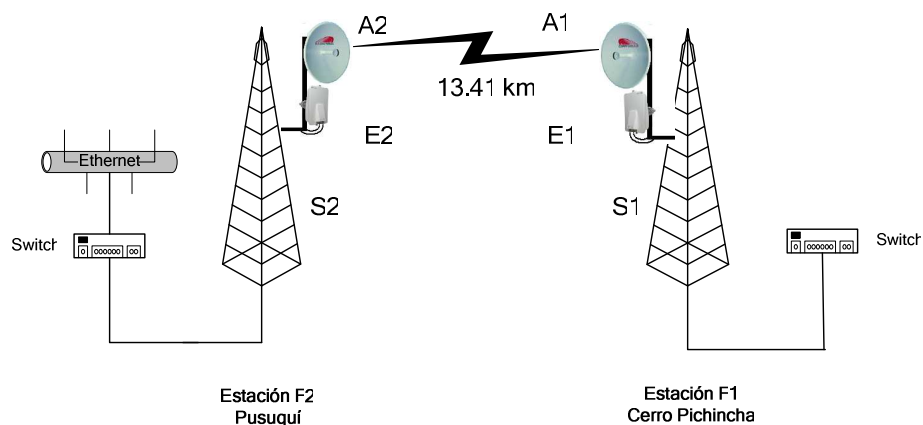


Figura 4.22 Diagrama del enlace

La figura 4.23 presenta el perfil topográfico del enlace punto-punto Pichincha-DAC en el que se puede observar la primera zona de fresnel libre.

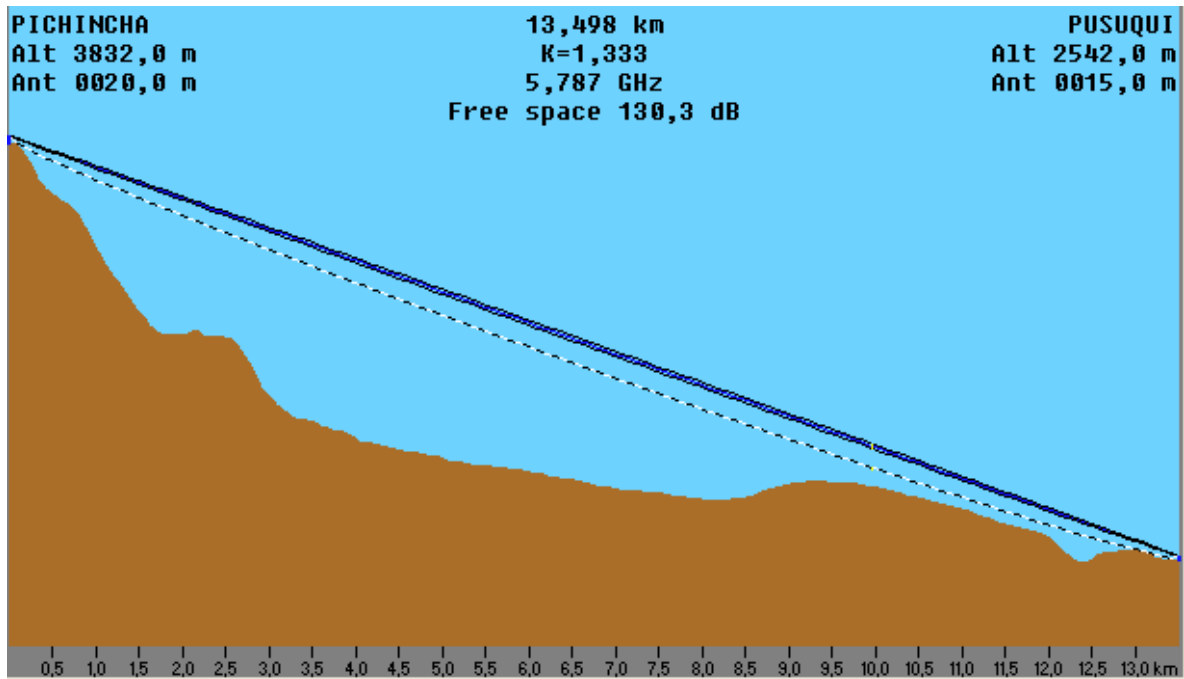


Figura 4.23 Enlace Pichincha-Pusuquí

La figura 4.24 presenta las características del enlace Pichincha –DAC.

Distance between PICHINCHA and PUSUQUI is 13,5 km (8,4 miles)
 True North Azimuth = 30,8°, Elevation angle = -5,5751°
 Terrain elevation variation is 1296,1 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 5,7F1 at 13,1km
 Average frequency is 5787,500 MHz
 Free Space = 130,3 dB, Obstruction = -1,6 dB, Urban = 0,0 dB, Forest = 3,2 dB, Statistics = 23,3 dB
 Total propagation loss is 155,2 dB (interference mode <optimistic>)
 System gain from PICHINCHA to PUSUQUI is 177,1 dB
 System gain from PUSUQUI to PICHINCHA is 177,1 dB
 Worst reception is 21,9 dB over the required signal to meet
 99,995% of time, 70,000% of locations, and 99,000% of situations

Figura 4.24 Características del enlace Pichincha-Pusuquí

Como se puede observar en las figuras anteriores todos los enlaces cuentan con línea de vista y despejada la primera zona de fresnel, por lo tanto es factible realizar mencionados enlaces.

La figura 4.25 indica como quedan los enlaces que se realizarán hacia las estaciones base:

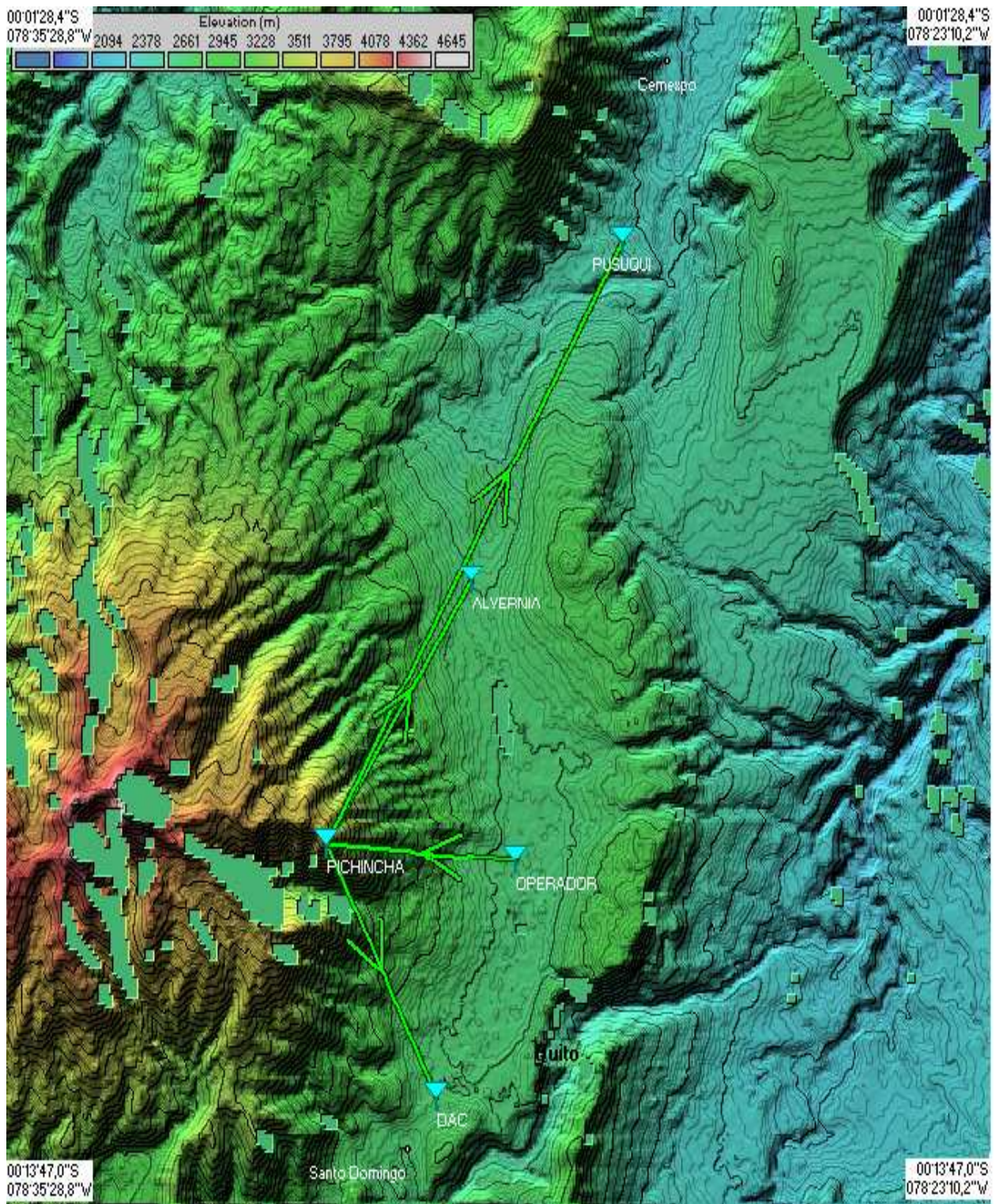


Figura 4.25 Enlaces punto-punto entre el operador y las estaciones base

4.10 DISEÑO DE LAS CELDAS

Con los cálculos anteriores, se garantiza que los clientes pueden ser atendidos por cada estación base con los márgenes adecuados, para valores típicos de ganancia de antena, pérdidas y potencia promedio de los equipos.

El siguiente paso de diseño será el de cobertura de cada estación base. Esta cobertura estará determinada principalmente por los ángulos de apertura de las antenas de las estaciones base, la distribución geográfica de los usuarios y la geografía de la zona.

Para las estaciones base se emplean antenas sectoriales con grados de apertura de 30° , 60° , 90° , 120° ó 180° , dependiendo esto de la zona a ser cubierta y de la densidad de usuarios de la misma.

4.10.1 ÁREA DE COBERTURA DE LAS RADIOBASES

Para el diseño de la red utilizaremos un software gratuito llamado Radio Mobile v7.0.5⁴⁵. que permite el análisis y simulación del área de cobertura de un sistema de radio frecuencia y traza el perfil de las posibles trayectorias.

Radio Mobile utiliza mapas con elevaciones de terreno en forma digital con los que calcula el área de cobertura, indicando así los niveles de potencia recibida en enlaces de radio, determina los puntos de reflexión de un enlace, y calcula el presupuesto de potencia; además construye automáticamente el perfil de un enlace de radio entre dos puntos conocidos de forma digital, emplea una extensa base de datos de elevaciones para determinar la existencia de línea de vista entre dos puntos.

Radio Mobile ejecuta los cálculos que permiten automatizar cualquier enlace en cualquier banda de frecuencia, desde HF hasta SHF, y permite observar el efecto de cambiar la ganancia de las antenas, altura de las mismas, atenuación de los cables, etc. Una vez trazado el perfil, calcula el despeje del 60% de la primera zona de Fresnel que permite una buena comunicación.

⁴⁵ <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

4.10.1.1 Diagramas de Cobertura

Se asumirá que el operador de la red está ubicado en un edificio en el que en la actualidad funcionan las oficinas de un ISP, además desde este lugar se proporcionará el servicio a los usuarios potenciales del sector con el emplazamiento de una estación base, además desde este lugar se proporcionará el servicio a los usuarios potenciales del sector con el emplazamiento de una estación base.

Cada radiobase de acuerdo a su posición geográfica cubrirá una zona específica del Distrito Metropolitano de Quito donde se encuentran los posibles usuarios potenciales del sistema.

El rango de cobertura aproximado para cada radiobase localizada en un entorno en el que existe gran densidad de edificios altos será de 3 Km. y en lugares en los que las edificaciones no son de gran altura o en entornos suburbanos serán de 4 Km. sin necesidad de línea de vista.

4.10.1.1.1 Área de Cobertura Radiobase DAC

La zona pintada del gráfico 4.26 representa el área de cobertura y, según la simbología, el nivel de potencia de la señal emitida por la radiobase.

Debido a la densidad de usuarios de esta zona la estación base está dividida en 2 sectores de 180° cada uno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante cada sector tendrá dos canales, uno principal y otro redundante; cada canal podrá dar servicio a 256 usuarios, con la capa física OFDM actual.

En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 3 Km.; el direccionamiento del arreglo de antenas se describe a continuación en la tabla 4.8.

ANTENA	APERTURA DEL HAZ	AZIMUTH
1	300 ° - 120 °	30 °
2	120 ° - 300 °	210 °

Tabla 4.8 Direccionamiento del haz de señal radiobase DAC

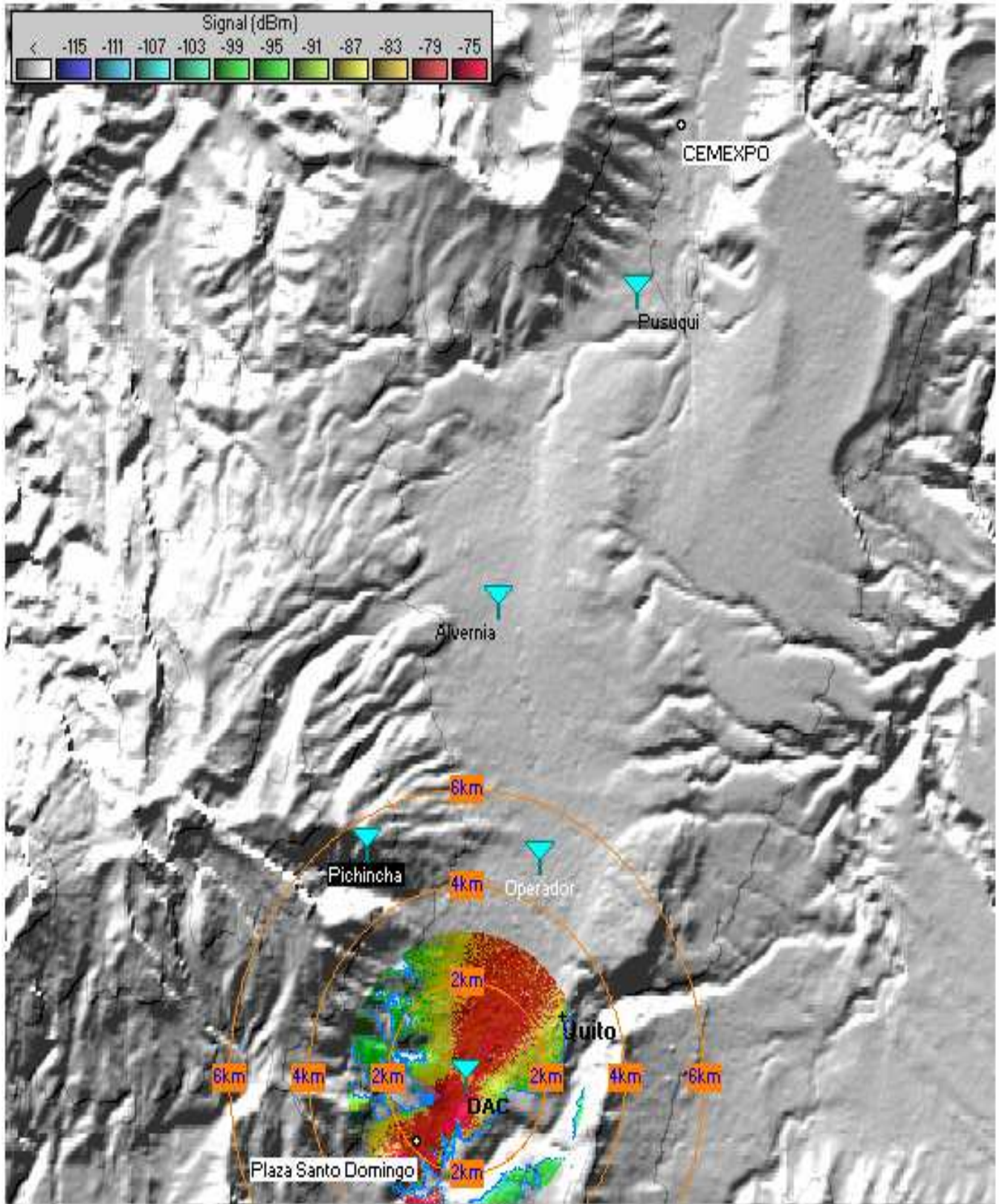


Figura 4.26 Área de Cobertura Radiobase DAC

4.10.1.1.2 Área de Cobertura Radiobase OPERADOR

La zona pintada del gráfico 4.27 representa el área de cobertura y, según la simbología, el nivel de potencia de la señal emitida por la radiobase.

Debido a la densidad de usuarios de esta zona la estación base está dividida en 2 sectores de 180° cada uno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante cada sector tendrá dos canales, uno principal y otro redundante; la capacidad por canal es de 256 usuarios, con la capa física OFDM actual.

En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 3 Km.; el direccionamiento del arreglo de antenas se describe a continuación en la tabla 4.9.

ANTENA	APERTURA DEL HAZ	AZIMUTH
1	300° - 120°	30°
2	120° - 300°	210°

Tabla 4.9 Direccionamiento del haz de señal radiobase OPERADOR

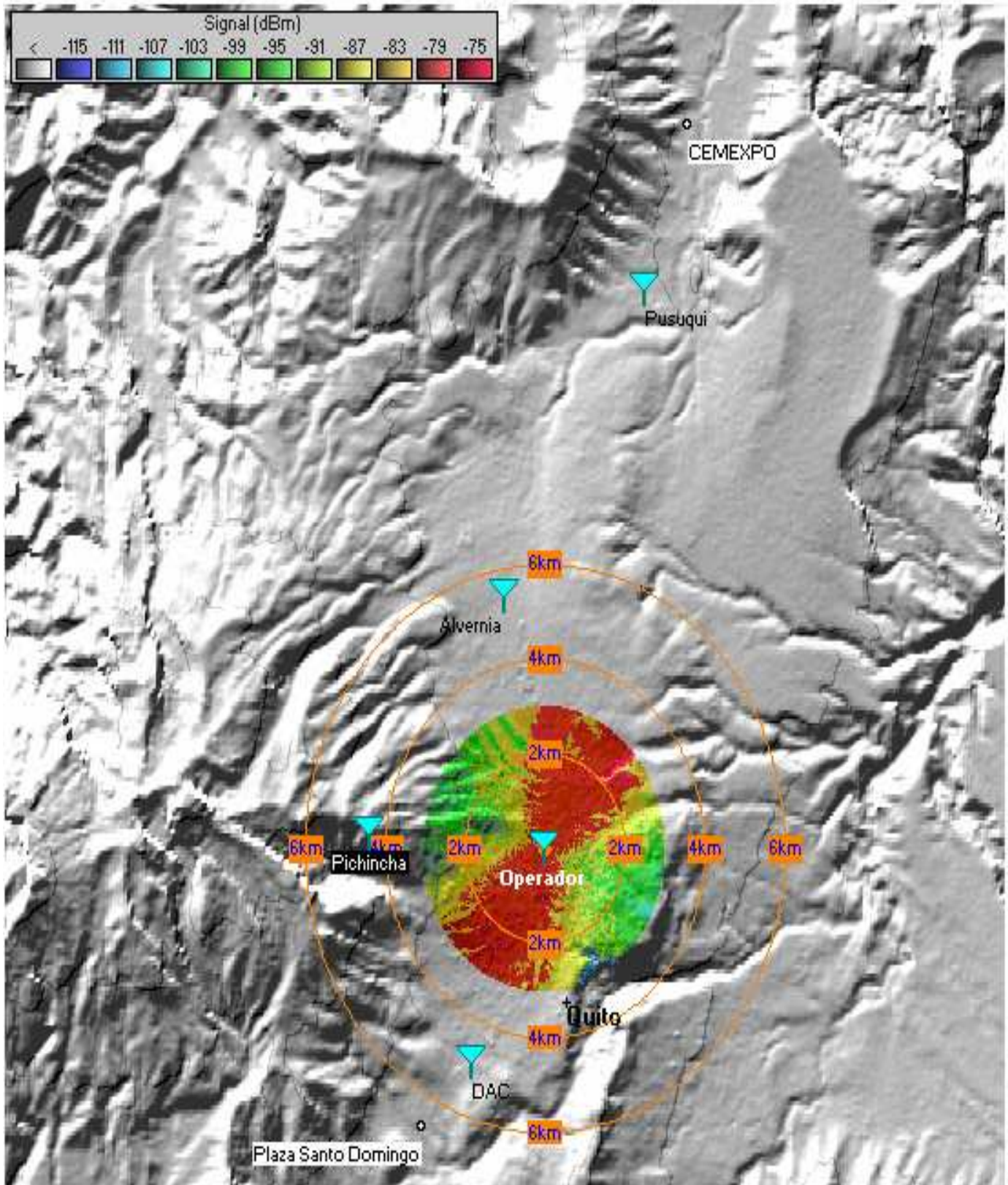


Figura 4.27 Área de Cobertura Radiobase Operator

4.10.1.1.3 Área de Cobertura Radiobase ALVERNIA

La zona pintada del gráfico 4.28 representa el área de cobertura y, según la simbología, el nivel de potencia de la señal emitida por la radiobase.

Debido a la densidad de usuarios de esta zona la estación base está dividida en 2 sectores de 180° cada uno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante cada sector tendrá dos canales, uno principal y otro redundante; la capacidad por canal es de 256 usuarios, con la capa física OFDM actual.

En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 4 Km.; el direccionamiento del arreglo de antenas se describe a continuación en la tabla 4.10.

ANTENA	APERTURA DEL HAZ	AZIMUTH
1	240° - 60°	0°
2	60° - 240°	150°

Tabla 4.10 Direccionamiento del haz de señal radiobase ALVERNIA

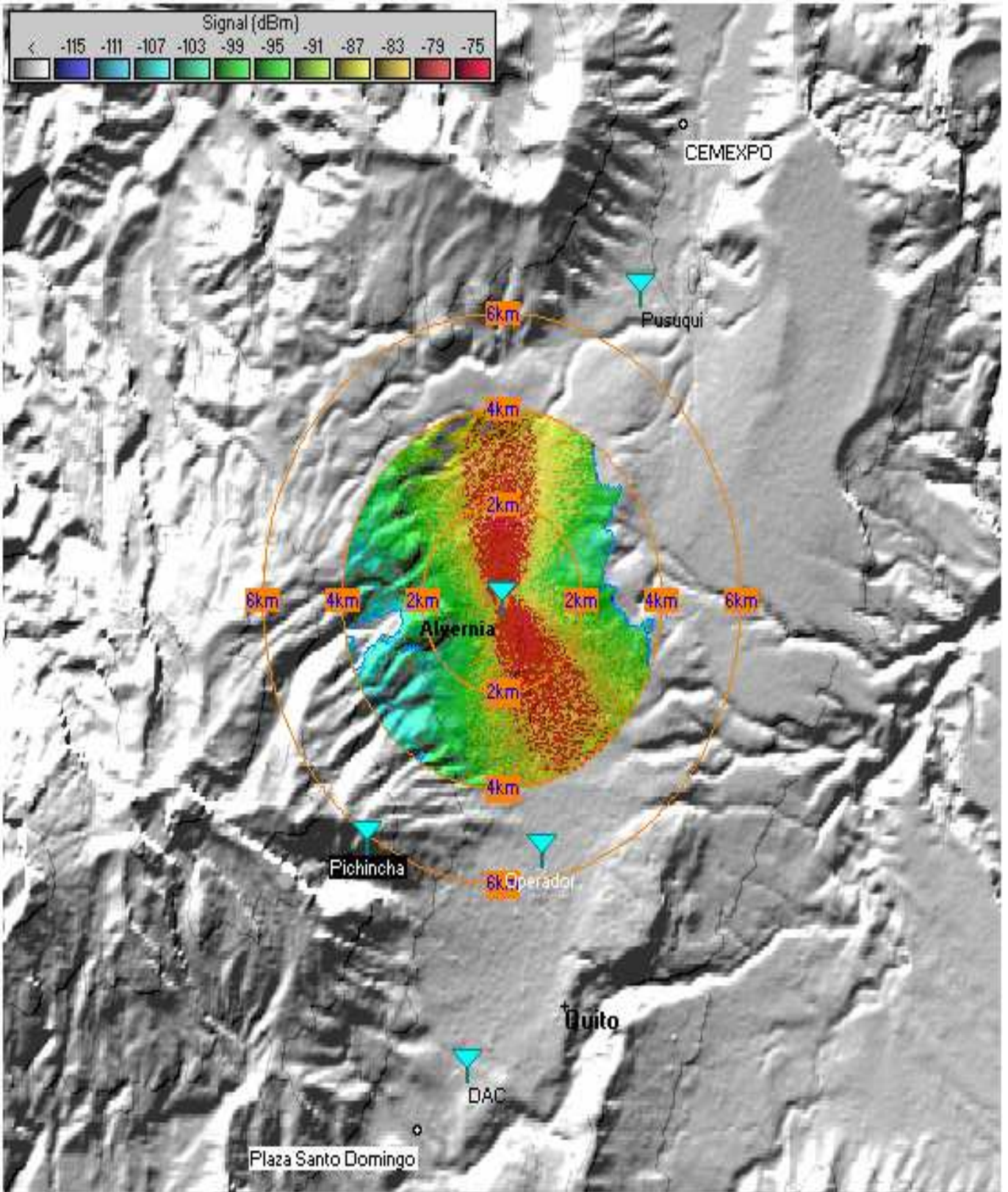


Figura 4.28 Área de Cobertura Radiobase Alvernia

4.10.1.1.4 Área de Cobertura Radiobase PUSUQUÍ

La zona pintada del gráfico 4.29 representa el área de cobertura y, según la simbología, el nivel de potencia de la señal emitida por la radiobase.

Debido a la densidad de usuarios de esta zona la estación base está dividida en 2 sectores de 180° cada uno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante cada sector tendrá dos canales, uno principal y otro redundante; la capacidad por canal es de 256 usuarios, con la capa física OFDM actual.

En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 4 Km.; el direccionamiento del arreglo de antenas se describe a continuación en la tabla 4.11.

ANTENA	APERTURA DEL HAZ	AZIMUTH
1	300° - 120°	30°
2	120° - 300°	210°

Tabla 4.11 Direccionamiento del haz de señal radiobase PUSUQUÍ

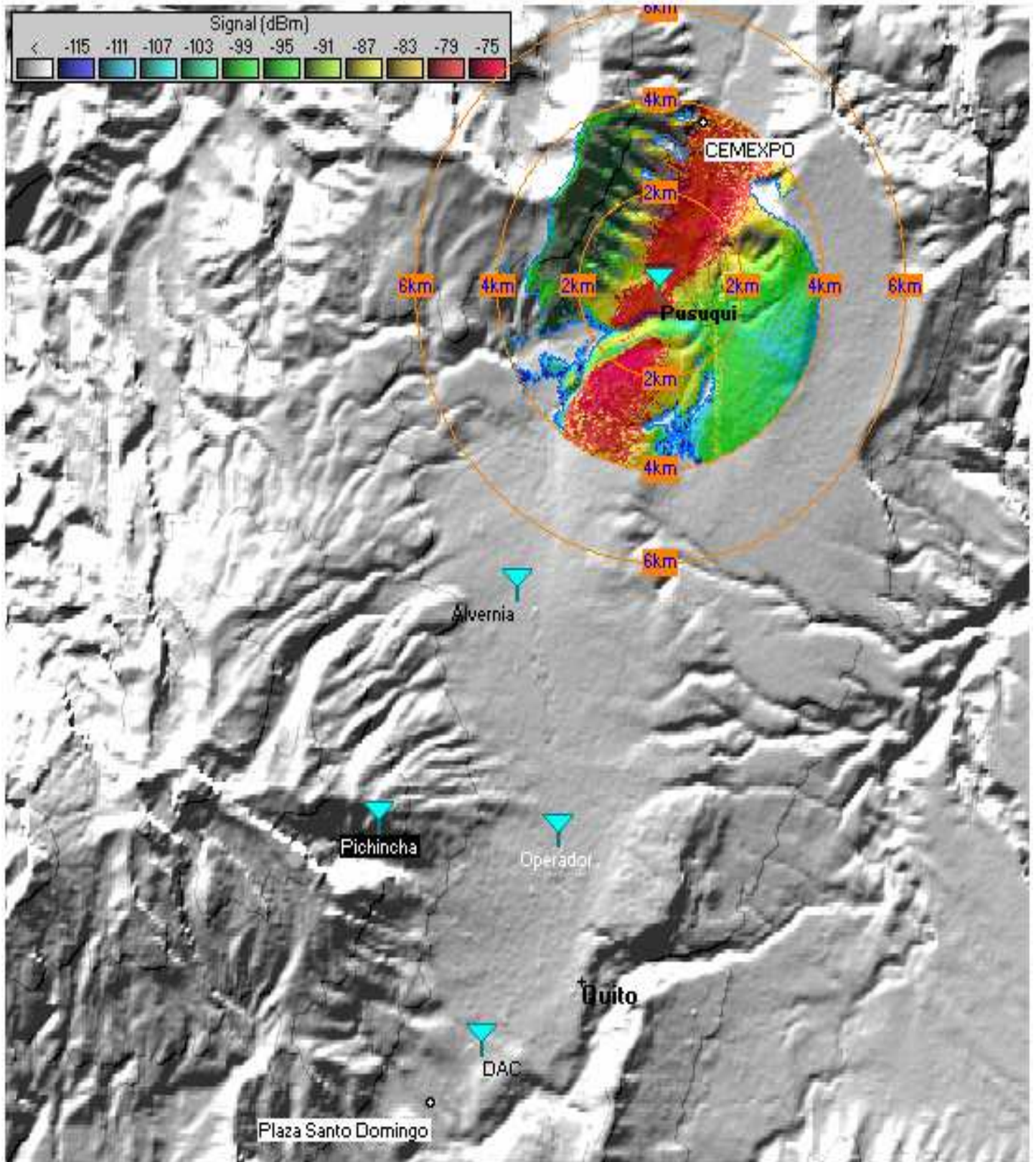


Figura 4.29 Área de Cobertura Radiobase PUSUQUÍ

➤ Cobertura Total

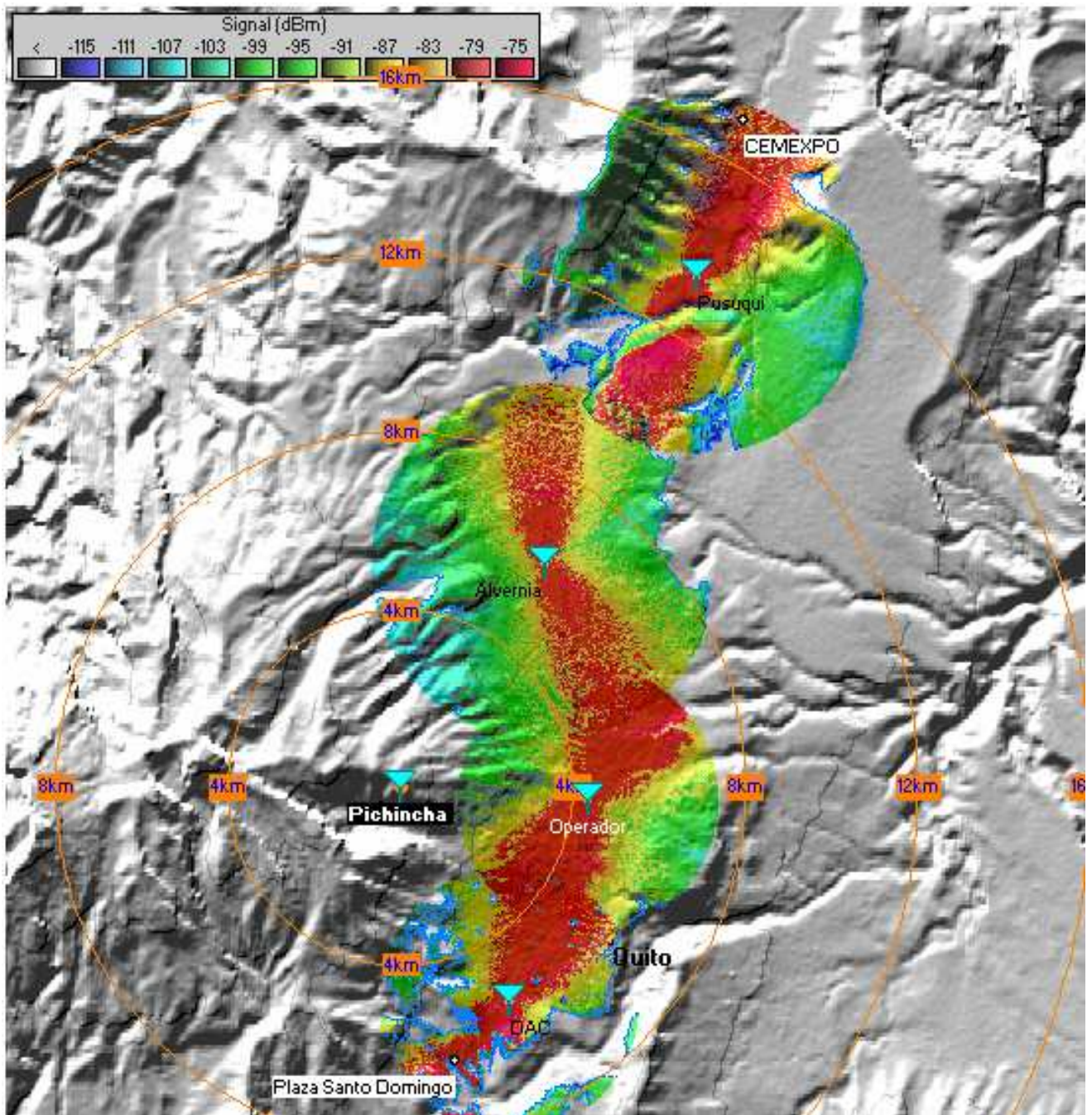


Figura 4.30 Diagrama del área de cobertura total del sistema

El diagrama de la figura 4.30 representa la cobertura total del sistema en el Distrito metropolitano de Quito, como se puede apreciar las estaciones brindan cobertura a los límites planteados para el proyecto que van desde el Centro Histórico hasta el Centro de Exposiciones y Eventos CEMEXPO ubicado en la Av. Manuel Córdova Galarza Km. 5½.

4.10.1.2 Distribución de Frecuencias

En las tablas 4.12 a 4.15 se indica la distribución de frecuencia de las diferentes radiobases, y en la figura 4.31 se presentan las celdas y las frecuencias que utilizará cada una, tomando en cuenta que el ancho de banda de los canales será de 10 Mhz.

Sector DAC	Frecuencia (Mhz)
F1	5730
F2	5740

Tabla 4.12 Distribución de frecuencias Radiobase DAC

Sector Operador	Frecuencia (Mhz)
F3	5750
F4	5760

Tabla 4.13 Distribución de frecuencias Radiobase Operador

Sector Alvernia	Frecuencia (Mhz)
F5	5770
F6	5790

Tabla 4.14 Distribución de frecuencias Radiobase Alvernia

Sector Pusuquí	Frecuencia (Mhz)
F7	5800
F8	5810

Tabla 4.15 Distribución de frecuencias Radiobase Pusuquí

La frecuencia de 5780 MHz no ha sido utilizada en el plan de frecuencias debido a que es utilizada para los enlaces punto a punto.

4.11 DIAGRAMA GENERAL DE LA RED WIMAX

En la figura 4.32 se puede observar un esquema general de cómo quedaría estructurada la red.

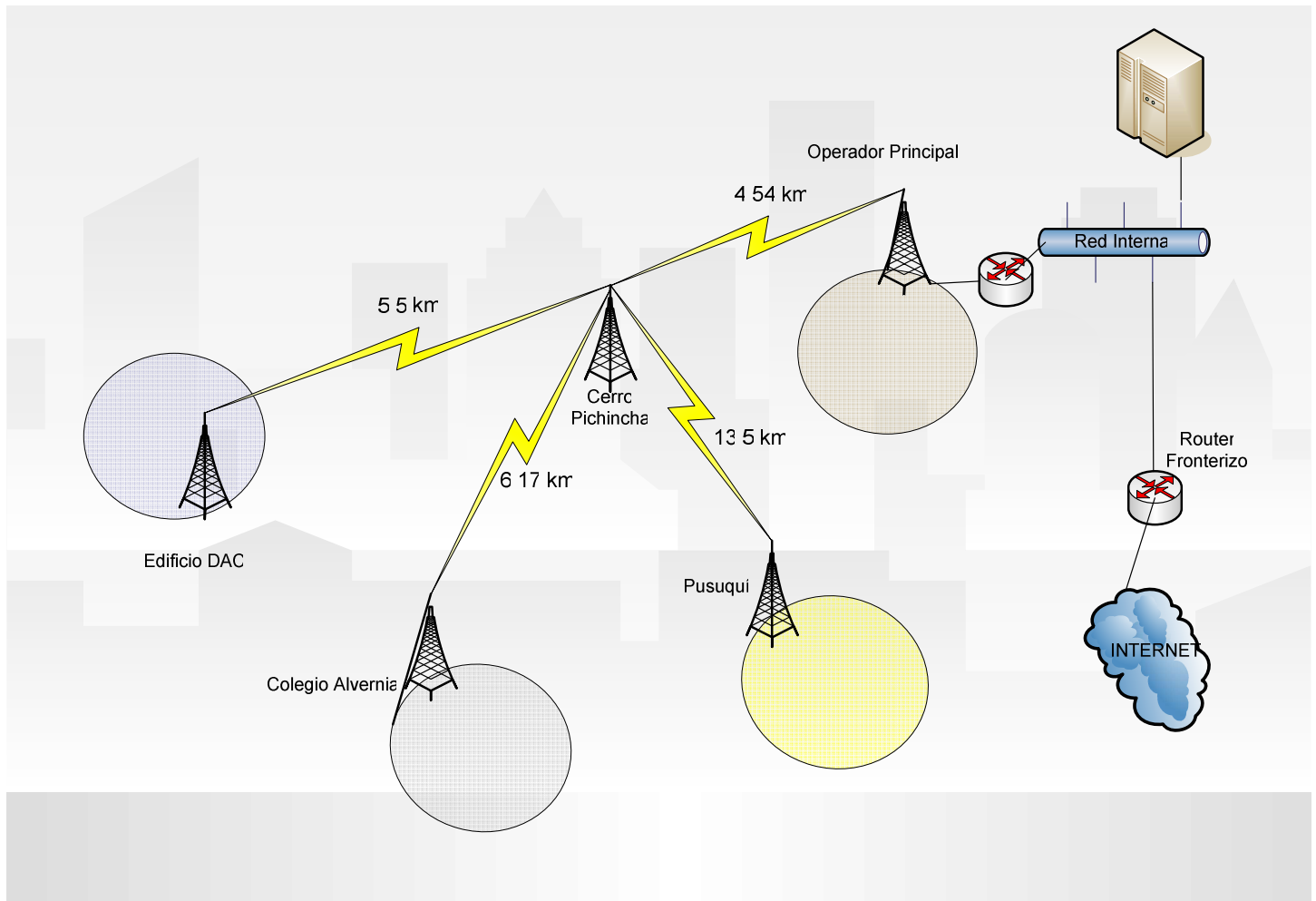


Figura 4.32 Diagrama general de la Red.

Como se puede apreciar en la figura 4.33 es factible la realización de los diferentes enlaces ya que las características técnicas y geográficas se muestran aceptables, se observa también el área de cobertura total del sistema.

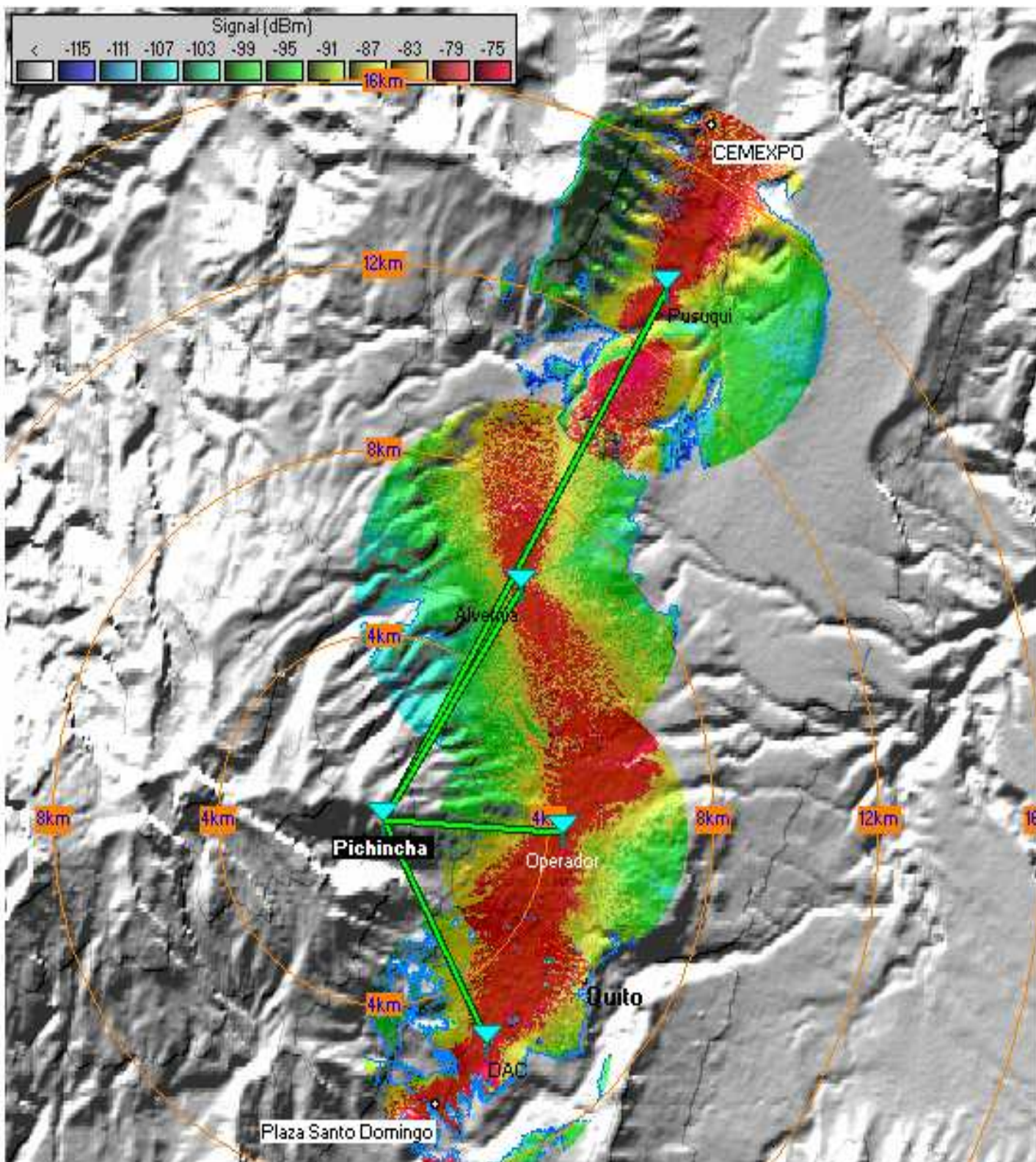


Figura 4.33 Área de cobertura total del sistema

4.12 OPERACIÓN DE LA RED COMO CARRIER PARA VARIOS ISP's.

Después de obtener el permiso por parte del CONATEL para operar como

portador de servicios de telecomunicaciones y además contando con una amplia cobertura en la ciudad de Quito, podemos enfocar la operación de la red desde una óptica diferente, alquilando nuestra infraestructura a diferentes proveedores de servicios de Internet para que de esta manera puedan llegar con el servicio a sus clientes.

La interconexión con los diferentes ISP`s corre por cuenta de ellos, sin importar el medio de transmisión que empleen.

Cabe mencionar que uno de los ISP`s puede ser el mismo carrier, siempre cuando se mantenga una competencia leal con los demás, que no perjudique a ninguno de los ISP`s.

La figura 4.34 muestra un esquema de la red

CAPÍTULO V

ESTIMACIÓN DE COSTOS

5.1 INTRODUCCIÓN

El principio fundamental de la Evaluación de Proyectos consiste en medir el valor, a base de la comparación de los beneficios y costos proyectados en el horizonte de planeamiento (tiempo de planeación). Por consiguiente, evaluar un proyecto de Inversión es medir su valor económico, financiero o social a través de ciertas técnicas e Indicadores de evaluación, con los cuales se determinan la alternativa viable u óptima de Inversión, previa a la toma de decisiones respecto a la ejecución o no ejecución del proyecto.

El presente capítulo considera todos los parámetros para recomendar el proyecto como viable de realizar desde el punto de vista financiero.

5.2 FLUJO DE CAJA

El flujo de caja de un proyecto es la información que se utiliza para realizar el análisis de rentabilidad y por lo tanto constituye el aspecto crítico de la evaluación de un proyecto.

Usualmente se lo calcula en base a datos anuales, aunque eso varía dependiendo del proyecto; se lo hace diferenciando los ingresos y egresos ubicándolos de la manera más precisa dentro de los periodos proyectados.

El flujo de caja constituye uno de los elementos más importantes del estudio de un proyecto, debido a los resultados obtenidos en el flujo de caja se evaluará la realización del proyecto.

La información básica para la construcción de un flujo de caja proviene de los estudios de mercado, técnicos, organizacional y como también de los cálculos de los beneficios.

A continuación en la tabla 5.1 se detalla el porcentaje de clientes esperados y los periodos en los que se ha dividido la inversión, estas metas podrían ser consideradas por una empresa concesionaria.

Años	% por año del Total de Clientes Esperados en 4 años	Periodos Semestrales	% por semestre fijado
1	1	Periodo 1	20
		Periodo 2	80
2	2	Periodo 3	40
		Periodo 4	60
3	2,5	Periodo 5	50
		Periodo 6	50
4	3,5	Periodo 7	55
		Periodo 8	45

Tabla 5.1 Porcentajes de usuarios fijados por semestre

5.3 INDICADORES DE RENTABILIDAD

Entre los métodos más importantes que permiten medir la rentabilidad de un proyecto tenemos:

5.3.1 VAN (VALOR ACTUAL NETO)

Se entiende por VAN a la diferencia entre el valor actual de los ingresos esperados de una inversión y el valor actual de los egresos que la misma ocasione. Es la rentabilidad mínima pretendida por el inversor, por debajo de la cual estará dispuesto a efectuar su inversión.

Al ser un método que tiene en cuenta el valor tiempo de dinero, los ingresos futuros esperados, como también los egresos, deben ser actualizados a la fecha del inicio del proyecto. La tasa de interés va a ser fijada por la persona que evalúa el proyecto de inversión conjuntamente con los inversores o dueño.

La tasa de interés puede ser:

- El interés del mercado: consiste en tomar una tasa de interés a largo plazo, la cual se puede obtener del mercado.
- La tasa de rentabilidad de la empresa: Se considera que el tipo de interés a utilizar dependerá de la forma en que se financie la inversión. Si se financia con capital ajeno, la tasa de interés podría ser la que refleja el costo de capital ajeno.

Existe un factor fundamental para el cálculo de la tasa de interés, que es el capital de riesgo.

Si existe riesgo, la tasa de interés debe ser “mayor” a un proyecto que no tenga riesgo, por ejemplo riesgo país (mide el mercado de capitales), riesgo de negocio.

Fórmula:

$$VAN = -V \pm \sum \frac{FF_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

V: Ingreso Inicial

i : Tasa de interés

Fn: Flujo de Fondos Netos

5.3.2 MÉTODO TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)

Es la tasa que iguala a la suma de los ingresos actualizados, con la suma de los egresos actualizados (igualando al egreso inicial). También se puede decir que es la tasa de interés que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero.

Esta tasa es un criterio de rentabilidad y no de ingreso monetario neto como lo es el VAN.

Ayuda a medir en términos relativos la rentabilidad de una inversión.

Es una tasa propia del proyecto, del flujo de fondos, esto significa que no lo fija el inversor, sino que esta implícito en el flujo de fondos.

$$TIR = \sum \frac{En}{(1+TIR)^n} = \sum \frac{In}{(1+TIR)^n}$$

Donde

En: Egresos

In: Ingresos

El TIR se obtiene igualando el VAN a cero, y despejando la tasa de interés

TIR: Rentabilidad de la inversión

A que rentabilidad miden los fondos

Mide el % de rendimiento

5.3.3 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO

La relación beneficio/costo, muestra la rentabilidad en términos relativos y la interpretación del resultado se expresa en centavos ganados por cada dólar invertido en el proyecto.

Esta relación se calcula al dividir la sumatoria de los valores del Valor Actual Neto y el valor de la inversión al año cero (inversión total inicial).

$$B / C = \frac{\sum_1^N VAN_n}{Inversión _ Inicial}$$

B / C: Relación Beneficio / Costo

VAN: Valor Actual Neto

N: Duración en años del proyecto

Esta relación como regla de decisión para un proyecto, indica la cantidad de dólares que se está percibiendo o perdiendo por cada dólar de inversión, y por

ende este valor tiene que ser mayor que uno para determinar que un proyecto es factible económicamente.

5.3.4 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Se define como el tiempo durante el cual el capital es recuperado a partir de los flujos de fondos, es decir en cuánto tiempo una inversión genera los recursos suficientes para igualar el monto de dicha inversión, se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$PIR = (N - 1) + \frac{FAD_{N-1}}{FNE_N}$$

PIR : Periodo de Recuperación de Inversión

FAD_{N-1} : Flujo de efectivo acumulado descontado el año previo a N

FNE_N : Flujo neto de efectivo en el año N

En el caso de ser un proyecto económicamente sustentable determinado por los indicadores señalados anteriormente, el último análisis se centra en el tiempo necesario para recuperar dicha inversión inicial.

Es importante mencionar que la tasa de interés que se utilizará, corresponde a la tasa de interés activa máxima proporcionada por los indicadores financieros vigentes del Banco Central del Ecuador.

5.4 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO

5.4.1 PROYECTOS ACEPTADOS

Los proyectos de inversión son aceptados para el financiamiento de crédito cuando los indicadores de evaluación arrojan los siguientes resultados:

- VAN > 0
- TIR > Tasa de descuento
- B/C > 1

El primer indicador, significa que los beneficios proyectados son superiores a sus costos; mientras que el segundo, significa que la tasa interna de

rendimiento es superior a la tasa bancaria o tasa corriente; por ultimo el tercero ilustra que los beneficios generados por los proyectos son mayores a los costos incurridos de implementación.

5.4.2 PROYECTOS POSTERGADOS

Los proyectos de inversión son postergados cuando los indicadores arrojan los siguientes resultados:

- VAN = 0
- TIR = Tasa de descuento
- B/C = 1

En este caso, los beneficios y costos de los proyectos están en equilibrio, por tanto, se recomienda corregir algunas variables como mercado, tecnología, financiamiento e inversión.

5.4.3 PROYECTOS RECHAZADOS

Los proyectos de inversión son rechazados cuando los indicadores arrojan los siguientes resultados:

- VAN < 0
- TIR < Tasa de descuento
- B/C < 1

En este caso, significa que los beneficios de los proyectos son inferiores a sus costos y la tasa interna de rendimiento es inferior a la tasa bancaria, siendo rechazado definitivamente el proyecto.

Cabe destacar que el proyecto de elaboración y la evaluación de proyectos de inversión pública y privada se inician con la identificación de la idea o perfil del proyecto, continua con la formulación y evaluación del estudio de pre-factibilidad y finaliza con la preparación y evaluación de estudio de factibilidad. Indudablemente, para disponer de cada uno de los niveles de estudio se requiere el manejo de técnicas y criterios de evaluación de proyectos, los cuales sugieren el cumplimiento cabal de las normas y pautas metodológicas de evaluación diseñados por la oficina de planificación; por o tanto, los responsables de evaluación de proyectos deben ser técnicos especializados

para dicha labor, con la finalidad de determinar las alternativas de inversión para la ejecución o no ejecución del proyecto.

5.5 CÁLCULO DE LOS COSTOS DE LA RED

Todos los costos que a continuación se detallan incluyen impuestos.

5.5.1 COSTOS DE LAS ESTACIONES BASE

A continuación en la tabla 5.2, se presenta una tabla que detalla los principales componentes de una radio base, estos varían de acuerdo a la cobertura y situación geográfica de cada una de ellas:

Descripción	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
HiperMAX (180°)	4	21167,00	84668,00
HiperMAX(pto-pto)	8	21167,00	169336,00
MicroMAX (180°)	4	7333,00	29332,00
Antenas parabólicas	8	1500,00	12000,00
BSDU	4	3700,00	14800,00
Implementos			300000,00
TOTAL			610136,00

Tabla 5.2 Precios de las estaciones bases

El presupuesto designado para los implementos considera costos de bancos de baterías, UPS, ruteadores centrales, ruteadores de frontera, switches y equipo de aire acondicionado.

Los precios anteriormente detallados incluyen cables, antenas y accesorios.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
NetSpan	1	15.500,00	15.500,00
TOTAL:			15.500,00

Tabla 5.3 Precio de la licencia del software de administración

El software de administración NetSpan para 2000 CPE's tiene un costo de \$ 15.500 y la extensión de 2000 CPE's adicionales \$ 13.000.

5.5.2 COSTOS DE LOS EQUIPOS TERMINALES

A continuación en la tabla 5.4 se detalla los costos de los equipos terminales

CPEs, para el primer periodo de operación del sistema:

Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
ProST	141	490	69.090,00
SDA-1	141	35	4.935,00
EasyST	254	415	105.410,00
TOTAL:			179.435,00

Tabla 5.4 Precios de los CPE`s

Se adquirirá ese número de terminales que corresponden al número de usuarios esperados para el primer año de funcionamiento del sistema, después se realizará nuevas adquisiciones, que se indica en la tabla 5.5.

Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
UTP \$	275,38	333,28	472,75	774,96
FTP \$	1938,90	2346,55	3328,52	5456,38
Conectores RJ45 \$	331,20	401,86	537,34	900,34
Protectores RJ45 \$	290,40	352,35	471,14	789,43
Total	2835,88	3434,04	4809,75	7921,11

Tabla 5.5 Costos de accesorios para instalación

5.5.3 COSTOS DE TORRES E INSTALACIÓN DE RADIO BASES.

Los costos de las torres para las estaciones base incluyen la instalación de las mismas, esta detallado en la tabla 5.6.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario \$	TOTAL \$
Torres de Transmisión	5	7.700,00	38.500,00

Tabla 5.6 Costos de las torres de transmisión

5.5.4 GASTOS DE ADECUACIÓN DE OFICINAS

A continuación en la tabla 5.7 se detallan los costos de la adecuación física de oficinas para el personal y cuarto de equipos que formarán parte de la empresa:

Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
ÁREA ADMINISTRATIVA			
Oficina + ½ baño	10	100,00	1.000,00
Subtotal			1.000,00
ÁREA TÉCNICA			
Oficina + ½ baño	20	100,00	2.000,00

Módulos técnicos	10	120,00	1.200,00
Bodega	10	50,00	500,00
Subtotal			3.700,00
ÁREA REDES			
Cuarto Equipos	10	100,00	1.000,00
Subtotal			1.000,00
ÁREA VENTAS Y ATENCIÓN CLIENTE			
Módulos y recepción	25	100,00	2.500,00
Subtotal			2.500,00
TOTAL			8.200,00
COSTO DIRECTO			8.200,00
COSTO INDIRECTO	5%		410,00
PRESUPUESTO TOTAL:			8.610,00

Tabla 5.7 Costos de adecuación física de oficinas

En las tablas 5.8 y 5.9 se presentan los costos de muebles y equipos de oficina para los diferentes trabajadores de la empresa de acuerdo al cargo que ocupan.

Muebles y Equipos de Oficina Técnicos			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Computadora PENT IV	2	700,00	1.400,00
Computadoras Portátiles	5	900,00	4.500,00
Impresora	1	100,00	100,00
Telefax	1	200,00	200,00
Teléfonos	3	50,00	150,00
Escritorios	2	120,00	240,00
Mesas	2	50,00	100,00
Sillas	9	30,00	270,00
Sillón pequeño	1	40,00	40,00
Basureros	3	2,00	6,00
TOTAL:			7.006,00

Tabla 5.8 Muebles y equipos de oficina departamento técnico

Se creará un departamento encargado de brindar servicio al cliente y ventas por teléfono para el que es necesario adecuar un Call Center, este dispondrá de 5 teléfonos para los agentes, 5 computadores, red, periféricos y accesorios necesarios para implementar 5 puestos de trabajo.

Muebles y Equipos de Oficina Servicio al Cliente, Ventas y Recepción

Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Computadoras PENT IV	5	700,00	3.500,00
Impresora	1	100,00	100,00
Telefax	1	200,00	200,00
Teléfonos	5	50,00	250,00
Sillas	7	30,00	210,00
Sillones pequeño	2	40,00	80,00
Basureros	3	2,00	6,00
TOTAL:			4.346,00

Tabla 5.9 Muebles y equipos de oficina departamento de ventas, servicio del cliente

5.5.5 Costo de Vehículo

Es necesaria la compra de un vehículo para transporte de equipos, accesorios y personal para la instalación de estaciones base y CPE´s, así como para realizar mantenimiento de los mismos, cuyos costos están detallados en la tabla 5.10.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
Chevrolet LUV DMax CD	1	18.760,00	18.760,00
TOTAL:			18.760,00

Tabla 5.10 Costo de vehículo

5.5.6 COSTOS DE OPERACIÓN

En la tabla 5.11 se hará referencia al personal que se contratará para el despliegue, operación y mantenimiento del sistema:

CARGO	No. DÍAS TRABAJADOS	SALARIO UNIFICADO	APORTE IESS	APORTE P POR PAGAR	DÉCIMO TERCERO	DÉCIMO CUARTO	IMP. RENTA x PAGAR	TOTAL A PAGAR PROMEDIO MENSUAL
Gerente General	30	1500,00	140,25	182,25	125,00	13,33	41,31	1456,77
Gerente Técnico	30	1500,00	140,25	182,25	125,00	13,33	41,31	1456,77
Contador	30	550,00	51,43	66,83	45,83	13,33	0,00	557,74
Técnico	30	450,00	42,08	54,68	37,50	13,33	0,00	458,76
Técnico	30	450,00	42,08	54,68	37,50	13,33	0,00	458,76

Técnico	30	450,00	42,08	54,68	37,50	13,33	0,00	458,76
Agente Ventas	30	350,00	32,73	42,53	29,17	13,33	0,00	359,78
Agente Ventas	30	350,00	32,73	42,53	29,17	13,33	0,00	359,78
Servicio cliente	30	350,00	32,73	42,53	29,17	13,33	0,00	359,78
Servicio cliente	30	350,00	32,73	42,53	29,17	13,33	0,00	359,78
Secretaria/Recep	30	300,00	28,05	36,45	25,00	13,33	0,00	310,28
Obrero	30	250,00	23,38	30,38	20,83	13,33	0,00	260,79
TOTALES:		6850,00	640,48	832,28	570,83	160,00	82,62	6857,74

Tabla 5.11 Plantilla de personal y asignación salarial mensual

5.5.7 GASTOS DE CONSTITUCIÓN DE LA EMPRESA

Debe además tomarse en cuenta los pagos al ente regulador ya que se necesita de dos tipos de permisos, para ofrecer un servicio portador se debe cancelar \$250.000 y para prestar servicios de valor agregado se debe cancelar al ente regulador \$500 anuales estos pagos deben realizarse a la SENATEL, de acuerdo a los reglamentos vigentes (Anexo 4).

No se toma en cuenta los pagos al CONARTEL por los permisos para prestar servicios de Televisión, debido a que por aspectos de regulación no se podría realizar; sin embargo tecnológicamente el presente proyecto deja planteada esa posibilidad.

Además debe considerarse el pago de \$1.000 en la Superintendencia de Compañías para establecer la empresa como tal.

En la tabla 5.12 se indican los gastos de constitución de la empresa.

Constitución de Compañía		1.000,00
Concesión Servicio		250.000,00
TOTAL:		251.000,00

Tabla 5.12 Gastos de Constitución de la empresa

5.5.8 COSTOS POR COMERCIALIZACIÓN DEL SERVICIO

Para realizar la comercialización del servicio se contratará una empresa encargada de marketing y se destinará \$ 30.000 semestrales para mencionada función, este valor a sido considerado ya que se obtenido información de algunas empresas publicitarias.

5.5.9 PAGO AL PROVEEDOR (CARRIER)

Se debe cancelar mensualmente al proveedor de Internet para la empresa y se a estimado conveniente contratar 10 E1's, por cada E1 se debe pagar \$ 3.500 en total se debe cancelar mensualmente \$ 35.000, este valor a sido considerado ya que se ha consultado con diferentes proveedores.

5.5.10 DETALLE DE ACTIVOS DE LA EMPRESA

En las tablas 5.13 y 5.14 se indican los activos de la empresa de forma detallada.

Activos Fijos Tangibles	
Torres de Transmisión	38.500,00
Equipos	610.136,00
Muebles y Equipos de Oficina Administrativo	1.354,00
Muebles y Equipos de Oficina Técnicos	7.006,00
Muebles y Equipos de Oficina Servicio al Cliente Ventas y Recepción	4.346,00
Vehículo	18.760,00
TOTAL	680.102,00
Activos Fijos Intangibles/Diferido	
Adecuaciones	8.610,00
Gastos de constitución	251.000,00
Software	15.500,00
Gastos de Publicidad	30.000,00
TOTAL	305.110,00
Capital de Trabajo	
Descripción	
COSTOS DE SERVICIO	
Directos	
Materiales directos	182.270,88
Mano de obra directa	1.450,40
Consumo de gasolina y lubricantes	200,00
Pago Carrier	35.000,00
Subtotal	218.921,28
GASTOS ADMINISTRATIVOS Y OPERACIONALES	
Sueldos	6.126,91
Aportes IESS	1.472,75
Beneficios de Ley	730,83
Servicios básicos	1.000,00
Arriendo local	1.500,00
Arriendo espacio para equipos	700,00
Suministros oficina	280,00
Mantenimiento y reparación de equipos	1.000,00
Aseo y limpieza	58,31

Consumo de teléfono	262,47
Subtotal	13.131,26
GASTOS DE VENTAS	
Sueldo personal de ventas	634,55
Movilización	80,00
Subtotal	714,55
CONTINGENCIAS	
Porcentaje para contingencias	4.000,00
Subtotal	4.000,00
TOTAL	236.767,09

Tabla 5.13 Detalle de activos de la empresa

Descripción	Monto \$
Activo fijo	680.102,00
Activo diferido	305.110,00
Activo corriente	236.767,09
TOTAL	1.221.979,09

Tabla 5.14 Resumen de los activos de la compañía

5.5.11 CÁLCULO DE DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE LOS ACTIVOS

Los activos fijos tangibles de la empresa están expuestos a depreciación conforme transcurre el tiempo, como se expone en la tabla 5.15.

Descripción	Valor Inicial \$	Valor de Salvamento \$	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	% Depreciación	Vida Útil años
Torres	38500,00	30800,00	1925,00	1925,00	1925,00	1925,00	5,00%	20
Equipos	610136,00	0,00	203378,67	203378,67	203378,67	0,00	33,33%	3
Muebles y Equipos de Oficina: Administrativos	1354,00	812,40	135,40	135,40	135,40	135,40	10,00%	10
Muebles y Equipos de Oficina: Técnicos	7006,00	4203,60	700,60	700,60	700,60	700,60	10,00%	10
Muebles y Equipos de Oficina: SAC, V y R	4346,00	2607,60	434,60	434,60	434,60	434,60	10,00%	10
Vehículo	18760,00	3752,00	3752,00	3752,00	3752,00	3752,00	20,00%	5
TOTAL	680.102,00	42.175,60	210.326,27	210.326,27	210.326,27	6.947,60		

Tabla 5.15 Cálculo de depreciación de los activos fijos tangibles

Los activos fijos intangibles de la empresa no sufren depreciación debido a que es un desembolso de efectivo por el que no se recibe ningún bien físico, por lo tanto se lo amortiza durante el tiempo que dura la proyección, como se expone en la tabla 5.16.

Descripción	V. ACTIVO	AÑO1	AÑO2	AÑO 3
Adecuaciones	8.610,00	2.870,00	2.870,00	2.870,00
Gastos de constitución	251.000,00	83.666,67	83.666,67	83.666,67
Software	15.500,00	5.166,67	5.166,67	5.166,67
Gastos de Publicidad	30.000,00	10.000,00	10.000,00	10.000,00
TOTAL	305.110,00	101.703,33	101.703,33	101.703,33

Tabla 5.16 Cálculo de amortizaciones de los activos fijos intangibles

5.5.12 COSTOS DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS

A continuación se detalla las tarifas de los servicios que van a ofrecer de acuerdo al mercado al cual va dirigido, estos valores están establecidos en base a algunos operadores existentes en el mercado, se realizó una comparación en cuanto a precios y se optó por utilizar como referencial los de menor valor. Además las tarifas han sido estimadas esperando tener una mínima utilidad y considerando el total de egresos durante un año de operación del sistema, tal como se podrá apreciar en la tabla 5.23 correspondiente al flujo de efectivo.

5.5.12.1 Para el Mercado Residencial

La tabla 5.17 presenta las tarifas para el acceso de Internet del mercado residencial.(Ver Anexo 6)

PLAN	COSTO	DESCRIPCIÓN
128/64 Kbps	\$ 38,00	Banda Ancha Ilimitada
256/128 Kbps	\$ 45,90	Banda Ancha Ilimitada
384/192 Kbps	\$ 74,75	Banda Ancha Ilimitada
512/256 Kbps	\$ 92,00	Banda Ancha Ilimitada
Costo del equipo de usuario es de \$ 50,00		

Tabla 5.17 Precios de los servicios residenciales

5.5.12.2 Para el Mercado Corporativo

La tabla 5.18 presenta las tarifas para el acceso de Internet del mercado corporativo.(Ver Anexo 6)

PLAN	INSTALACIÓN	COSTO
128/64 Kbps	\$ 115,00	\$ 74,75
192/64 Kbps	\$ 115,00	\$ 86,25
256/64 Kbps	\$ 230,00	\$ 99,00
384/192 Kbps	\$ 230,00	\$ 270,25
512/256 Kbps	\$ 230,00	\$ 329,00
768/192 Kbps	\$ 230,00	\$ 770,50
1024/512 Kbps	\$ 230,00	\$ 891,25

Tabla 5.18 Precios de los servicios corporativos

5.5.13 Cálculo del Flujo de Caja

Para la realización del flujo de caja se tomó en cuenta todo lo anteriormente analizado; varios de los datos obtenidos (preformas, tarifas, expectativas, entre otros) fueron facilitados con la condición de se mantenga la confidencialidad al respecto, por lo que no han sido detallados.

En las tablas 5.19 a 5.22 se muestra el detalle de total de ingresos de efectivo para cada año de servicio.

Detalle	Clientes	Precio \$	Mensual \$	Anual \$
Instalación Residencial	254	50,00	12700,00	12700,00
Instalación Corporativa	141	230,00	32430,00	32430,00
Servicio Residencial	254	38,00	9652,00	115824,00
Servicio Corporativo	141	329,00	46389,00	556668,00
Total:				717622,00

Tabla 5.19 Detalle de ingresos año 1

Detalle	Clientes	Precio \$	Mensual \$	Anual \$
Instalación Residencial	318	52,00	16536,00	16536,00
Instalación Corporativa	186	239,20	44491,20	44491,20
Servicio Residencial	572	39,52	22605,44	271265,28
Servicio Corporativo	327	342,16	111886,32	1342635,84
Total:				1674928,32

Tabla 5.20 Detalle de ingresos año 2

Detalle	Clientes	Precio \$	Mensual \$	Anual \$
Instalación Residencial	234	54,08	12654,72	12654,72
Instalación Corporativa	119	248,77	29603,39	29603,39
Servicio Residencial	806	41,10	33127,24	397526,94
Servicio Corporativo	446	355,85	158707,49	1904489,93
Total:				2344274,98

Tabla 5.21 Detalle de ingresos año 3

Detalle	Clientes	Precio \$	Mensual \$	Anual \$
Instalación Residencial	464	56,24	26096,84	26096,84
Instalación Corporativa	257	258,72	66490,71	66490,71
Servicio Residencial	1270	42,74	54285,94	651431,24
Servicio Corporativo	703	370,08	260166,42	3121997,04
Total:				3866015,84

Tabla 5.22 Detalle de ingresos año 4

En la tabla 5.23 se detalla el flujo de caja para los primeros cuatro años de funcionamiento de la empresa.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO					
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Inversiones	985.212,00				
Capital de trabajo	236.767,09				
INGRESOS DE EFECTIVO					
Instalación Residencial		12.700,00	16.536,00	12.654,72	26.096,84
Instalación Corporativa		32.430,00	44.491,20	29.603,39	66.490,71
Servicio Residencial		115.824,00	271.265,28	397.526,94	651.431,24
Servicio Corporativo		556.668,00	1.342.635,84	1.904.489,93	3.121.997,04
TOTAL INGRESOS DE EFECTIVO		717.622,00	1.674.928,32	2.344.274,98	3.866.015,84
EGRESOS DE EFECTIVO					
Egresos Servicio		237.075,68	290.051,03	223.671,62	397.054,06
MOD		17.404,80	18.100,99	18.825,03	19.578,03
Consumo de gasolina y lubricantes		2.400,00	2.496,00	2.595,84	2.699,67
Pago Carrier		35.000,00	36.400,00	37.856,00	39.370,24
UTP \$		275,38	333,28	472,75	774,96
FTP \$		1.938,90	2.346,55	3.328,52	5.456,38
Conectores RJ45 \$		331,20	401,86	537,34	900,34
Protectores RJ45 \$		290,40	352,35	471,14	789,43
EasyST		105.410,00	131.970,00	97.110,00	192.560,00
ProST		74.025,00	97.650,00	62.475,00	134.925,00
Egresos Adm.y Oper.		166.149,76	172.795,75	179.707,58	186.895,88
Sueldos		73.522,86	76.463,77	79.522,33	82.703,22
Aportes IESS		17.673,00	18.379,92	19.115,12	19.879,72
Beneficios de Ley		8.770,00	9.120,80	9.485,63	9.865,06
Servicios básicos		12.000,00	12.480,00	12.979,20	13.498,37

Arriendo local		18.000,00	18.720,00	19.468,80	20.247,55
Arriendo espacio para equipos		8.400,00	8.736,00	9.085,44	9.448,86
Suministros oficina		3.360,00	3.494,40	3.634,18	3.779,54
Mantenimiento y reparación de equipos		12.000,00	12.480,00	12.979,20	13.498,37
Aseo y limpieza		699,66	727,65	756,75	787,02
Consumo de teléfono		3.149,64	3.275,63	3.406,65	3.542,92
Movilización		960,00	998,40	1.038,34	1.079,87
Sueldos vendedores		7.614,60	7.919,18	8.235,95	8.565,39
TOTAL EGRESOS DE EFECTIVO		403.225,44	462.846,78	403.379,20	583.949,94
Depreciaciones (-)		210.326,27	210.326,27	210.326,27	6.947,60
Amortizaciones (-)		101.703,33	101.703,33	101.703,33	0,00
UTILIDAD BRUTA		2.366,96	900.051,94	1.628.866,18	3.275.118,29
15% participación de Trabajadores		355,04	135.007,79	244.329,93	491.267,74
Impuesto a la renta 25%		502,98	191.261,04	346.134,06	695.962,64
UTILIDAD NETA		1.508,94	573.783,11	1.038.402,19	2.087.887,91
Depreciaciones (+)		210.326,27	210.326,27	210.326,27	6.947,60
Amortizaciones (+)		101.703,33	101.703,33	101.703,33	0,00
VALOR SALVAMENTO					42.175,60
Recuperación Capital de Trabajo					236.767,09
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-1.221.979,09	313.538,54	885.812,71	1.350.431,79	2.094.835,51
TASA DE DESCUENTO	18,00%				
VALOR PRESENTE	-1.221.979,09	265.710,62	636.176,90	821.914,48	1.080.492,85
VAN	1.582.315,76				
PIR	3,22				
B/C	2,29				
TIR	58,48%				

Tabla 5.23 Flujo de Caja de la Empresa proyectado a 4 años

5.5.14 Cálculos del VAN, TIR, Relación B/C y Periodo de Recuperación de la Inversión

Aplicando las ecuaciones anteriormente indicadas, se calculan los indicadores de rentabilidad para el proyecto, presentadas en la tabla 5.24.

VAN (Valor Actual Neto; $i=14\%$ anual)	\$ 1.582.315,76
TIR (Tasa Interna de Retorno)	58,48%
B/C (Relación Beneficio/Costo)	2,29
PRI (Periodo de Recuperación de la Inversión, años)	3,22

Tabla 5.24 Indicadores de Rentabilidad

Al analizar los resultados, se puede observar claramente la rentabilidad del proyecto; debido a que el VAN es un mayor mucho mayor que cero; el TIR es considerablemente mayor que la tasa de interés utilizada en el proyecto la

relación B/C indica que por cada dólar invertido en le proyecto se percibe una ganancia de \$ 2,29.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado y a los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

✓ *Conclusiones Técnicas*

- WiMAX es una tecnología que permite el acceso inalámbrico a Internet de banda ancha, pero que se puede extender para brindar servicios de datos, voz y video.
- El propósito de la redes de acceso inalámbrico es proveer a futuro servicios de banda ancha que le permitan al usuario tener completa movilidad y conectividad a través de la red, esto será posible debido a que el estándar 802.16e WiMAX móvil, ya ha sido aprobado.
- El creciente interés por parte de los usuarios por acceder a servicios de transporte de datos a alta velocidad, Internet de banda ancha, VoIP, IPTV, video conferencia, video bajo demanda, entre otros, ha a dado origen a que los proveedores de servicios de telecomunicaciones tengan que optar cada vez por nuevas tecnologías que ofrezcan mayores anchos de banda, es decir; manejar velocidades mayores a 2Mbps.
- WiMAX se perfila como una solución inalámbrica de banda ancha que permitirá reducir notablemente los costos de operación y mantenimiento en comparación a los actuales servicios de redes cableados, creando de esta manera la posibilidad de satisfacer una necesidad de comunicación y provisión de servicios básicos en zonas hasta el momento totalmente aisladas. Cabe mencionar

que el despliegue de una red WiMAX será rápido y simple, constituyéndose como complemento para WiFi y Bluetooth.

✓ ***Conclusiones de Mercado***

- El mercado actual en la ciudad de Quito es propicio para implementar un sistema como el que se ha expuesto en el presente trabajo, ya que es algo novedoso y no ha sido muy explotado hasta el momento por operadores de servicios de telecomunicaciones. Analizando los resultados obtenidos en el capítulo 3 podemos apreciar el interés de los habitantes por una nueva alternativa para acceder a Internet a gran velocidad y sin utilizar cables.
- El estudio de demanda propuesto en el capítulo 3 ha permitido contar con una visión de cómo están distribuidos geográficamente los usuarios potenciales. Esto ha servido para planificar y proyectar un crecimiento ordenado y real de la demanda, que es un requisito básico para una adecuada implementación de la red.
- Con el propósito de cumplir con la demanda potencial de clientes, durante el diseño de la Red se determinó la utilización de celdas con diferentes números de sectores, en función de la distribución de usuarios, la topología del terreno y las posibilidades de crecimiento.

✓ ***Conclusiones del Diseño***

- Para realizar el diseño del “backbone” de la Red fue indispensable inspeccionar los sitios previstos para el emplazamiento de las estaciones base, verificando que exista línea de vista hacia el nodo ubicado en el cerro Pichincha.
- El diseño propuesto ha sido estructurado de una forma básica y sencilla, permitiendo una futura expansión mediante la inclusión de nuevas estaciones base en diferentes lugares de la ciudad, ampliando de esta manera el área de cobertura y el ancho de

banda por usuario.

- El sistema de administración de red empleado monitorea el sistema de forma centralizada, maximizando la utilización de recursos de la red del proveedor.
- El detalle del equipamiento necesario para la implementación de la red, guarda relación directa con las características de los equipos disponibles en el mercado y analizados en el capítulo 4, por lo que la configuración presentada en la figura 4.32 es totalmente factible de obtenerse. El criterio aplicado tiene su sustento teórico enfocado a utilizar más eficientemente el ancho de banda, que hoy en día es un recurso valioso en las redes de datos.
- Los sistemas cableados tardan más tiempo en promedio para ofrecer toda la gama de los servicios antes mencionados. El tiempo de instalación de toda la infraestructura cableada puede durar por lo regular varios meses e incluso algunos años, lo cual implica muchos gastos previos por el largo tiempo transcurrido en la instalación total del sistema. En contraste, la gran mayoría de sistemas inalámbricos pueden ser instalados y puestos en funcionamiento en unos cuantos meses.

✓ *Conclusiones Financieras*

- La integración de sistemas multiservicios en un solo proveedor es importante a la hora de ofrecer una atención al cliente rápida y eficaz, así como un mantenimiento eficiente de la red de acceso, que lleva, por un lado, a una mayor satisfacción del cliente y por otro, un ahorro de costos.
- Un proyecto se considera rentable cuando el TIR es mayor o igual a la tasa de descuento considerada. En este proyecto se asumió que la tasa de descuento es del 18% y dado que la tasa interna de retorno es del 53% se concluye que la tasa de descuento escogida es aceptable y que para esta tasa, el

proyecto es rentable.

Es claro además que la mayor parte de las utilidades que generaría el proyecto están concentradas en zonas como el Centro Histórico, Mariscal Sucre e Iñaquito ya que en estos lugares se concentra un importante movimiento económico y corporativo de la ciudad. De aquí se desprende el especial interés en considerar estas zonas en el momento de la puesta en marcha de la red, además del cuidado que se debe tener en la operación y mantenimiento en estos sectores que concentran a los clientes económicamente más importantes.

- Como conclusión final de este trabajo se debe indicar que queda plenamente justificado todo el análisis desarrollado, tomando en cuenta la necesidad de brindar mejores y más avanzados servicios de transporte de datos a clientes corporativos así como a clientes residenciales. WiMAX se perfila como una solución que se ajusta perfectamente a la realidad de nuestro medio, brindando soluciones con costos relativamente bajos tanto de inversión, como para los usuarios finales y que permita ir a la par en la medida de lo posible de los desafíos que representan los nuevos y sofisticados servicios de transporte de datos.

6.2 RECOMENDACIONES

Con la finalidad de obtener mejores resultados al momento de implementar el sistema, se recomienda.

- Para conseguir una mejor calidad en los enlaces con los clientes, quienes tendrán enlaces NLOS, se deberá hacer apuntamientos con las antenas en todas direcciones en orden de obtener la mejor señal.
- El plan de frecuencias que presentamos en este proyecto es tan solo tentativo. Para la realización de un proyecto con carácter real se debe hacer un análisis de espectro en cada emplazamiento de

las radio bases para saber en que banda de frecuencias hay mejor SNR.

- Para implementar una red que ofrezca multiservicios sobre una plataforma WiMAX, se recomienda:
 1. Analizar un mercado más dirigido, el mismo que tenga la necesidad de utilizar multiservicios.
 2. Conocer ampliamente que tipo de regulación se maneja en el Ecuador con respecto a redes multiservicios.
 3. Contar con el capital necesario para implementar este tipo de red, cuyo costo es bastante elevado.

- Si se desea ampliar la red utilizando más radio bases en otras localidades, se debería pensar en la utilización de una tecnología más versátil y robusta para el diseño del backbone, una tecnología que permita transmisión de datos a velocidades más altas y con menos retardos, como puede ser la fibra óptica, cuya tasa de transmisión esta en el orden de las decenas de Mbps.

- Para el despliegue de redes WiFi dentro de campus universitarios, centros de estudio y otros, se recomienda la utilización de equipos que complementan las tecnologías WiMAX y WiFi, los mismos que se pueden ubicar en postes de alumbrado público o edificios, así obteniendo una cobertura total del lugar.

- Se recomienda al ente regulador la creación de normas para la prestación de servicios “triple play” ya que en la actualidad no es posible que un mismo proveedor de servicios pueda ofrecer múltiples servicios a través de una red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Tomasi Wayne, “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”, Prentice Hall, 2ª Edición, México, 1996.
- ◆ Stallings William, “Comunicaciones y Redes de Computadores”, Prentice Hall, 5ª Edición, España, 1998.
- ◆ Andrew S. Tanenbaum, “Redes de Computadoras”, Prentice Hall, 3ª Edición, México, 1997.
- ◆ Msc. Jiménez María Soledad, “Comunicación Digital”, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2004.
- ◆ Huidrobo José Manuel, “Todo sobre Comunicaciones”, Paraninfo, España, 2002.
- ◆ Sweeney Daniel, “WiMAX Operator’s Manual: Building 802.16 Wireles Networks”, USA; 2004.
- ◆ Clark Martin, “Wireless Access Network”, UK, 2000.
- ◆ Regis J. Bates, Comunicaciones Inalámbricas de Banda Ancha, McGraw Hill, España, 2003.
- ◆ Serna Paola Martínez, “Proyección de la Demanda: Antecedentes, Necesidad e Importancia”, Universidad Nacional de Colombia.
- ◆ <http://www.WiMAXforum.org>
- ◆ <http://www.WiMAX.com>
- ◆ <http://es.wikipedia.org/wiki/Modulacion>
- ◆ <http://es.wikipedi.org/WiMAX>
- ◆ <http://www.intel.com>
- ◆ http://www.intel.com/netcomms/technologies/WiMAX/WiMAX_docs.htm
- ◆ http://www.euroresidentes.com/Blogs/avances_tecnologicos/2005/04/WiMAX-internet-sin-cable-larga.htm

- ◆ <http://www.monografias.com/trabajos16/WiMAX/WiMAX.shtml>
- ◆ <http://www.blogWiMAX.com>
- ◆ <http://www.pixelydixel.com/2005/04/intel-presenta-WiMAX.html>
- ◆ <http://www.intel.com/cd/network/communications/emea/spa/199003.htm>
- ◆ <http://www.mouse.cl/2005/rep/04/22/index.asp>
- ◆ http://www.masternewmedia.org/es/2005/05/02/redes_inalambricas_de_banda_ancha.htm
- ◆ <http://www.solunet.com.ar/conexiones-internet/WiMAX/>
- ◆ <http://www.WiMAXxed.at/>
- ◆ <http://www.latinWiMAX.com>
- ◆ <http://www.tele-semana.com>
- ◆ http://www.domotica.net/WiMAX_y_UWB_complementan_a_WiFi_y_Bluetooth.htm
- ◆ <http://www.tecnoWiMAX.com>
- ◆ http://www.vnunet.es/Actualidad/Análisis/Informática_personal/Wireless/20040123010
- ◆ <http://www.netkrom.com>
- ◆ <http://www.zonaWiFi.com>
- ◆ <http://www.ieee.org/enterprise>
- ◆ <http://www.techglossary.info>
- ◆ <http://www.WiMAXxed.com>
- ◆ <http://www.zonablueetooth.com>
- ◆ http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16
- ◆ <http://www.frecuenciaonline.com>
- ◆ <http://www.WiMAXforum.org/news/downloads/WiMAXWhitepaper.pdf>

- ◆ http://www.iese.edu/es/files/5_13675.pdf
- ◆ <http://www.supertel.gov.ec>
- ◆ <http://www.conatel.gov.ec>
- ◆ <http://www.airspan.com>
- ◆ <http://www.apertonet.com>
- ◆ <http://www.alvarion.com>
- ◆ <http://www.siemens.ie/carrier/topics/WiMAX/index.htm>
- ◆ http://es.wikipedia.org/wiki/Voz_sobre_IP
- ◆ <http://www.voip-info.org>
- ◆ <http://www.monografias.com/trabajos3/voip/voip.shtml>
- ◆ <http://www.esmas.com/Estudiodemercado/Lademanda>
- ◆ <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
- ◆ <http://www.andinanet.net>

ANEXOS

1. GLOSARIO DE TERMINOS Y DEFINICIONES
2. MODELO DE ENCUESTAS
3. NORMAS Y REGLAMENTOS
 - 3.1 Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha
 - 3.2 Requisitos para la Implementación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha
 - 3.3 Requisitos para obtener el permiso para la explotación de Servios de Valor Agregado
 - 3.4 Requisitos para obtener la conseción de Servicios Portadores de Telecomunicaciones
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS
5. FORMULARIOS DE LOS ENLACES PUNTO-PUNTO
6. TARIFAS DEL SERVICIO DE INTERNET DEL MERCADO LOCAL