

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO EN INGENIERÍA**

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA
METROPOLITANA INALÁMBRICA (WMAN) CON
TECNOLOGÍA IEEE 802.16 PARA LA ZONA
COMERCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO”**

PABLO JOSÉ GAMBOA VARGAS

SANGOLQUÍ-ECUADOR

2007

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certificamos que el proyecto de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, titulado: “Estudio y Diseño de una red Inalámbrica de Área Metropolitana con Tecnología IEEE 802.16 para la zona comercial de la Ciudad de Quito”, fue desarrollado en su totalidad bajo nuestra dirección y supervisión del señor: “Pablo José Gamboa Vargas” de cédula de identidad 180308287-2.

Atentamente,

Ing. Román Lara Msc.

DIRECTOR

Ing. Julio Larco Msc.

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Todo mi agradecimiento a Dios por haberme dado la fuerza e inteligencia en el transcurso de estos años. A mis padres Eulogio S. Gamboa V. y Juanita F. Vargas I. por el apoyo moral, espiritual y emocional que me ayudaron a no desanimarme en éste duro camino. A mi esposa Mersy Mayorga por apoyarme en los momentos duros de mi carrera. A mi hija Paula D. Gamboa Mayorga por ser mi faro de guía. A mi director de tesis Ing. Román Lara Msc. por su calidez, sugerencias y confianza. A mi codirector Ing. Julio Larco Msc. por la comprensión brindada. A mis hermanos por su constante preocupación, Sonia, Janeth, Mario, Daniel y Juanita. A mis amigos por su apoyo incondicional. A todos los artistas y teóricos que con su aporte hicieron posible la realización de este proyecto.

Pablo José Gamboa Vargas

DEDICATORIA

A mis padres, mi esposa, mi hija Paula D. Gamboa M, a mis hermanos. A mis amigos, con los que pasamos momentos chéveres, momentos duros, alegrías, tristezas. A mis profesores que me brindaron el conocimiento.

PROLOGO

Éste estudio y diseño se lo hizo con la finalidad de dar cobertura inalámbrica a la zona comercial de la ciudad de Quito. Éste tipo de cobertura permite a los usuarios acceder a los servicios de voz, video, datos con total facilidad y a un costo bajo respecto al la calidad de servicio que se brindara, esto se puede dar gracias a la fácil implementación del sistema WiMAX. Al ir desarrollándolo se presentaron nuevos campos de aplicación, una de estas aplicaciones es el servicio a la comunidad, el cual permitirá incorporar a las personas de la tercera edad en el mundo de la tecnología.

En el primer capítulo se detalla los diferentes tipos de redes inalámbricas, con sus respectivos servicios, cobertura, aplicación, ventajas y desventajas, éste capítulo me ayudo a comprender las ventajas de las redes inalámbricas y el amplio campo de aplicaciones. En el segundo capítulo se hizo un estudio detallado de la tecnología IEEE 802.16, analizando las características de servicio, rango de cobertura, protocolos, velocidades de transmisión, interfaces, la disponibilidad del espectro y las comparamos con las características de los estándares europeos. En el tercer capítulo se realizo el diseño de la red WMAN para la zona comercial de la ciudad de Quito, se empezó con la elección del estándar apropiado para el diseño, basándonos en las características del mismo, se realizo una planificación estructural cuidadosa para verificar el número de posibles usuarios y de acuerdo a la cantidad de usuarios se realizo la elección de los equipos apropiados que soporten el tráfico de información requerido; el dimensionamiento de los equipos nos permite realizar la distribución requerida para cada usuario y así poder dar un servicio de calidad con una alta confiabilidad. En el cuarto capítulo se realizo el estudio económico y de factibilidad del proyecto, este capítulo es de suma importancia, nos indica la rentabilidad de nuestro proyecto al ser implementado.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

ÍNDICE DEL CONTENIDO -----	I
ÍNDICE DE FIGURAS -----	V
ÍNDICE DE TABLAS -----	VIII
CAPITULO I -----	1
INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS -----	1
1.1. REDES INALÁMBRICAS (WIRELESS) -----	1
1.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO -----	2
1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS -----	3
1.3.1. <i>Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)</i> -----	4
1.3.2. <i>Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)</i> -----	18
1.3.3. <i>Red Inalámbrica de Área Metropolitana (WMAN)</i> -----	32
1.4. DIFERENCIAS DE DISEÑO ENTRE EL ESTÁNDAR 802.16 Y ES ESTÁNDAR 802.11. -----	35
1.4.1. <i>Tecnología.</i> -----	36
1.4.2. <i>Calidad de servicio (QoS)</i> -----	36
1.4.3. <i>Movilidad</i> -----	36
1.4.4. <i>Servicios</i> -----	37
1.4.5. <i>Usos</i> -----	37
1.4.6. <i>Regulación.</i> -----	37
1.4.7. <i>Equipos y precios.</i> -----	38
CAPITULO II -----	40
ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16 -----	40
2.1. CONSIDERACIONES GENERALES -----	40
2.2. LA IMPORTANCIA DE USAR EL ESTÁNDAR 802.16 -----	42
2.3. CONSIDERACIONES DEL MERCADO [13][14]-----	45
2.3.1. <i>Evolución de los Servicios de telecomunicaciones</i> -----	47
2.3.2. <i>Características en el Mercado que Incentivan el Despliegue de WiMAX</i> -----	51
2.3.3. <i>WiMAX en el mercado</i> -----	53
2.3.4. <i>El impacto que tiene y tendrá en un futuro WiMAX</i> -----	54
2.4. WIMAX EN EL ECUADOR-----	55
2.4.1. <i>Asignación del espectro en la Banda de 2.4 y 5.8 GHz</i> -----	56
2.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ESTÁNDAR 802.16-----	58
2.5.1. <i>Arquitectura Flexible</i> -----	59
2.5.2. <i>Rápido Despliegue</i> -----	59
2.5.3. <i>Servicios Multi-Nivel</i> -----	60
2.5.4. <i>Interoperabilidad</i> -----	60
2.5.5. <i>Portabilidad</i> -----	60
2.5.6. <i>Movilidad</i> -----	60
2.5.7. <i>Costo Efectivo</i> -----	61
2.5.8. <i>Tasa de transferencia de alta capacidad</i> -----	61
2.5.9. <i>Escalabilidad</i> -----	61
2.5.10. <i>Calidad de servicio (QoS)</i> -----	62
2.5.11. <i>Cobertura</i> -----	62
2.5.12. <i>Alta Seguridad</i> -----	64
2.6. SERVICIOS QUE PUEDE PRESTAR WIMAX-----	64
2.6.1. <i>Servicios de telefonía</i> -----	65

2.6.2.	<i>Telefonía fija</i>	65
2.6.3.	<i>Telefonía móvil [22]</i>	66
2.6.4.	<i>Servicios portadores [23]</i>	66
2.6.5.	<i>Servicios de valor agregado</i>	67
2.6.6.	<i>Servicios de redes privadas</i>	67
2.6.7.	<i>Servicios de radiocomunicaciones</i>	67
2.6.8.	<i>Servicios Públicos</i>	68
2.6.9.	<i>Servicios al Público</i>	68
2.7.	PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN PARA LA INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y EXPLOTACIÓN DEL ESTÁNDAR 802.16 EN EL ECUADOR	68
2.7.1.	<i>Conceptos</i>	68
2.7.2.	<i>Requisitos de Concesión</i>	69
2.8.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA WiMAX	72
2.8.1.	<i>Centro de operación de la Red IP Edge Router</i>	72
2.8.2.	<i>Estación de Radio Base (BSR)</i>	73
2.8.3.	<i>Antenas</i>	73
2.8.4.	<i>Equipo Local del Cliente (CPE)</i>	74
2.9.	INTERFACES DE WIMAX	76
2.9.1.	<i>Interfaz de red</i>	76
2.9.2.	<i>Interfaces de radio</i>	78
2.10.	DISPONIBILIDAD DEL ESPECTRO WiMAX	79
2.10.1.	<i>Exenta de licencia</i>	81
2.10.2.	<i>Con licencia</i>	82
2.11.	ESTRUCTURA EXTREMO A EXTREMO PARA DIVERSIFICAR SERVICIOS	84
2.12.	APLICACIONES DE WIMAX	85
2.13.	ASPECTOS TÉCNICOS	87
2.13.1.	<i>Capas del modelo OSI: Capa Física (PHI) y capa (MAC)</i>	87
2.14.	TÉCNICAS DE ACCESO	95
2.14.1.	<i>Acceso al medio</i>	95
2.14.2.	<i>Métodos de duplexación</i>	96
2.14.3.	<i>Tipos de modulación</i>	98
2.15.	TECNOLOGÍAS DE ENLACE AÉREO	102
▪	<i>Hub o Base Station</i>	103
▪	<i>Remotos o terminales de suscriptor</i>	103
▪	<i>Downlink y Uplink</i>	103
▪	<i>Canal</i>	103
▪	<i>Sector</i>	103
2.16.	PROPAGACIÓN DE WIMAX	105
2.16.1.	<i>NLOS y LOS</i>	106
2.17.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA WiMAX	108
2.18.	SEGURIDAD DE WIMAX	110
2.18.1.	<i>Introducción</i>	110
2.18.2.	<i>Políticas de Seguridad</i>	110
2.18.3.	<i>Sistema de Seguridad Eléctrico</i>	111
2.19.	ARQUITECTURA DE PILA DE PROTOCOLOS	113
2.20.	ESTÁNDARES DE WIMAX	114
2.20.1.	<i>IEEE 802.16</i>	115
2.20.2.	<i>IEEE 802.16c</i>	116
2.20.3.	<i>IEEE 802.16a</i>	116
2.20.4.	<i>IEEE 802.16-2004</i>	117
2.20.5.	<i>IEEE 802.16e</i>	118
2.20.6.	<i>HIPERMAN</i>	119
2.20.7.	<i>HIPERACCESS</i>	120
2.20.8.	<i>HIPERLINK</i>	120
2.20.9.	<i>LMDS</i>	120
2.21.	COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES AMERICANOS CON LOS EUROPEOS	121
CAPITULO III		123
DISEÑO DE LA UNA RED INALÁMBRICA WMAN PARA LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO		123

3.1.	INTRODUCCIÓN	123
3.1.1.	<i>Estándar Fijo 802.16-2004</i>	125
3.1.2.	<i>Estándar Móvil 802.16e</i>	132
3.2.	COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDAR	140
3.2.1.	<i>Redes Fijas 802.16-2004</i>	140
3.2.2.	<i>Redes Móviles 802.16e</i>	141
3.3.	FACTORES PARA DETERMINAR EL ESTÁNDAR A USAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	143
3.3.1.	<i>Tipo de Mercado</i>	143
3.3.2.	<i>Espectro</i>	144
3.3.3.	<i>Regulación</i>	144
3.3.4.	<i>Disponibilidad de productos</i>	145
3.4.	PASOS PARA EMIGRAR AL ESTÁNDAR 802.16E	145
3.4.1.	<i>Cobertura de la Red</i>	146
3.5.	ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR Y JUSTIFICACIÓN	147
3.6.	PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS	148
3.6.1.	<i>Número de canales necesarios para la transmisión bilateral de una señal</i>	148
3.6.2.	<i>Organización de un plan de frecuencias o de una disposición de canales radioeléctricos</i>	149
3.7.	PRINCIPALES PLANES DE FRECUENCIA	151
3.7.1.	<i>Planes de frecuencia de Radio enlaces Analógicos</i>	151
3.7.2.	<i>Planes de frecuencias comunes a los Radio enlaces digitales</i>	151
3.7.3.	<i>Comparación de bandas de frecuencia con los servicios especiales</i>	152
3.8.	UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS SOBRE UN TERRITORIO	152
3.9.	REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS	153
3.10.	PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA WiMAX	158
3.10.1.	<i>Proceso de planificación del sistema WiMAX</i>	159
3.10.2.	<i>Calidad de servicio</i>	160
3.10.3.	<i>Balance de potencias</i>	160
3.10.4.	<i>Cálculo de interferencias</i>	161
3.10.5.	<i>Terminología y elementos en la red WiMAX</i>	161
3.10.6.	<i>Conceptos generales</i>	163
3.10.7.	<i>Plazos de planificación</i>	164
3.11.	ESTRATEGIA DE PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA WiMAX	164
3.11.1.	<i>Objetivos</i>	165
3.11.2.	<i>Etapas</i>	165
3.11.3.	<i>Plan estratégico</i>	166
3.12.	PLANIFICACIÓN ESTRUCTURAL	168
3.12.1.	<i>Usuarios Potenciales</i>	168
3.12.2.	<i>Proyección de la demanda</i>	169
3.12.3.	<i>Banda de frecuencia</i>	173
3.12.4.	<i>Radio de la celda</i>	174
3.12.5.	<i>Ubicación de las Radio Bases</i>	174
3.12.6.	<i>Área de Cobertura</i>	182
3.12.7.	<i>Análisis de los enlaces de Microondas</i>	184
3.13.	SELECCIÓN DEL EQUIPO	193
3.14.	ESTUDIO DEL TRÁFICO	194
3.14.1.	<i>Tráfico Para el acceso a la red Internet</i>	195
3.14.2.	<i>Tráfico para transmisión de datos</i>	196
3.14.3.	<i>Tráfico para Voz sobre IP</i>	197
3.14.4.	<i>Tráfico de Videoconferencias</i>	197
3.14.5.	<i>Análisis de los resultados del Tráfico</i>	198
3.15.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	198
3.15.1.	<i>Distribución IP</i>	201
3.15.2.	<i>Calidad de Servicio</i>	201
3.15.3.	<i>Seguridad</i>	202
3.15.4.	<i>Estación de radio base en el Ministerio de Obras Públicas (MOP)</i>	203
3.15.5.	<i>Unidad de Distribución de la Estación de radio base Interna (BSDU)</i>	204
3.15.6.	<i>Antena GPS</i>	205
3.15.7.	<i>Equipos de los Usuarios CPE's</i>	205
3.15.8.	<i>IP Edge Router CISCO 3200 Wireless</i>	206

3.15.9.	<i>Software de administración de la red Netspan ISP</i>	208
3.16.	INFORME TÉCNICO	209
CAPITULO IV		212
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y ECONÓMICO		212
4.1.	PLANIFICACIÓN ECONÓMICA	212
4.2.	COSTOS EN EL SISTEMA WIMAX	213
4.2.1.	<i>Costos de Instalación</i>	214
4.2.2.	<i>Costos de concesión de servicios</i>	215
4.2.3.	<i>Costos de mantenimiento</i>	217
4.2.4.	<i>Gastos de Promoción y Ventas</i>	218
4.3.	DETERMINACIÓN DE TARIFAS DEL SISTEMA DE ACCESO WIMAX	218
4.3.1.	<i>Tarifas para el acceso a la Red Internet</i>	219
4.3.2.	<i>Tarifas para la transmisión de Datos</i>	220
4.3.3.	<i>Tarifas para voz sobre IP</i>	221
4.3.4.	<i>Tarifas para Videoconferencia</i>	222
CAPITULO V		226
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		226
5.1.	CONCLUSIONES	226
5.2.	RECOMENDACIONES	232
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		234
ANEXOS		237
GLOSARIO		I

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

Figura. 1.1 Estructura de una Red Inalámbrica	2
Figura. 1.2. Redes inalámbricas respecto a la tecnología de acceso	4
Figura. 1.3. Integración de equipos por medio inalámbrico.....	7
Figura. 1.4. Símbolo del estándar Bluetooth	8
Figura. 1.5. Piconets y sus estados operacionales	9
Figura. 1.6. Estructura maestro esclavo.....	10
Figura. 1.7. Esquema del Scaternets.....	10
Figura.1.8. Espectro Expandido por salto de Frecuencia	12
Figura. 1.9. Topología punto a punto y estrella.....	16
Figura. 1.10. Conexión P2P.....	20
Figura. 1.11. Punto de acceso	20
Figura. 1.12. Terminales con capacidad de roaming.....	21
Figura. 1.13. Estándares 802.11	29
Figura. 1.14. Estructura de una Red WiMAX.....	33

CAPITULO II

ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

Figura. 2.1. Lugares de acceso	41
Figura. 2.2. Segmentos del mercado de las Telecomunicaciones	42
Figura. 2.3. El futuro de WiMAX en el mercado.....	45
Figura. 2.4. Distribución de los ingresos en el Ecuador en el 2001	46
Figura. 2.5. Distribución de los ingresos en el Ecuador en el 2005	47
Figura. 2.6. Evolución de las líneas fijas y móviles	48
Figura. 2.7. Penetración de la telefonía fija en Latino América.....	48
Figura. 2.8. Penetración de la Telefonía Móvil Celular América Latina[18].....	49
Figura. 2.9. Suscriptores y Penetración De Banda Ancha.....	50
Figura. 2.10. Estado del mercado de las telecomunicaciones en Ecuador	51
Figura. 2.11. Banda ancha inalámbrica	54
Figura. 2.12. Impacto en el mercado de WiMAX.....	54
Figura. 2.13. Atribución del espectro radioeléctrico del Ecuador de 5.8 GHz como frecuencia central[20].....	57
Figura. 2.14. Atribución del espectro radioeléctrico del Ecuador de 2.4 GHz [20].....	57
Figura. 2.15. Características de WiMAX	58
Figura. 2.16. Arquitectura P2P	59
Figura. 2.17. Antena Inteligente	63

Figura. 2.18. Arquitectura Mesh.....	63
Figura. 2.19. Zonas y radios de coberturas indoor y outdoor.....	64
Figura. 2.20. Arquitectura del sistema WiMAX.....	72
Figura. 2.21. Tipos de antenas.....	74
Figura. 2.22. Diferentes tipos de CPE's.....	75
Figura. 2.23. Modelo de referencia WiMAX.....	76
Figura. 2.24. Nueva interfaz de Radio para WiMAX.....	79
Figura. 2.25. Espectros de Frecuencia por Región.....	83
Figura. 2.26. Estructura E2E.....	84
Figura. 2.27. Elementos de la estructura E2E.....	85
Figura. 2.28. Aplicaciones de WiMAX.....	85
Figura. 2.29. Servicios indoor.....	86
Figura. 2.30. Capa Física y MAC del modelo OSI.....	87
Figura. 2.31. Topología PMP.....	88
Figura. 2.32. Topología mesh.....	89
Figura. 2.33. Modulación OFDM.....	92
Figura. 2.34. Subcanalización.....	94
Figura. 2.35. Enlace SISO y MIMO.....	94
Figura. 2.36. Estructura MIMO entre el servidor y abonado.....	95
Figura. 2.37. Técnica de acceso TDMA.....	96
Figura. 2.38. Modos de Duplexación.....	96
Figura. 2.39. Sistema FDD.....	97
Figura. 2.40. Sistema TDD.....	98
Figura. 2.41. Modulación Adaptativa.....	99
Figura. 2.42. Diagrama BPSK.....	99
Figura. 2.42. Esquema de modulación QPSK.....	100
Figura. 2.43. Esquema de modulación QAM.....	101
Figura. 2.44. Definiciones de los elementos del enlace aéreo.....	103
Figura. 2.45. Interfaces Aire MAC.....	105
Figura. 2.46. Zona de Fresnel LOS.....	106
Figura. 2.47. Zona de Fresnel NLOS.....	107
Figura. 2.48. Descripción del Sistema WiMAX.....	109
Figura. 2.49. Pila de Protocolos (Stack).....	114
Figura. 2.50. Evolución del estándar IEEE 802.16.....	115

CAPITULO III

DISEÑO DE LA UNA RED INALÁMBRICA WMAN PARA LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

Figura. 3.1. Evolución de los diferentes escenarios de aplicación.....	124
Figura. 3.2. Enlace de subida para OFDM.....	128
Figura. 3.3. Comparación de la estructura de la trama de 802.16-2004 OFDM y el sistema 802.16-2004 OFDMA.....	129
Figura. 3.4. El próximo pasó de los estándares inalámbricos.....	133
Figura. 3.5. Comparación de la eficiencia espectral.....	134
Figura. 3.6. Modulación OFDMA.....	135

Figura. 3.7. Enlace de ascendente de OFDMA	135
Figura. 3.8. Modelo de la pila del estándar 802.16e.....	137
Figura. 3.9. Movilidad del estándar 802.16e	139
Figura. 3.10. WiMAX para todo uso en el futuro y en la actualidad	145
Figura. 3.11. Configuración de canales en una estación	149
Figura. 3.12. Uso de los polarizadores	150
Figura. 3.13. Uso de dos antenas	151
Figura. 3.14. Diagrama de radiación de una antena de 90 grados.....	154
Figura. 3.15. Panificación con 4 frecuencias, 1 polarización y sectores de 90 grados.....	155
Figura. 3.16. Planificación con 4 frecuencias, 2 polarizaciones y sectores 90/30 grados.	156
Figura. 3.17. Redes móviles	157
Figura. 3.18. Curva exponencial de la demanda para WiMAX	173
Figura. 3.19. Diagrama de la posición de la celda.....	175
Figura. 3.20. Área de cobertura con la estación de radio base en COFIEC	177
Figura. 3.21. Área de cobertura con la estación de radio base en COFIEC	177
Figura. 3.22. Perfil entre el COFIEC y la Corte Suprema de Justicia.....	178
Figura. 3.23. Línea de vista desde el COFIEC a Corte Suprema de Justicia	179
Figura. 3.24 Área de cobertura con la estación de radio base en MOP.....	179
Figura. 3.25 Área de cobertura con una antena omnidireccional en el MOP.....	180
Figura. 3.26. Perfil entre MOP y COFIEC.....	180
Figura. 3.27. Perfil entre MOP y la Corte Suprema de Justicia	181
Figura. 3.28. Línea de vista desde el MOP al Corte Suprema de Justicia.....	181
Figura. 3.29. Línea de vista desde el MOP al COFIEC.....	181
Figura. 3.30. Área de cobertura con un radio de 4.5 Km	183
Figura. 3.31. Área de cobertura de las celdas en la zona comercial.....	184
Figura. 3.32. Ganancias y pérdidas de un sistema.....	191
Figura. 3.33. Diagrama final del sistema WiMAX.....	199
Figura. 3.34. Aplicación típica para un acceso de Internet de alta velocidad	200
Figura. 3.35. Aplicación para el servicio de VoI.....	201
Figura. 3.36. Concepto de QoS.....	202
Figura. 3.37. Futuros sistemas de seguridades para las capas del modelo OSI.....	203
Figura. 3.38. BSR sobre un poste	203
Figura. 3.39. Sistema de Posicionamiento Global.....	205
Figura. 3.40. ProST.....	206
Figura. 3.41. Configuración de una subred IP	208

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

Tabla. 1.1. Rangos de frecuencia del espectro radioeléctrico -----	2
Tabla. 1.2. Frecuencias, tasa de transmisión y número de canales de ZigBee -----	15
Tabla. 1.3. Cobertura y Velocidad de transmisión del estándar 802.11b -----	24
Tabla. 1.4. Cobertura del estándar 802.11a -----	25
Tabla. 1.5. Tipos de HiperLAN -----	30
Tabla. 1.6. Comparación de tecnologías entre WiMAX y WiFi -----	39

CAPITULO II

ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

Tabla. 2.1. Tipos de servicio -----	62
Tabla. 2.2. Bandas de frecuencia licenciadas y exentas de licencia para servicios inalámbricos de Banda Ancha -----	80
Tabla. 2.3. Características generales de la Capa Física -----	92
Tabla. 2.4. Comparación entre OFDM y CDMA -----	93
Tabla. 2.5. Velocidad versus Modulación -----	102
Tabla. 2.6. Comparación de los estándares -----	122

CAPITULO III

DISEÑO DE LA UNA RED INALÁMBRICA WMAN PARA LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

Tabla. 3.1. Tipos de Acceso para una red WiMAX -----	124
Tabla. 3.2. Parámetros de las bandas exenta de licencias -----	127
Tabla. 3.3. Banda de frecuencia de y servicios de 2.3 a 2.5 GHz -----	127
Tabla. 3.4. Tipos de Duplexación y número de canales -----	129
Tabla. 3.5. Banda de frecuencia de y servicios de 5.7 a 5.83 GHz -----	138
Tabla. 3.6. Selectividad de canal adyacente para diversas modulaciones digitales. -----	161
Tabla. 3.7. Edificaciones de mayor altura -----	176
Tabla. 3.8. Datos de propagación COFIEC Corte Suprema de Justicia -----	178
Tabla. 3.9. Estación de radio base seleccionada -----	182
Tabla. 3.10. Parámetros de la ganancia del sistema -----	185

Tabla. 3.11. Parámetros de las pérdidas en la trayectoria -----	186
Tabla. 3.12. Parámetros del margen de desvanecimiento -----	187
Tabla. 3.13. Parámetros del Umbral del receptor-----	188
Tabla. 3.14. Parámetros de la corrección de la altura -----	190
Tabla. 3.15. Parámetros de la fórmula 3.14 -----	190
Tabla. 3.16. Fabricantes de WiMAX y sus productos -----	193
Tabla. 3.17. Resultado del tráfico de las celdas-----	198
Tabla. 3.18 Llamadas simultaneas de VoIP -----	200
Tabla. 3.19. Direcciones IP-----	207
Tabla. 3.20. Datos generales del Diseño-----	210
Tabla. 3.21. Celda del Ministerio de Obras Públicas MOP -----	210
Tabla. 3.22. Características Técnicas de los CPE's -----	211

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y ECONÓMICO

Tabla. 4.1. Costos de los equipos libres de impuestos -----	213
Tabla. 4.2. Costos FOB de los equipos -----	214
Tabla. 4.3. Costos de Instalación -----	215
Tabla. 4.4. Coeficiente de valoración del espectro aplicable para fines de cálculo de las tarifas del Servicio Fijo, enlaces punto- punto. -----	216
Tabla. 4.5. Factor de Concesión de Frecuencias para los diferentes -----	217
Servicios en las diferentes Bandas-----	217
Tabla. 4.6. Gastos de promoción y ventas -----	218
Tabla. 4.7. Porcentajes del tráfico -----	219
Tabla. 4.8. Tarifas para transmisión de Datos-----	221
Tabla. 4.9. Tarifas de VoIP-----	222
Tabla. 4.10. Tarifas para videoconferencia-----	223
Tabla. 4.11. Evaluación del proyecto -----	225

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

1.1. REDES INALÁMBRICAS (WIRELESS)

En los últimos años las redes inalámbricas han ganado mucha popularidad, lo cual crece conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para ellas. Las redes inalámbricas permiten a sus usuarios acceder a información y recursos en tiempo real sin necesidad de estar físicamente conectados a un servidor o un punto de red como se lo muestra en la figura. 1.1.

Las redes inalámbricas, por sí mismas, permiten la movilidad y elimina la necesidad de usar cables, además añade flexibilidad a la red, lo más importante incrementa la productividad y eficiencia a las empresas que usan este servicio. Un usuario dentro de una red Inalámbrica puede transmitir y recibir voz, datos y vídeo dentro de los lugares de cobertura como hoteles, edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades superiores a 11 Mbps.

Las nuevas posibilidades que ofrecen las redes Inalámbricas son: permitir una fácil incorporación de nuevos usuarios a la red, ofrecer una alternativa de bajo costo a los sistemas cableados, además de la posibilidad para acceder a cualquier base de datos o cualquier aplicación localizada dentro de la red.

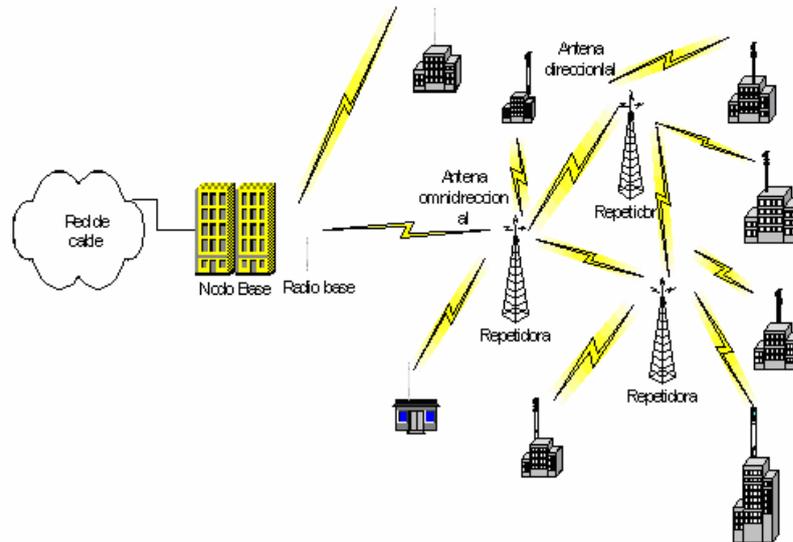


Figura. 1.1 Estructura de una Red Inalámbrica

1.2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético tiene un amplio rango de frecuencias, las mismas que en el transcurso de este estudio se utilizarán con mucha frecuencia. En la tabla 1.1 se muestra la clasificación de los rangos de frecuencia del espectro radioeléctrico¹. [1]

Tabla. 1.1. Rangos de frecuencia del espectro radioeléctrico

RANGO DE FRECUENCIA	DESIGNACIÓN
30-300 Hz	<i>ELF (Frecuencias extremadamente bajas)</i>
0.3-3 KHz	<i>VF (Frecuencias de voz)</i>
3-30 KHz	<i>VLF (Frecuencias muy bajas)</i>
30-300 KHz	<i>LF (Frecuencias bajas)</i>
0.3-3 MHz	<i>MF (Frecuencias medias)</i>
3-30 MHz	<i>HF (Frecuencias altas)</i>
30-300 MHz	<i>VHF (Frecuencias muy altas)</i>
0.3-3 GHz	<i>UHF (Frecuencias ultra altas)</i>
3-30 GHz	<i>SHF (Frecuencias súper altas)</i>
30-300 GHz	<i>EHF (Frecuencias extremadamente altas)</i>
0.3-300 THz	<i>Luz infrarroja</i>
0.3-3 PHz	<i>Luz Visible</i>
3-30 PHz	<i>Luz ultravioleta</i>
30-300 PHz	<i>Rayos x</i>
0.3-3 Ehz	<i>Rayos gama</i>
3-30 Ehz	<i>Rayos cósmicos</i>

¹ [1] <http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/frecuencias.php>

La propagación que se hacen por radio depende de la frecuencia; para las frecuencias menores a 30 MHz el modo de propagación es por medio de la atmósfera y por la tierra, este medio de propagación es usado por radios marítimas, telegrafía y tráfico telex. La tasa de transmisión en este rango de frecuencia es limitado, solo puede transmitir decenas o centenas de bits por segundo.

Las frecuencias por encima de 30 MHz son muy altas para ser reflejadas en la atmósfera, estas son usadas para difusión televisiva y telefonía móvil. Las frecuencias superiores a 3 GHz (SHF) se ven afectadas por las atenuaciones que son causadas por edificios, árboles y obstáculos que se interpongan entre el transmisor y receptor, por lo que en este rango de frecuencias se requiere tener línea de vista (LOS).

1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Es prácticamente imposible sintetizar en una gráfica, la cantidad de tecnologías existentes, sus prestaciones y posible evolución de las redes inalámbricas. Sin embargo para tener una idea del posicionamiento de cada una de ellas ante dos parámetros como el alcance y la tasa de transferencia que puede lograrse podemos basarnos en la figura. 1.2.²
[2] [3]

² [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/WiFi>, [3] <http://observatorio.red.es/gaptel/>

Tasa de transferencia

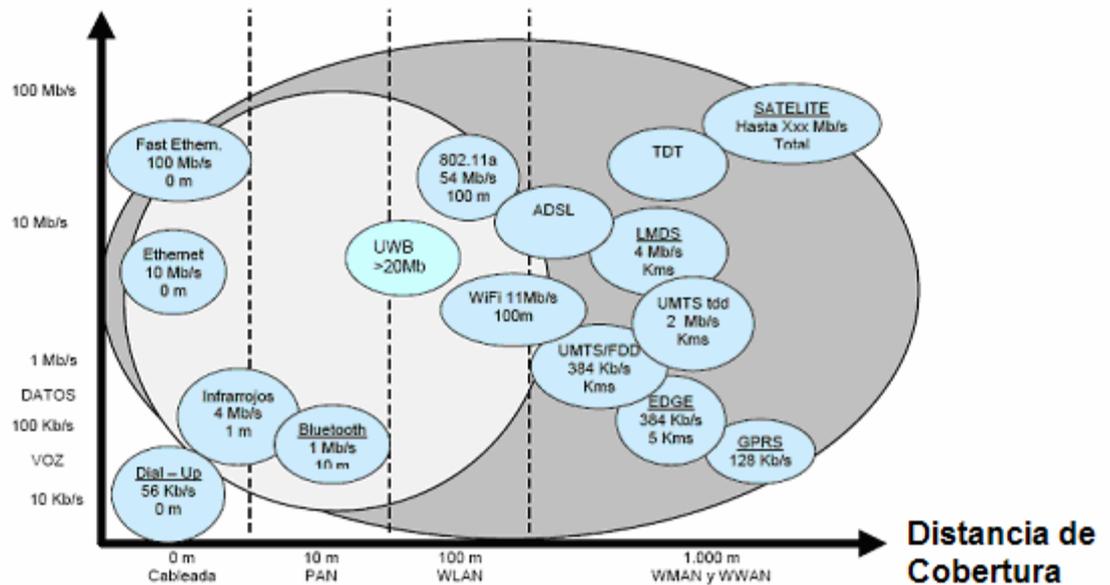


Figura. 1.2. Redes inalámbricas respecto a la tecnología de acceso

Las redes inalámbricas se clasifican por su alcance, cobertura y servicios que prestan al usuario en:

- Redes Cableadas
- Redes de Área Personal (PAN)
- Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)
- Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN)
- Redes Inalámbricas de Cobertura Mundial (WWAN)

1.3.1. Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

La Red WPAN (*Red Inalámbrica Personal*) constituye el primer paso en la escala de redes en términos de extensión. Las tecnologías WPAN permiten a los usuarios establecer comunicaciones inalámbricas *ad-hoc* para dispositivos (*PDA's, teléfonos celulares y equipos portátiles*) que se utilizan dentro de un POS (*Espacio Operativo Personal*).

Un POS es el espacio que rodea a una persona, hasta una distancia de 10 metros. El objetivo principal de éste estándar 802.15 es tener baja complejidad, bajo consumo de energía e interoperabilidad con redes del protocolo 802.11.

1.3.1.1. Características Generales de WPAN

Una red WPAN tiene una infraestructura de comunicación de corto alcance, soporta comunicaciones en áreas personales a 10 metros alrededor del usuario.

Como complemento al primer miembro de esta familia 802.15 se están desarrollando estándares que permiten transmisiones de gran cantidad de datos (*incluso video en tiempo real*), como son WiMedia (802.15.3) o UWB (*UltraWide Band 802.15.3a*) y ZigBee, este ultimo que no pretenden maximizar la capacidad de transmisión sino otros aspectos como el consumo de potencia o el costo.

En este contexto se presenta un escenario de una futura generación WPAN (*Next Generation WPAN, NG-WPAN*), fundamentada en la fuerte unión entre la tecnología de Internet, basada en el protocolo IPv6 y las nuevas infraestructuras WPAN, que reemplazarán lo que se conoce como la primera generación de la tecnología WPAN, representada por Bluetooth.³ [4]

Los futuros escenarios de aplicaciones de NG-WPAN:

- Servicios personales:
 - En el hogar
 - Entorno hospitalario
- Servicios de negocios:
- Gestión de flotas
- Entretenimiento/Ocio:
 - Juegos
 - Aplicaciones de vídeo de alta velocidad en vehículos.

³ IRASTORZA, J.A, “Departamento de Ingeniería de Comunicaciones ETSII y Telecomunicación”, Universidad de Cantabria, 3-09-2005 Santander-España [4]

1.3.1.2. Ventajas de WPAN respecto a WLAN

En contraste, con la tecnología WLAN (*Red Inalámbrica de área Local*), la tecnología WPAN tienen las siguientes ventajas:

- Consumen menos cantidad de energía debido a que operan enlazado terminales en distancias cortas respecto a WLAN.
- Simplifica la sincronización de datos, la impresión y distribución de archivos entre dispositivos y periféricos mediante la eliminación de cables y conexiones físicas.
- Se puede transferir información rápida y fácilmente entre su PC móvil y otros dispositivos personales, mejorando así la productividad y la eficacia en el área de trabajo.

1.3.1.3. Desventajas de WPAN

- El área de cobertura de WPAN es 10 veces menor respecto a WLAN
- La tasa de transferencia de WPAN es baja respecto a la tasa de transferencia de WLAN

1.3.1.4. Facilidades de uso de WPAN

Las redes WPAN permiten una fácil conexión y uso debido a que trabaja sin cables. La conectividad de los equipos dentro del área de cobertura es de vital importancia ya que permite la movilidad de los equipos sin perder la conexión de los mismos, esta característica facilita al usuario el uso de los equipos inalámbricos como se lo muestra en la figura. 1.3.

una banda de uso común que se puede usar para aplicaciones ISM (*Medico-Científico-Internacional*) y que no necesita licencia. (figura. 1.4)⁵ [5] [6]



Figura. 1.4. Símbolo del estándar Bluetooth

Velocidad de Transmisión

Bluetooth puede transferir datos de forma asimétrica a 721 Kbps y simétricamente a 432 Kbps. Se puede transmitir voz, datos e incluso vídeo ya que este tipo de transmisiones son full-duplex⁶.

Distancia de cobertura

El perímetro máximo de cobertura es de 10 metros con 1 mW y 100 metros con 100 mW de potencia de transmisión.

Servicio mundial

La tecnología Bluetooth está disponible en todo el mundo y opera en la banda ISM⁷ y solo con algunas variaciones de ancho de banda en países como Francia, España y Japón.

⁵ [5] <http://developer.intel.com/technology/itj/archive/2000.htm>, [6] <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>

⁶ Puede transmitir y recibir información al mismo tiempo

⁷ Grupo de bandas de frecuencia originariamente destinadas a propósitos diferentes a la comunicación que no requieren autorización.

Transmisión de datos y voz

Para la transmisión de datos y voz se aplica la técnica del salto de frecuencia aplicada a una alta velocidad y una corta longitud de los paquetes (*1600 saltos/segundo*).

Consumo de energía

La tecnología Bluetooth se ha diseñado para conservar la duración de la batería. Esto sucede al cambiar automáticamente al modo de bajo consumo cuando el tráfico de datos se reduce o se para.

Estructura de Bluetooth

Bluetooth funciona en una topología de varias piconets⁸, con las que se puede obtener conexiones punto a punto y punto a multipunto. Cada Piconet tiene una capacidad máxima de 721 Kbps. Su estructura se basa en 1 maestro y 7 esclavos como se lo muestra en la figura. 1.5.

Estados Operacionales

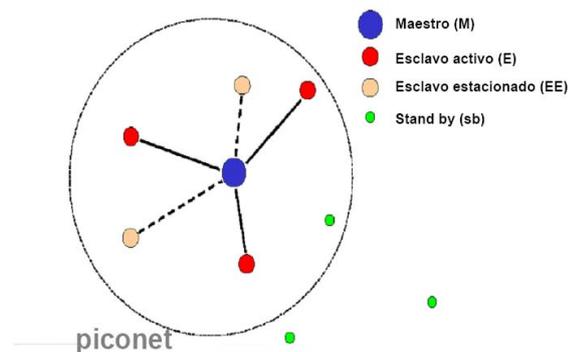


Figura. 1.5. Piconets y sus estados operacionales

El maestro fija el patrón de salto de frecuencias y da las señales de reloj para que el resto de dispositivos se sincronicen con él.

⁸ Redes de corto alcance formada por mínimo 2 y máximo 8 unidades o equipos activos que comparten un canal

La estructura de Bluetooth se basa en un *maestro* y un *esclavo* como se muestra en la figura. 1.6. El maestro fija el patrón de salto de frecuencias y da las señales de reloj para que el resto de dispositivos se sincronicen con el maestro.

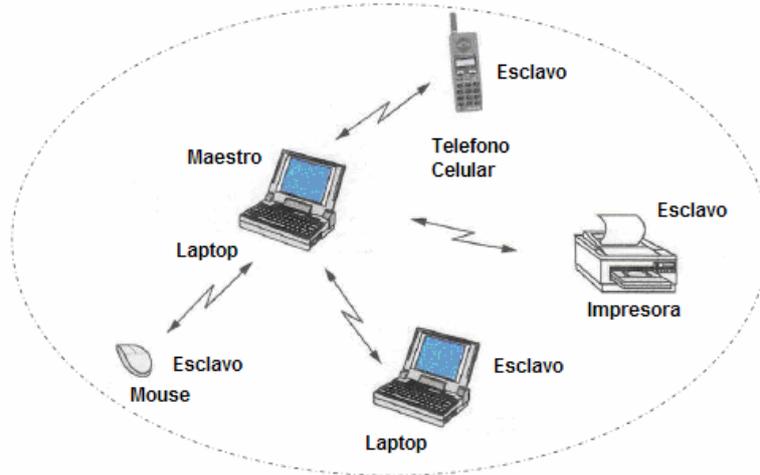


Figura. 1.6. Estructura maestro esclavo

Los Scatternets⁹ tienen múltiples Piconets los mismos que tienen cubrimiento sobrelapado. Además es un dispositivo que puede ser maestro y esclavo al mismo tiempo, los radios son simétricos para el maestro y esclavo, esta definición se la indica en la figura. 1.7.

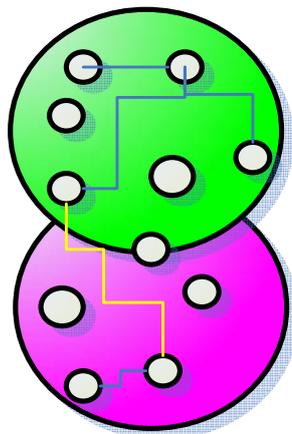


Figura. 1.7. Esquema del Scatternets

⁹ Estructura compuesta por varios Piconets

Aplicaciones de Bluetooth

Las aplicaciones de Bluetooth no tienen límite. La primera generación está orientada a la gente de negocios, pero ahora los campos de aplicación se han abierto. Algunas aplicaciones novedosas son:

- En el hogar: un sistema para controlar la calefacción y la ventilación de la casa.
- En la oficina: sustituir los cables del teclado y ratón, teléfono-auricular, etc., por dispositivos inalámbricos Bluetooth.

Ventajas de Bluetooth

Entre las principales ventajas de la tecnología Bluetooth se destacan las siguientes:

- Facilidad de instalación, utilización y conexión rápida.
- Puede conectar diferentes dispositivos simultáneamente y transmitir voz y datos fácilmente.
- Permite controlar signos vitales, frecuencia cardíaca, presión arterial, temperatura.
- Bajo costo y bajo consumo de potencia (97% menos que un teléfono celular).
- Dispositivo de tamaño reducido.
- Se puede propagar a través de objetos y distintos materiales, es decir, no requiere línea de vista directa entre los dispositivos.
- La banda de 2.5 GHz es de uso gratuito
- Alto grado de interoperabilidad
 - Permite trabajar entre aplicaciones alojadas en diferentes dispositivos equipados con un módulo de comunicación Bluetooth.
 - La interoperabilidad se consigue gracias a la pila de protocolos Bluetooth.

Desventajas de Bluetooth

- El uso de equipos con Bluetooth no se extendió efectivamente por el mundo.

- Su baja tasa de transmisión causa problemas sobre su capacidad de competencia con otros sistemas en el mercado.

Además Existe una probabilidad, aunque remota, de interferencia entre:

- Dos redes Bluetooth próximas que estén transmitiendo por ejemplo:
 - Una red Bluetooth y una 802.11 con FHSS (*Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia*) y DSSS (*Espectro Espaciado de Secuencia Directa*) a 2.4 GHz,
 - Una red Bluetooth y un horno de microondas

Facilidades de Uso

- Fácil de implementar ya que no necesita de cableado.
- La mayoría de dispositivos vienen con chips que permiten inter-conectividad entre ellos.

Seguridad de Bluetooth

Este sistema tiene múltiples interferencias, estas pueden ser evitadas utilizando un Sistema Expandido por Salto de Frecuencia (FHSS), es el proceso de modulación que expande el espectro. (Figura. 1.8)

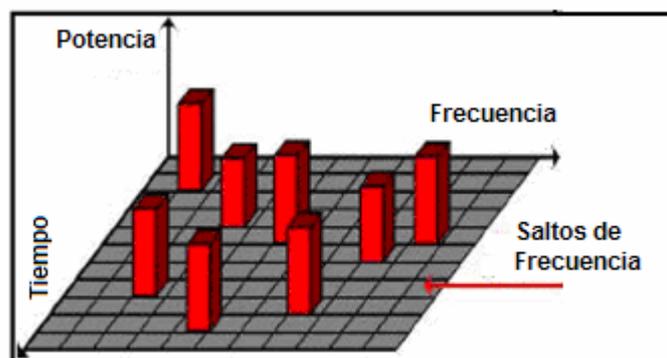


Figura.1.8. Espectro Expandido por salto de Frecuencia

Los paquetes de datos están protegidos por un esquema ARQ (*Automatic Repeat Request*), en el cual los paquetes perdidos son automáticamente retransmitidos.¹⁰ [7]

UWB (Ultra Wide Band) IEEE 802.15.3a

Características generales

Esta tecnología funciona a través de un rango muy extenso de frecuencias, al contrario que el resto de tecnologías inalámbricas que funciona con espectros de frecuencia de banda estrecha. Este estándar opera entre 3.1 a 10.6 GHz, lo que permite transmitir gran cantidad de datos, video en tiempo real, video conferencias etc. Trabaja a niveles de potencia muy baja, por tanto el consumo de energía que presenta UWB es menor en comparación al de Bluetooth pero alto respecto a ZigBee.

Velocidad de transmisión

Tolerar velocidades mayores a 110 Mbps a distancias similares soportadas por Bluetooth (*10 m*) y transferencias mayores a 480 Mbps entre dispositivos cercanos.

Distancia de cobertura

Estos sistemas transmiten una señal con una densidad de potencia muy baja (*aproximadamente -55 dBm/MHz*) alcanzando distancia de algunos kilómetros.

Servicio mundial

Actualmente, los radios de UWB son legales sólo en EE.UU. la corporación Intel está trabajando con empresas de todo el mundo para obtener autorización normativa en otras jurisdicciones.

¹⁰ [7] BURGOS, Raúl, “Red Inalámbrica Experimental 802.11b”, Universidad de La Frontera-Temuco.

Ventajas de UWB

- Mayor capacidad de transmisión que WiFi, Bluetooth y ZigBee.
- Esta tecnología UWB dispone de un ancho de banda suficiente como para permitir transportar señales de audio, video e incluso transmisiones por cable simultáneamente con voz y datos.

Desventajas de UWB

- Es posible que exista interferencias con la televisión digital por satélite y los sistemas GPS (*Sistema de Posicionamiento Global*).
- La potencia de transmisión está muy limitada.

Funcionamiento de UWB

Como todo sistema Inalámbrico las facilidades de uso que UWB presta al usuario son muy amigables y fáciles de manejar.

ZigBee IEEE 802.15.4

Características Generales

El estándar IEEE 802.15.4 fue creado para cubrir la necesidad del mercado de estándares inalámbricos de baja tasa de transmisión, para aplicaciones en redes de sensores. El objetivo es que un sensor equipado con esta tecnología pueda ser alimentado con dos pilas doble AA un periodo de entre seis meses y dos años, aunque en la práctica se ha verificado que se podrán conseguir casi cinco años de duración en las aplicaciones de seguridad.

Este estándar asegura la transmisión de pequeños flujos de datos con un mínimo consumo de energía mediante el uso de algoritmos de CSMA/CA (*Control de Acceso al*

Medio). Este algoritmo CSMA/CA indica a un nodo que puede transmitir, si este nodo no desea transmitir puede apagarse. La sincronización permite que varios nodos puedan transmitir al mismo tiempo, reduciendo las colisiones, intentos de retransmisión, etc.

Velocidad de transmisión

Puede funcionar en la banda de 2.4 GHz a una tasa de 250 Kbps, en la de 868 MHz a 40 Kbps (*Europa*) y en la de 915 MHz a 20 Kbps (*Estados Unidos*) como se lo muestra en la Tabla. 1.2.

Tabla. 1.2. Frecuencias, tasa de transmisión y número de canales de ZigBee

Frecuencia	Banda	Lugar de uso	Tasa de Datos (Kbps)	# de canales
2.4 GHz	ISM	Todo el mundo	250	16
868 MHz		Europa	20	1
915 MHz	ISM	América	40	10

Distancia de cobertura

La distancia de cobertura de este sistema oscila entre los 10 hasta 75 m con velocidades que dependen del lugar donde se este aplicando este sistema ya que si se lo aplica en Europa la tasa de transferencia de los datos será de 20 Kbps mientras que en América será de 40 Kbps. (Tabla. 1.2)

Servicio mundial

Este estándar trabaja mundialmente en la banda ISM con 2.4 GHz, en Europa con 868 MHz y en América con 915 MHz (ver tabla. 1.2).

Estructura de ZigBee

La topología ZigBee cuenta con tres tipos de nodos, RFD (*Reduced Function Device*), FFD (*Full Function Device*) y el controlador de la red (ver figura. 1.9.) Cada nodo representará una función específica dependiendo de la topología de la red. El estándar cuenta con dos tipos de topología, en estrella los enlaces rojos y punto a punto enlaces azules como se lo muestra en la figura. 1.9.

Si el área de cobertura es muy amplia se debe aplicar una topología punto a punto, mientras que si lo que se requiere es un control constante de los dispositivos (*por ejemplo, control de periféricos*), se suele optar por un diseño en estrella.

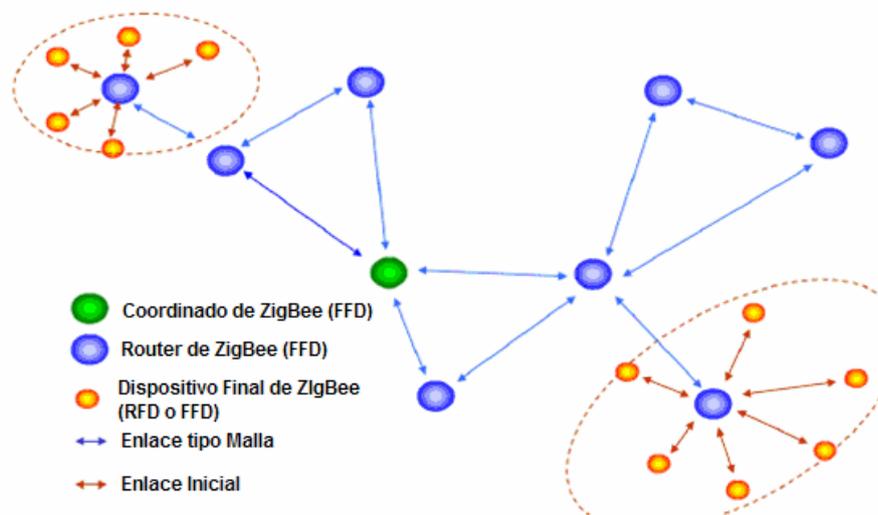


Figura. 1.9. Topología punto a punto y estrella

Topología en estrella

En esta topología todos los nodos están coordinados por un nodo FFD que se denomina PAN coordinador (*Personal Area Network Coordinator*) que controla el acceso al medio. El resto de dispositivos son RFD.

Topología punto a punto

No hay mecanismo de señalización, por lo que se establece una situación de lucha por el acceso al medio. Todos los nodos son FFD y necesitan de un protocolo de arbitraje.

Aplicaciones de ZigBee

- Seguridad, control de temperatura, control de luces
- Monitoreo de pacientes en el control de estado físico
- Control de clima, predicción de terremotos, control de temperatura.
- Redes estática, redes escalables, redes con muchos dispositivos, redes con pocos requisitos de ancho de banda y dónde se requiera una duración muy prolongada de la batería.

Ventajas de ZigBee

- Bajo consumo de potencia
- Equipos en el mercado compatibles con otros estándares
- Equipos más barato que Bluetooth con mayor cobertura y configuración sencilla
- Su tiempo de respuesta es menor al de Bluetooth (*15 ns*)

Desventajas de ZigBee

- Baja tasa de transmisión por lo que no se puede transmitir gran cantidad de información

1.3.2. Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)

La expresión WiFi (*Wireless Fidelity*) se utiliza como denominación genérica para los productos que incorporan cualquier variante de la tecnología inalámbrica 802.11, que permite la creación de redes inalámbricas conocidas como WLAN (*Wireless Local Area Net Works*). Con el fin de evitar confusiones en la compatibilidad de los aparatos y la interoperabilidad de las redes, el término WiFi se extendió a todos los aparatos provistos con tecnología 802.11: 802.11a, 802.11b, 802.11g.

1.3.2.1. Características Generales

Las redes WLAN permiten que estaciones de trabajo puedan comunicarse entre sí usando propagación de ondas de radio o de IR (*Espectro Infrarrojo*) como medio de transmisión. La unidad básica de una WLAN constituye la *celda*.

Las celdas inalámbricas pueden ser extendidas a través de enlaces inalámbricos en cascada implementando técnicas de *roaming*¹¹ y distribución de carga cuando existe solapamiento. Es aplicada en hot-spots (*puntos calientes*), una planta, un edificio, un campus o incluso para una pequeña población.

1.3.2.2. Distancia de cobertura

La cobertura de un AP (*Punto de Acceso*¹²) está entre los 50 y los 100 metros (indoor¹³). Si en los enrutadores se utilizan antenas externas (outdoor¹⁴) la cobertura puede llegar hasta 10 Km. en conexiones punto a punto (*con tarjetas de 30 mW*) y con condiciones de línea de vista directa (LOS).

¹¹ Situación que se produce cuando una estación móvil se desplaza fuera de su zona de llamada.

¹² Equipo que sirve de puente entre la red inalámbrica y la red cableada

¹³ Porción interna de un sistema de comunicaciones. Generalmente incluye el módem y a veces la fuente de alimentación.

¹⁴ Parte de un sistema de comunicaciones expuesta a la intemperie. Generalmente incluye la antena y la sección de RF.

1.3.2.3. Aplicaciones de WLAN

Las aplicaciones típicas de las redes WLAN que podemos encontrar son las siguientes:

- Edificios históricos, de difícil acceso y en entornos donde la solución cableada es inviable.
 - En entornos cambiantes que necesitan una estructura de red flexible que se adapte a cambios.
- En hospitales, fábricas, almacenes, donde el usuario requiere tener acceso a la información mientras están en movimiento.

1.3.2.4. Estructura de WLAN

La estructura de WLAN se puede dividir en dos grandes grupos:

- Redes P2P (Peer to Peer)
- Redes que utilizan AP.

Conexiones Peer to Peer

Conocidas como redes *ad-hoc*¹⁵, es la configuración más sencilla, ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con los correspondientes adaptadores (*transmisor, receptor, Tarjetas de Interfase de Red*) para comunicaciones inalámbricas que se encuentren dentro del rango de cobertura de la señal, en la figura 1.10, se muestra un ejemplo de este tipo de conexión.

¹⁵ Tipo de red inalámbrica donde cada estación puede comunicarse con cualquier otra directamente. Contrasta con el modo de Infraestructura, donde todas las comunicaciones se cursan a través de un Access Point o punto de acceso.

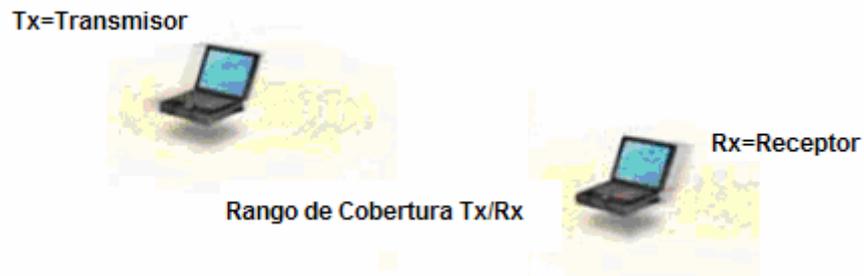


Figura. 1.10. Conexión P2P

Configuración por Punto de Acceso (AP).

Utiliza el *concepto de celda*¹⁶. Los puntos de acceso funcionan como repetidores, por tanto son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica. Un solo punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros, en la figura. 1.11 se muestra la arquitectura de este tipo de conexión.



Figura. 1.11. Punto de acceso

Un punto de acceso permite tener las características de *roaming*, es decir que los terminales puedan moverse sin perder la cobertura y sin sufrir cortes en la comunicación.

¹⁶ Área en el que una señal radioeléctrica es efectiva

Esta representa una de las características más interesantes de las redes inalámbricas y se la muestra en la figura. 1.12.

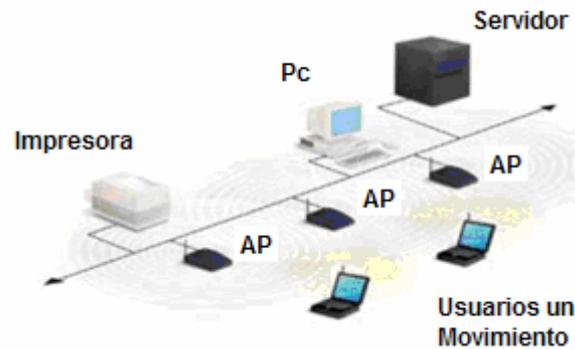


Figura. 1.12. Terminales con capacidad de roaming

1.3.2.5. Ventajas de WLAN

- El costo es menor respecto a las redes cableadas
- Facilidad al momento de la instalación
- Mayor distancia de cobertura al utilizar ondas electromagnéticas para transmitir y recibir datos a través del medio radioeléctrico. [Figura. 1.11.]
- Gran disponibilidad en el mercado de tarjetas, software y drivers los mismos que permiten la interoperabilidad entre productos que cumplan con el estándar WiFi.
- Flexibilidad, versatilidad gracias a la reducción de las conexiones entre cables como se lo puede ver en la figura. 1.12.

1.3.2.6. Desventajas de WLAN

- Están expuestas a interferencias.
- Poca movilidad.
- Tasa de transferencia menor a una red cableada.

1.3.2.7. Facilidades de uso de WLAN

La existencia en el mercado de una NIC (*Tarjeta de Interfase de Red*), AP, controladores de los AP, permiten interconectarse de forma barata y sencilla dando origen a una gran variedad de aplicaciones que sobrepasan ampliamente el ámbito de utilización en entornos empresariales para el que nacieron las WLAN.

1.3.2.8. Seguridad de WLAN

Este sistema incluye dos aspectos básicos: autenticación y privacidad. La seguridad de los datos se realiza por una compleja técnica de codificación, conocida como WEP (*Wired Equivalent Privacy Algorithm*) esta técnica se basa en proteger los datos transmitidos en el medio RF (*Radio Frecuencia*), usando una clave de 64 bits y el algoritmo de encriptación *RC4*¹⁷.

1.3.2.9. Estándares de WLAN

Se han echo modificaciones en cada estándar, estos cambios se los han hecho de acuerdo a las necesidades del subscriptor; dando paso a cambios en equipos y software en cada estándar, los mismo que se detallan a continuación.

Estándar IEEE 802.11

Características generales de 802.11

Trabaja sobre la banda ISM de 2.400 MHz a 2.4835 MHz y utiliza dos tipos de modulación: DSSS (*Espectro Ensanchado por Secuencia Pseudoaleatoria*) y FHSS (*Frequency Hopped Spread Spectrum*). Este estándar está prácticamente en desuso, debido a la aparición de una serie de variantes que mejoran no sólo la velocidad de transferencia,

¹⁷ Técnica de encriptación asimétrica, está basada en la suposición de que la factorización del producto de dos número primos grandes es computacionalmente difícil.

sino que además dan cobertura con funciones especiales de seguridad, de integración con redes de cable.¹⁸[8] [9]

Velocidad de transmisión de 802.11

La velocidad de transmisión que es capaz de alcanzar está entre 1 a 2 Mbps, dependiendo del fabricante del equipo de transmisión.

Distancia de cobertura de 802.11

La distancia de cobertura es limitada, 1-10 m, similares a la cobertura que ofrece Bluetooth.

IEEE 802.11b

Características generales de 802.11b

Este es el estándar que más popularidad tiene en las redes inalámbricas. Es la evolución natural del anterior estándar. Básicamente, se diferencian en el uso exclusivo de la modulación DSSS (*Espectro Ensanchado por Secuencia Pseudoaleatoria*) con el sistema de codificación CCK (*Complementary Code Keying*), este tipo de codificación (CCK) sólo funciona con la modulación (DSSS).

Velocidad de transmisión de 802.11b

Las velocidades de transmisión puede variar entre 1.2, 5.5, y 11 Mbps, dependiendo del *protocolo de transmisión*¹⁹. La característica denominada DRS (*Dynamic Rate Shifting*) permite a los adaptadores de red inalámbricos reducir la velocidad y compensar en los posibles problemas de recepción que se pueden generar por las distancias o los materiales que es necesario atravesar (*paredes, tabiques, etc.*).

¹⁸ [8] <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>; [9] <http://smartconvergence.blogspot.com/>

¹⁹ La velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5.9 Mbps sobre TCP y 7.1 Mbps sobre UDP.

Distancia de cobertura de 802.11b

En cuanto a las distancias a cubrir, dependerá de la velocidad que se implemente, número de usuarios conectados, tipo de antenas y amplificadores que se puedan utilizar, estas características se las muestra en la tabla. 1.3.

Tabla. 1.3. Cobertura y Velocidad de transmisión del estándar 802.11b

	Distancia (m)	Velocidad (Mbps)	
Indoor	30	11	La velocidad depende del material que tiene que atravesar
	90	1	
Outdoor	120	11	
	460	1	

IEEE 802.11a

Características generales de 802.11a

Es también una evolución del 802.11, presenta como diferencia fundamental su funcionamiento en Estados Unidos sobre la banda de frecuencia de 5 GHz (5.75 a 5.785 GHz). En el caso de Europa, existe un ancho de banda total disponible de 455 MHz, dividido en dos bloques de 5.15 a 5.35 GHz y de 5.470 a 5.725 GHz, utilizando la técnica de modulación de radio OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Como medida de seguridad aplica el algoritmo de Cifrado Web.

Velocidad de Transmisión de 802.11a

Esta técnica OFDM permite dividir una portadora de datos de alta velocidad en 52 subportadoras de baja velocidad que se transmiten en paralelo. La consecuencia inmediata de todo esto es un aumento considerable en la velocidad de transmisión, llegando hasta los 54 Mbps con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbps. La velocidad de

transmisión de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbps dependiendo de la necesidad del usuario.

Distancia de cobertura de 802.11a

Las distancias de cobertura se ven reducidas significativamente dependiendo del sector donde se ubique el transmisor y receptor ya sea indoor u outdoor, la tabla 1.4 indica las características de cobertura.

Tabla. 1.4. Cobertura del estándar 802.11a

	Distancia (m)	Velocidad (Mbps)
Indoor	12	54
	90	6
Outdoor	30	54
	300	6

Aplicaciones de 802.11a

Este estándar permite trabajar con requerimientos de elevados ancho de banda:

- Aplicaciones en multimedia.
- Gran cantidad de ficheros.
- Videoconferencia.

Ventajas del estándar IEEE 802.11a

- Incremento en la velocidad de transmisión
- Puede trabajar en un mayor rango de frecuencias.

Desventajas de IEEE 802.11a

- Falta de compatibilidad con 802.11b debido al cambio de frecuencia.

- Cobertura limitada por lo que es más costosa ya que necesita ubicar mayor cantidad de AP por tanto consume mayor cantidad de energía.
- Uso restringido de los equipos 802.11a para aplicaciones con línea de vista

IEEE 802.11g

Características generales de 802.11g

A mediados del año 2003 se aprobó un nuevo estándar, el 802.11g, que se basa en la norma 802.11b. Trabaja sobre la misma frecuencia de los 2.4 GHz y es capaz de utilizar dos métodos de modulación (*DSSS* y *OFDM*), lo que la hace compatible con el *estándar de facto*²⁰ en esta industria. Como sistema de seguridad utiliza ACL's (*Lista de Control de Acceso*), ESSID cloacking (*Service Set Identifier*), fack ESSID.

Velocidad de transmisión de 802.11g

Al soportar ambas codificaciones, este nuevo estándar será capaz de incrementar notablemente la velocidad de transmisión, pudiendo llegar hasta los 54 Mbps teóricos y cerca de 24.7 Mbps de velocidad real de transferencia.

Distancia de cobertura de 802.11g

Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50 Km. con antenas parabólicas apropiadas.

Ventajas de IEEE 802.16g

- Incremento en la velocidad de transmisión a 54 Mbps
- Compatible con el estándar 802.11b y utiliza las mismas frecuencias

²⁰ Patrón o norma que se caracteriza por no haber sido consensuada ni legitimada por un organismo de estandarización al efecto. Por el contrario, se trata de una norma generalmente aceptada y ampliamente utilizada por iniciativa propia de un gran número de interesados

Desventajas de IEEE 802.16g

- La presencia de nodos bajo el estándar 802.11b reduce significativamente la velocidad de transmisión. .

IEEE 802.11e

Se podría definir como la implementación de características de QoS y multimedia para las redes **802.11b** que permite mejorar la capacidad y eficiencia de este protocolo. Esta especificación, que está haciendo el IEEE será aplicable tanto a 802.11b como a 802.11a. Este protocolo incluye envío de voz, audio video sobre redes inalámbricas 802.11, video conferencias, este tráfico es en tiempo real en todo entorno y situación; en este estándar se mejora las aplicaciones de seguridad.

El objetivo del nuevo estándar 802.11e es introducir nuevos mecanismos a nivel de capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de Calidad de Servicio.

Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (*HCF*) con dos tipos de acceso:

- (EDCA) Enhanced Distributed Channel Access.
- (HCCA) Controlled Channel Access.

IEEE 802.11f

Básicamente, es una especificación que funciona bajo el estándar 802.11g y que se aplica a la intercomunicación entre puntos de acceso de distintos fabricantes, permitiendo que haya *roaming*.

IEEE 802.11h

Una evolución del **IEEE 802.11a** que permite asignación dinámica de canales y control automático de potencia para minimizar los efectos de posibles interferencias.

IEEE 802.11i

Este estándar permite incorporar mecanismos de seguridad para redes inalámbricas, ofrece una solución inter operable y un patrón robusto para asegurar datos.

IEEE 802.11n

“En enero de 2004, la IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 (Tgn) para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. la velocidad real de transmisión podría llegar a los 500 Mbps (*lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores*), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y cerca de 40 veces más rápida que una red bajo el estándar 802.11b. También se espera que el alcance de operación de las redes sea mayor con este nuevo estándar.

No obstante ya hay dispositivos que se han adelantado al protocolo y ofrecen de forma no oficial éste estándar (con la promesa de actualizaciones para cumplir el estándar cuando el definitivo esté implantado). Permitirá mayores velocidades, aunque la mayoría de los usuarios no notarán la diferencia entre una velocidad nominal de 50 Mbps o 300 Mbps, muchas aplicaciones de alta disponibilidad se pueden beneficiar de este nuevo avance. En la figura 1.13 se puede ver los diferentes estándares en relación al tiempo, mostrando su evolución.



Figura. 1.13. Estándares 802.11

HiperLAN/2

Características generales de HiperLAN/2

Este es el nombre que se le ha dado a la nueva generación de la tecnología WLAN desarrollada por ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), un organismo similar al IEEE pero a nivel europeo.

Se trata de un sistema de comunicación inalámbrica basado en ATM²¹ (*Asynchronous Transfer Mode*), similar a UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), pero que incorpora toda una serie de características adicionales como QoS (*Quality of Service*).

²¹Técnica de transmisión estandarizada por la ITU-T basada en celdas de 53 octetos que contienen la información de enrutamiento. Permite unificar la tecnología de transmisión de voz, datos y video y es la base del estándar B-ISDN.

Tabla. 1.5. Tipos de HiperLAN

	Rango (m)	Tasa de Tx (Mbps)	Modo	Radio de Frecuencia (GHz)
T1	50	23	802.11	5
T2	200	23	ATM	5
T3	5000	20	ATM	5
T4	200	155	ATM	27

Esta tecnología opera sobre la banda de frecuencia de los 5 GHz y utiliza el método de modulación OFDM al igual que ocurre con el estándar 802.11a. Existen cuatro tipos de HiperLAN como lo indica la tabla. 1.5.

Velocidad de transmisión de HiperLAN/2

La velocidad de transmisión depende del tipo de HiperLan con la que se este trabajando, puede llegar hasta 155 Mbps (ver tabla. 1.5).

Distancia de cobertura de HiperLAN/2

La distancia de cobertura depende del tipo de HiperLan que se este utilizando, su máxima cobertura es de 5000 m (ver tabla. 1.5)

Ventajas de HiperLAN/2

- Mayor eficiencia en la utilización de los recursos de radio
- Búsqueda automática de la frecuencia a utilizar
- Calidad de servicio (QoS)

Desventajas de HiperLAN/2

- Falta de soporte para Calidad de Servicio (*QoS*) en la Internet comercial hará que el soporte de QoS en las redes de acceso sea irrelevante.

HomeRF

Características generales de HomeRF

HomeRF (*Home RadioFrequency*) está basada en el Protocolo de Acceso Inalámbrico Compartido SWAP (*Shared Wireless Access Protocol*), que define una interfaz inalámbrica diseñada para soportar voz y datos.

Entre las características técnicas añade un subconjunto de estándares DECT²² (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*), para proporcionar los servicios de voz.

Home RF utiliza la misma banda de frecuencia que los estándares 802.11b y 802.11g, pero cuenta con un método de salto de frecuencia (SWAP) para no interferir con conexiones Bluetooth.

Velocidad de transmisión de HomeRF

La velocidad de transmisión es variable de entre 800 Kbps a 1.6 Mbps utilizando la banda de 2.4 GHz, además tiene 75 canales de 1 MHz para la voz. Usa modulación FSK (*Frequency Shift Keying*)

Distancia de cobertura

- Su alcance es alrededor de 50 metros.

Aplicaciones de Home RF

- Identificador de llamadas
- Llamadas en espera
- Respuesta de llamadas
- Intercomunicación en el hogar.

²² Estándar ETSI para telefonía sin hilos. Ha sido modificado para permitir también la transmisión de datos. Originalmente solamente para corta distancia, se puede utilizar también como una tecnología de acceso con alcance de varios km. Utilizado en la India y en Brasil para este propósito.

Actualmente, ya existen en el mercado gamas completas de productos multibanda y multimodo que cumplen con estos estándares y que, al mismo tiempo, facilitan sus prestaciones y permiten mayor flexibilidad e interoperabilidad entre distintas redes.

1.3.3. Red Inalámbrica de Área Metropolitana (WMAN)

Es una red de área extensa sin cables. Cubre una población hasta decenas de kilómetros. El ancho de banda es similar a los de las WLAN Publicado en abril de 2002, admite QoS para video, sonido, etc. Para poder transmitir de un punto a múltiples puntos necesita de una estación base.

1.3.3.1. Características generales

Las redes WiFi permiten la construcción de micro celdas, con áreas de cobertura de un radio inferior a pocas centenas de metros. Considerando esta limitación, el IEEE ha establecido un grupo de trabajo, el IEEE 802.16, para proponer una tecnología inalámbrica de largo alcance para redes WMAN (*Red Inalámbrica de Área Metropolitana*) como se lo muestra en la figura. 1.14.

Se orienta hacia un uso eficiente de frecuencias en las bandas licenciadas entre 10 y 66 GHz y las no licenciadas entre 2 y 11 GHz.



Figura. 1.14. Estructura de una Red WiMAX

1.3.3.2. Velocidad de transmisión

Al utilizar diferentes tipos de modulación adquiere distintas velocidades de transmisión, así al utilizar 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) transmite a una velocidad de 45 Mbps y con 64-QAM transmite a 150 Mbps. “Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias.

Está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 50 kilómetros permitiendo la conexión sin línea vista (*LOS*), es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con una eficiencia espectral de 5.0 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz” [1]

1.3.3.3. Distancia de cobertura

Su rango de cobertura teórico esta cercanos a los 50 Km con LOS, en la práctica son 15 Km.

1.3.3.4. Aplicaciones de WMAN

- Este estándar puede ser usado para la ultima milla, conexiones de banda ancha, conectividad de gran velocidad
- Para las empresas, el costo puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1²³ o T1²⁴.
- Ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas.

1.3.3.5. Ventajas de WMAN

- Interoperabilidad con el estándar 802.11
- Relativo bajo costo de implantación
- Gran alcance, de hasta 50 Km teóricos y 28 Km en la práctica.
- Velocidades de transmisión aceptables que pueden alcanzar los 75 Mbps.
- Trabaja sin línea de vista (NLOS)
- Disponible con criterios de QoS tanto para voz como para video.
- Dependiendo del ancho de banda del canal utilizado, una estación base puede soportar miles de usuarios, netamente superior al WLAN

1.3.3.6. Desventajas de WMAN

- No se puede asumir una completa conectividad

²³ Se refiere a una tasa de transmisión de 2.048 Mbps, capaz de acomodar 32 canales PCM, de los cuales 30 son para voz y 2 para señalización.

²⁴ Utilizada para transmitir una señal digital formateada del tipo DS-1 a una velocidad de 1.544 Mbps.

- Fenómenos como atenuaciones y multitrayectoria deben ser reducidos.
- Impacto en el entorno ambiental de las estaciones base

1.3.3.7. Facilidades de uso de WMAN

- La instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica.

1.3.3.8. Seguridad

La seguridad de este estándar son de profunda importancia, los algoritmos de seguridad más significativos son:

- Autenticación en la BSR (*Estación de Radio Base*) y en la SS (*Estación del Abonado*).
- Autenticación para EAP²⁵ (*Protocolo de Autenticación Extensible*)
- Encriptación de datos por DES (*Estándar de Encriptación de Datos*) y AES²⁶ (*Estándar de Encriptación Avanzado*)

1.4. DIFERENCIAS DE DISEÑO ENTRE EL ESTÁNDAR 802.16 Y ES ESTÁNDAR 802.11.

Las dos tecnologías inalámbricas tienen similitudes e importantes diferencias que son oportunas de conocer para entender sus objetivos. Pero no se debe olvidar el objetivo básico de cada una de ellas: 802.11 es un estándar para redes locales, mientras que 802.16 lo es para redes metropolitanas.²⁷ [10]

²⁵ Protocolo de Autenticación Extensible. Protocolo que soporta múltiples métodos de autenticación.

²⁶ Método de encriptación adoptado por el gobierno de EEUU que supera la robustez del DES.

²⁷ [10] <http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?seccion=&id=256675990>

1.4.1. Tecnología.

Aunque ambas permiten esquemas de conectividad punto a punto y punto a multipunto, la complejidad y posibilidades de difundirse de WiMAX son notablemente superiores. WiFi está orientada a micro celdas de centenas de metros de cobertura y decenas de usuarios, mientras que en 802.16 son celdas de varios kilómetros que cubren centenas de usuarios: el factor entre ambas es de 1:10. Los anchos de banda de ambas son próximos, entre 50 y 100 Mbps teóricos, con negociación independiente de la velocidad máxima para cada usuario dependiendo de la calidad del canal de comunicación.

1.4.2. Calidad de servicio (QoS)

En donde las diferencias son más notables es en los mecanismos de calidad de servicio. WiFi pronto dispondrá de un estándar (802.11e) para priorización de tráfico, pero WiMAX proporciona un complejo sistema de provisión y gestión de calidad de servicio que permite asignar anchos de banda garantizados y priorización de paquetes.

1.4.3. Movilidad

En lo concerniente a movilidad, ambos estándares la podrían soportar (*WiMAX en el futuro con 802.16e*), aunque en el caso de WiFi las velocidades del terminal tendrían que ser bajas. En ello también influye el tamaño de celda, puesto que con una cobertura de pocos centenas de metros un sujeto móvil estaría constantemente realizando roaming entre estaciones base.

1.4.4. Servicios

Los mecanismos de calidad de servicio de 802.16 marcan la diferencia fundamental. Mediante ellos es posible asignar anchos de banda garantizados y servicios de velocidad binaria fija, hecho clave para poder disfrutar de servicios como la voz sobre IP y la difusión de vídeo y audio. También se puede fijar el ancho de banda consumible por usuario, que en el caso de las redes 802.11 se convierte en una simple pugna por el medio, con la futura posibilidad de priorización de paquetes.

1.4.5. Usos

WiFi se sitúa fundamentalmente en el interior de entornos residenciales y empresariales, con el objetivo de soportar redes locales. Ocasionalmente, dichas redes pueden extenderse por zonas amplias y en exteriores, llegando a configurar pequeñas redes metropolitanas. Los terminales pueden ser tanto fijos como móviles personales, por lo que el consumo debe ser reducido. Su misión habitual es la distribución interior de conectividad entre terminales próximos.

WiMAX se ubica principalmente en exteriores, realizando una distribución de conectividad a empresas y edificios. Los terminales son fijos, aunque en un futuro próximo podrían instalarse en automóviles. La aparición de equipos personales podría retrasarse por los problemas de autonomía de las baterías. Zonas rurales, áreas empresariales y residenciales se presentan como los entornos idóneos de despliegue. Otro de los posibles usos es como un agregado de la conectividad de hotspots.

1.4.6. Regulación.

Las soluciones WiFi se han desarrollado para la utilización de bandas de frecuencia de uso libre. De esta forma se pueden desplegar redes sin necesidad de ningún tipo de

licencias, únicamente respetando las limitaciones impuestas sobre potencia de emisión y frecuencias que se pueden seleccionar.

Las WMAN 802.16 abarcan un vasto espectro, de 2 a 66 GHz, por lo que son susceptibles de empleo tanto en bandas que exigen la necesidad de una licencia específica como en las de libre uso. En el caso más genérico, serán los operadores de telecomunicaciones los que exploten los servicios públicos a los que den lugar y quizás Proveedores de Servicios en Redes Inalámbricas (WISP) habilitados.

1.4.7. Equipos y precios.

Los fabricantes de equipos WiFi han conseguido una reducción de los precios que ha facilitado su rápida popularización, incluso en segmentos tan sensibles como el residencial. Aunque se estima que en pocos años los precios para los terminales WiMAX sean también muy económicos, su complejidad siempre les colocará en un rango ligeramente superior.

En la tabla 1.6 se muestra todas las características, similitudes y diferencias entre estos dos estándares, el 802.16 y el 802.11.]²⁸ [11]

²⁸ [11] KAEN, Luís, Trabajo Final Integrador, 2005, 73 paginas.

Tabla. 1.6. Comparación de tecnologías entre WiMAX y WiFi

	WiMax 802.16a	Wi-Fi 802.11b	Wi-Fi 802.11a/g
Aplicación Primaria	Acceso Inalámbrico de Banda Ancha	LAN Inalámbrico	LAN Inalámbrico
Banda de Frecuencia	Licenciada/No Licenciada 2 – 11 GHz	2.4 GHz ISM	2.4 GHz ISM (g) 5 GHz U-NII (a)
Ancho Banda Canal	Ajustable 1.25 M a 20 Mhz	25 Mhz	20 MHz
Half/Full Duplex	Full	Half	Half
Tecnología de Radio	OFDM (256-canales)	DSSS	OFDM (64-canales)
Eficiencia BW	≤ 5 bps/Hz	≤ 0.44 bps/Hz	≤2.7 bps/Hz
Modulación	BPSK, QPSK, 16-, 64-, 256-QAM	QPSK	BPSK, QPSK, 16-, 64 QAM
FEC	Código Convolutacional Reed Solomon	No	Código Convolutacional
Encriptado	Obligatoria- 3DES Opcional- AES	Opcional- RC4 (AES en 802.11i)	Opcional- RC4 (AES en 802.11i)
Protocolo de Acceso	Requerido/Garantizado	CSMA/CA	CSMA/CA
• Mejor Esfuerzo	Si	Si	
• Prioridad Datos	Si	802.11e WME	802.11e WME
• Retardo Consistente	Si	802.11e WSM	802.11e WSM
Movilidad	WiMax Móvil (802.11e)	En Desarrollo	En Desarrollo
Mesh	Si	Propietario Fabricante	Propietario Fabricante

CAPITULO II

ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

En enero de 2003, el IEEE aprobó el estándar 802.16a, el cual cubre bandas de frecuencias entre 2 GHz y 11 GHz.

Este estándar es una extensión del estándar IEEE 802.16 para 10-66 GHz publicado en abril de 2002. Este subrango de frecuencias en 11 GHz permite el desempeño de enlaces sin línea de vista (NLOS) haciendo al IEEE 802.16a la tecnología apropiada para aplicaciones de última milla donde los obstáculos como árboles y edificios están siempre presentes y en donde las estaciones base pueden necesitar ser montadas sin discreciones; en los techos de viviendas o edificios en vez de torres o montañas.

La configuración más común del estándar 802.16a consiste en una estación base montada en un edificio o torre que comunica en configuración PMP (Punto-Multipunto) a los abonados ubicados en oficinas u hogares. El estándar 802.16a posee un rango de hasta 50 Km teórica con celdas típicas de 8 Km, en la práctica tendrá un rango de cobertura de 28 Km con celdas típicas de 4.5 Km. [11]²⁹

Dentro del radio de celda típico, el desempeño NLOS y *throughput*³⁰ son óptimos. En adición, el estándar 802.16a provee una tecnología inalámbrica ideal para conectar WLAN's 802.11 y *hotspots*³¹ comerciales con la Internet y datos compartidos con

²⁹ [11] KAEN, Luis, Trabajo Final Integrador, 2005, 73 paginas.

³⁰ Una porción de datos transmitidos que contiene información útil y no redundante.

³¹ Puntos donde se concentra gran cantidad de personas que requieren información de la red, universidades, etc.

velocidades de hasta 75 Mbps por cada sector simple de una estación base del estándar 802.16a, el sector es un par simple de radios transmisor-receptor en la estación base, soporta simultáneamente 60 puntos de negocio con una conectividad de 1,544 Mbps (*TI*) y los hogares con conectividad DSL (*Línea de Abonado Digital*), usando canales de 20 Mhz de ancho de banda. WiMAX permite acceder a cualquier lugar como lo muestra la figura 2.1.³²[11]

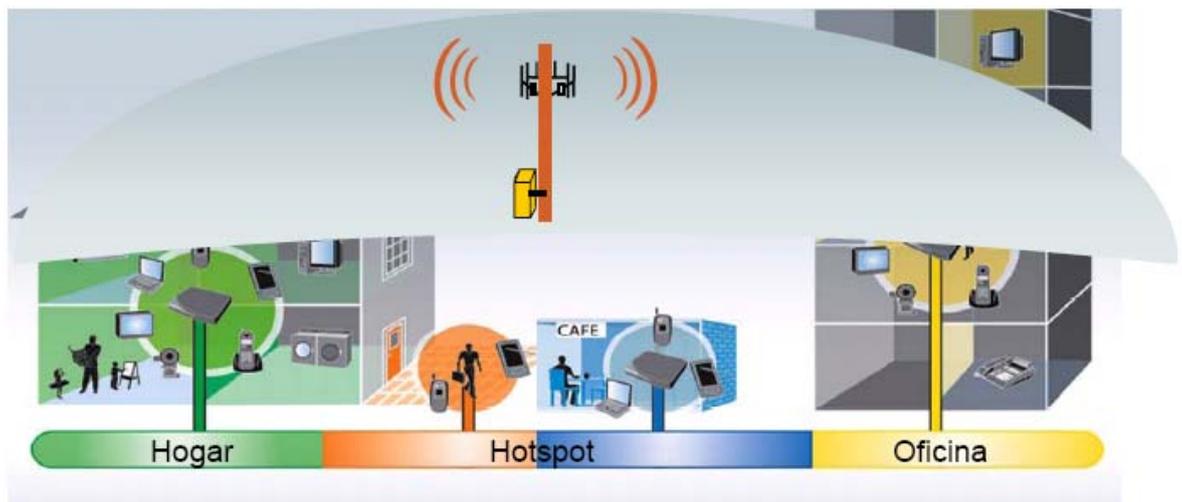


Figura. 2.1. Lugares de acceso

La especificación para el estándar 802.16 también incluye funciones de seguridad robusta y QoS necesaria para soportar servicios que requieren baja latencia como video y voz. El servicio de voz en el estándar 802.16 puede ser por el tradicional Multiplexado por División de Tiempo (*TDM*) o Voz Sobre *IP* (*VoIP*).

El estudio y el diseño de una red WMAN nos permitirá dar un mejor servicio en datos, voz y video a las zonas residenciales, profesionales, PYMES³³, empresariales, multinacionales (ver figura. 2.2.). Este servicio actualmente se está implementando en países desarrollados (*Alemania, Japón, Croacia, New York, etc.*)³⁴[12]

³² [11] KAEN, Luis, Trabajo Final Integrador, 2005, 73 paginas.

³³ Igual a un SME Small and Medium-size Enterprise. PYME Pequeñas y medianas empresas

³⁴[12] PÉREZ, Jorge, "Comunicaciones Móviles e Inalámbricas Tomo1, Red.es, Septiembre del 2005, 73 paginas."

Con el estudio del estándar IEEE 802.16 se podrá dar a conocer la importancia de las comunicaciones inalámbricas y el gran campo que estas están abarcando en el mundo y así se poder superar la *brecha digital*³⁵ que existe con los países desarrollados. Las características que este estándar proporciona son:

- QoS (*Calidad de Servicio*) de alto nivel.
- Equipos robustos y confiables.
- Mayor capacidad de transmisión.
- Mejor uso del espectro de frecuencia.
- Menores costos de infraestructura y el Ingreso Promedio por Usuario (ARPU).

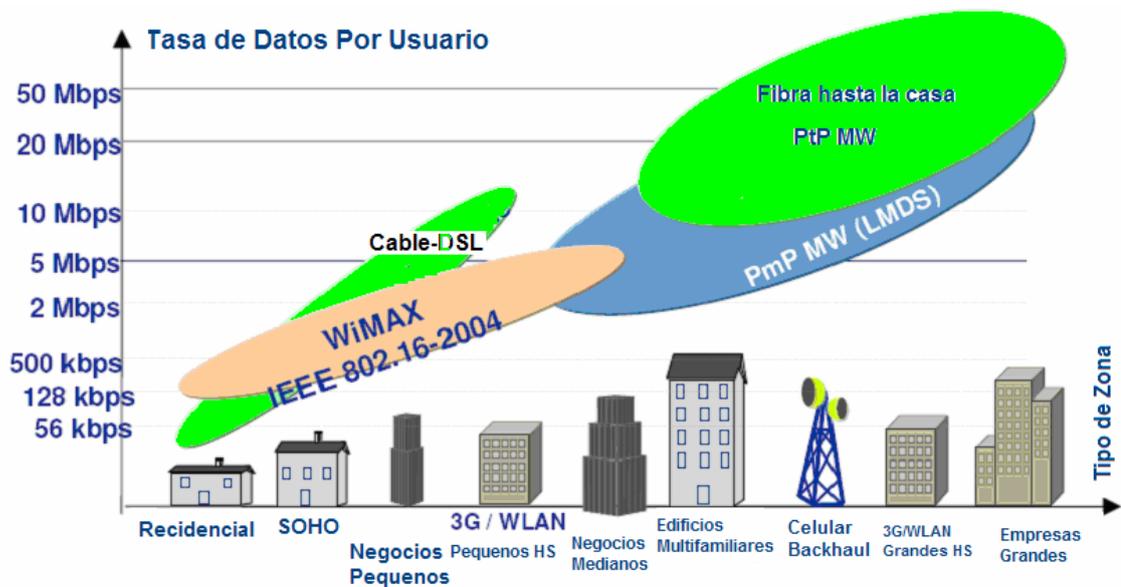


Figura. 2.2. Segmentos del mercado de las Telecomunicaciones

2.2. LA IMPORTANCIA DE USAR EL ESTÁNDAR 802.16

El estándar IEEE 802.16 tiene como objetivo solucionar los inconvenientes que se presentan en la interoperabilidad como son:

³⁵ Es la **diferencia** que se establece entre las personas que utilizan las Tecnologías de la Información rutinariamente en su vida diaria y aquellas que no tienen acceso a las mismas o que, teniéndolo, no saben cómo utilizarlas

- La convergencia de servicios.
- Métodos de acceso.
- Tipos de modulación.

El grupo de trabajo WiMAX está habilitando un despliegue rápido de equipos interoperables, acelerando la comercialización de los sistemas BWA (*Acceso Inalámbrico de Banda Ancha*). De esta manera se van generando necesidades las mismas que se deben satisfacer de manera rápida, eficiente y con un bajo costo.

Las necesidades que se presentan en las diferentes zonas comerciales dentro del diseño de la ciudad de Quito varían dependiendo de lo que se requiera implementar (voz, video o datos) u otros servicios y del lugar geográficamente hablando de donde requieren servicios los usuarios, y es de suma importancia saber diferenciarlas para dar una solución óptima.

Por ejemplo tenemos los siguientes casos:

- Si una compañía tiene grandes edificios extendidos o lo largo de un campus, la cual está dividida por una autopista. Si la compañía desea implementar líneas bajo la autopista para tener comunicación entre las dos zonas divididas, esta opción no es económicamente rentable. La solución sería implementar una celda que permita cubrir estas dos zonas y puedan tener comunicación entre las mismas. Esto se lo puede hacer con el sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004.
- Si una compañía necesita acceder al servicio de fibra óptica, pero el edificio se encuentra distante del anillo de fibra, la instalación les costaría mucho dinero y tomaría por lo menos 6 meses. En este particular un servicio WiMAX con el estándar 802.16-2004 puede satisfacer las necesidades en poco tiempo con menos presupuesto brindaría los mismos servicios que ofrece la fibra óptica.
- El sistema WiMAX con el estándar 802.16-2004 en comparación con los servicios xDSL, MODEM dial-up, líneas T-1, frame relay e ISDN, es extremadamente rápido.

- WiMAX es un sistema que trabaja con un gran ancho de banda, además la instalación y servicios que este proporciona puede ser instalado en pocos días.
- Las características que tiene 802.16-2004 están provocando que este sistema sea el más usado a nivel mundial, a medida que pasa el tiempo y se introduce masivamente en todo el mercado.
- Gracias al gran ancho de banda que este sistema posee puede dar servicios tales como son voz, video y transferencia de datos, todo esto en tiempo real, una característica importante en las telecomunicaciones.

El estándar IEEE 802.16 permite satisfacer las necesidades requeridas por los subscriptores dentro de la zona a realizar el diseño ya que este modelo cuenta con características como:

- Alta calidad de transmisión
- Seguridad
- Movilidad
- Rápida instalación
- Amplia cobertura
- Simplicidad de la Red
- Banda ancha
- Bajo costo de instalación, esto se debe a que su funcionamiento es sin línea de vista (NLOS).

Por estas razones el estándar IEEE 802.16 es la mejor opción a implementar. Este criterio va acompañado de una proyección a futuro tanto en el mercado, tecnología, estándares, bajos costos de manufactura a través de *economías de escala*³⁶, además de su interoperabilidad con otros estándares como se puede ver en la figura. 2.3.

³⁶ Situación en la cual la curva de costo promedio a largo plazo disminuye a medida que la empresa aumenta su producción.

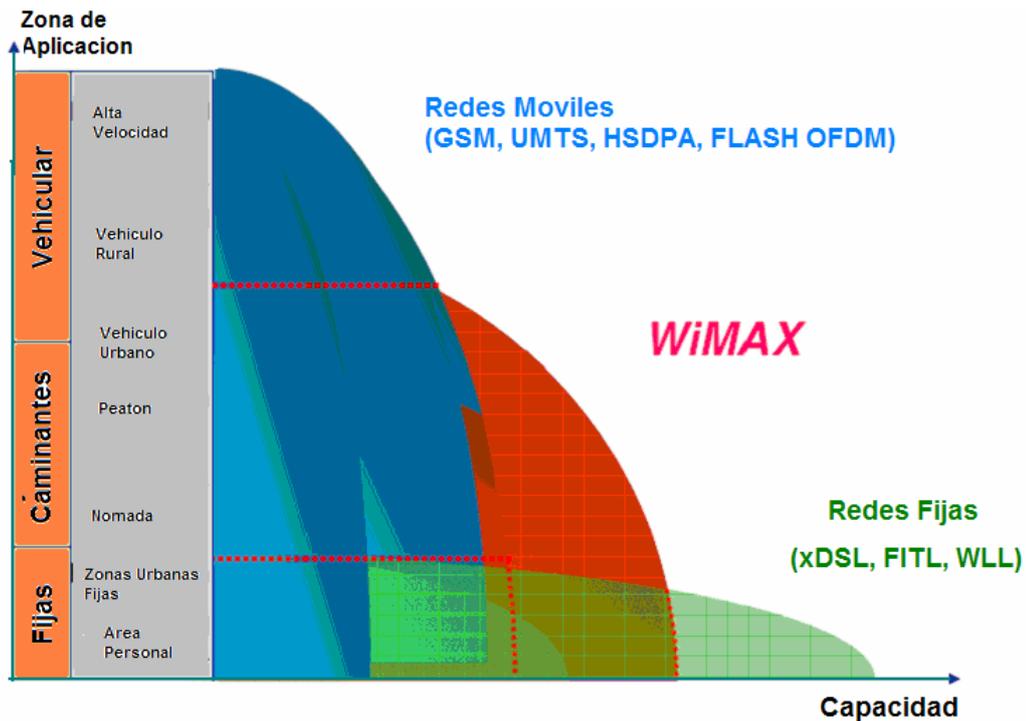


Figura. 2.3. El futuro de WiMAX en el mercado

2.3. CONSIDERACIONES DEL MERCADO [13][14]

El mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador, país integrante de la Comunidad Andina, con 13,2 millones de habitantes, un Producto Interno Bruto (PIB) de US\$ 36.243 millones y un PIB por cápita de US\$ 2.743³⁷ [13], fue a finales de 2005 de 1.383 millones de dólares, representando el 3,8% del Producto Interno Bruto nacional. Para el año 2010 el tamaño del mercado de telecomunicaciones de Ecuador se estima en 1.834 millones de dólares, con un crecimiento anual acumulado cercano al 5.75%.³⁸ [14].

La distribución del mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador del 2001 al 2005 y con proyecciones al 2010 se lo puede ver en las figuras 2.4 y 2.5 respectivamente.

³⁷ [13] Datos de población y de PIB tomados del sitio web del Banco Central del Ecuador.

³⁸ [14] http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/ser_telefonia/srv_telefonia.php?cod_cont=249

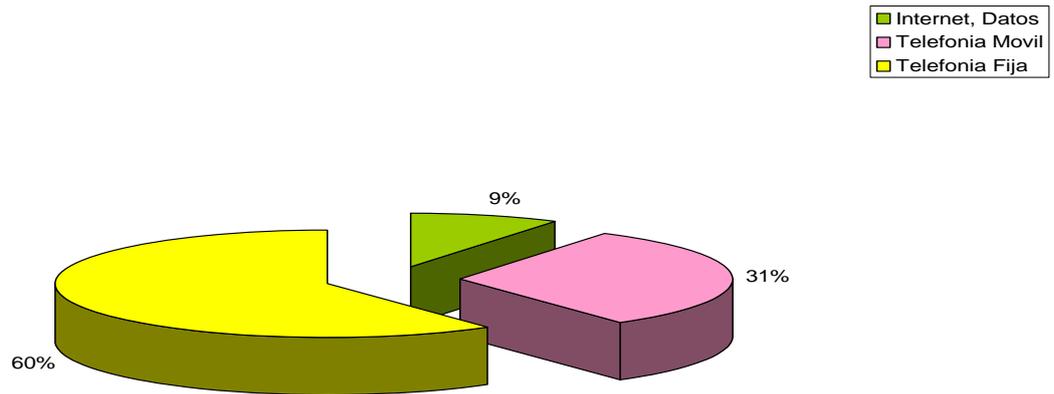


Figura. 2.4. Distribución de los ingresos en el Ecuador en el 2001

Partiendo de la figura 2.4 se puede determinar que el mayor porcentaje de ingresos en el año 2001 es de telefonía fija con un 60%, seguida de la telefonía móvil con un 31%.

En el año 2004 los ingresos de la telefonía móvil, fueron el doble de los ingresos del mercado de la telefonía fija; y a finales del 2005 como se ve en la figura 2.5 los ingresos de la telefonía móvil representaron el 68% del mercado total, los de la telefonía fija el 27% e Internet, datos y otros, el 5%.

Se considera que para el 2010 la telefonía móvil seguirá liderando el mercado con el 61% de participación y el mercado de Internet empezará a tener una importante participación del 10%. Al igual que la tendencia global, se destaca la caída del mercado de larga distancia internacional, a una razón del 5% anual, debido al tráfico ilícito y a la telefonía *IP*.³⁹[15]

³⁹[15] Datos tomados de ASETA, www.aseta.es/

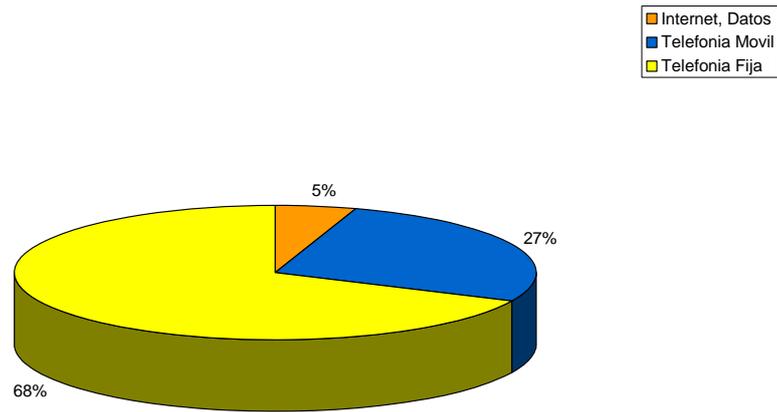


Figura. 2.5. Distribución de los ingresos en el Ecuador en el 2005

2.3.1. Evolución de los Servicios de telecomunicaciones

2.3.1.1. La telefonía fija

Se caracterizó durante muchos años por tener el mayor número de suscriptores representaba, frente a los demás servicios de telecomunicaciones. Esta situación se mantuvo en Ecuador hasta el año 2002, cuando la cantidad de suscriptores de telefonía móvil superó a la de telefonía fija.⁴⁰ [16]

2.3.1.2. La telefonía móvil

En el año 2005 creció del 41% y su penetración pasó a ser del 47%; la segunda en su orden de la región andina. Se considera que la dinámica del mercado de los móviles se mantendrá a ritmos de crecimiento menor, en razón al acercamiento de la penetración a niveles de saturación de mercado.⁴¹ (Figura 2.6). [16]

⁴⁰ [16] Datos tomados de SUPTEL, www.supertel.gov.ec/

⁴¹ estudio con el fin de establecer el valor de oportunidad de la implementación de una nueva salida de cable submarino, utilizando para su conexión nacional los hilos disponibles de fibra óptica del cable primario de ocp ecuador s.a.

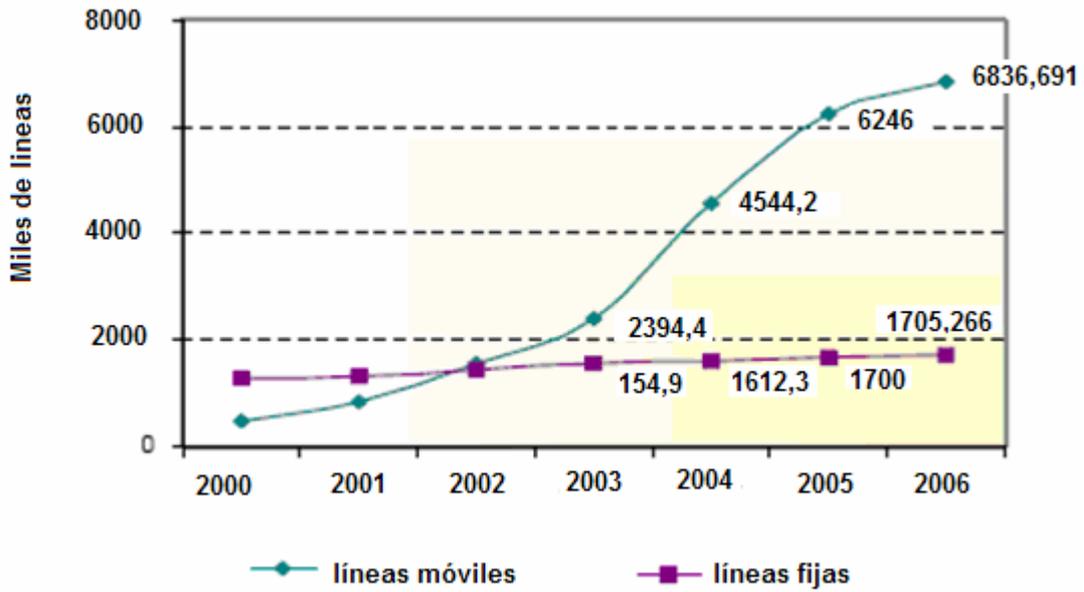


Figura. 2.6. Evolución de las líneas fijas y móviles

En las siguientes figuras 2.7 y 2.8 respectivamente se puede apreciar la situación actual de los servicios telefónicos en Ecuador, respecto a otros países de la Subregión Andina y Latinoamérica.⁴²[17]

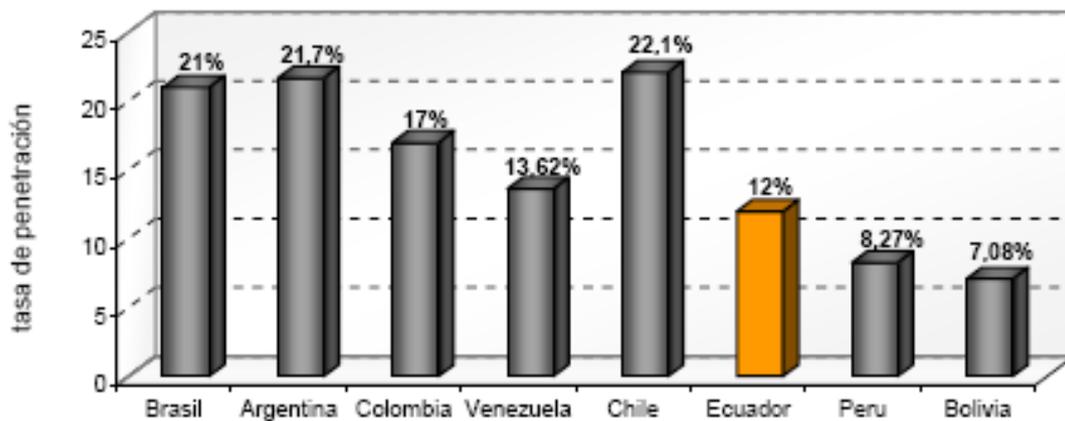


Figura. 2.7. Penetración de la telefonía fija en Latino América

⁴² [17] Fuente Argentina, Brasil, Chile: www.teleco.com.br , CAN: datos dic-2005

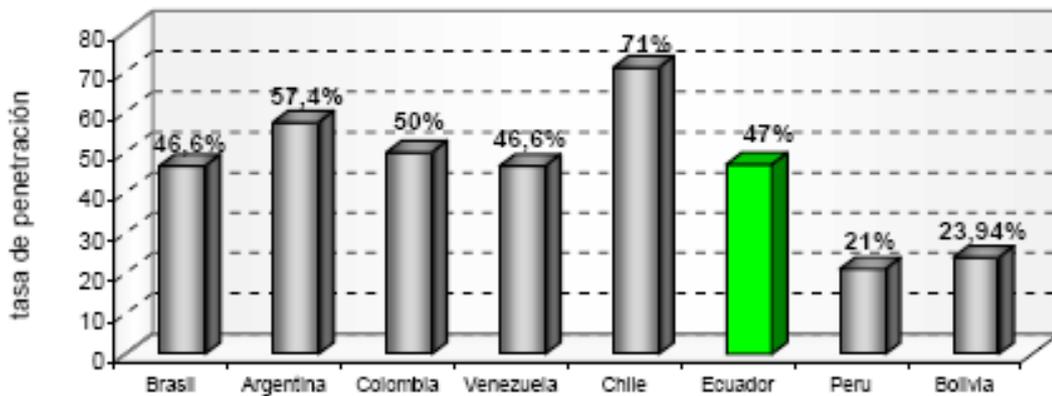


Figura. 2.8. Penetración de la Telefonía Móvil Celular América Latina⁴³[18]

2.3.1.3. El Internet

El Internet se encuentra en la fase de despegue, con un alto potencial para el desarrollo de accesos de Banda Ancha. La penetración actual de Internet en Ecuador es la menor, respecto a los países andinos, tanto en banda angosta como en banda ancha.

Las conexiones de Cable MODEM superan actualmente a las de ADSL, sin embargo, se espera que en corto plazo la relación se invierta. Según el estudio realizado por ASETA en el 2005 sobre la Banda Ancha en la Comunidad Andina, se tiene la siguiente situación para cada país como se lo muestra en la figura 2.9.⁴⁴ [15]

⁴³ [18] Fuente Argentina: CNC, datos diciembre 2005, Fuente Brasil: O Estado Sao Paulo, datos dic-2005, Fuente Chile: Subtel, datos dic-2005, CAN: datos dic-2005

⁴⁴ [15] Fuente ASETA, , www.aseta.es/

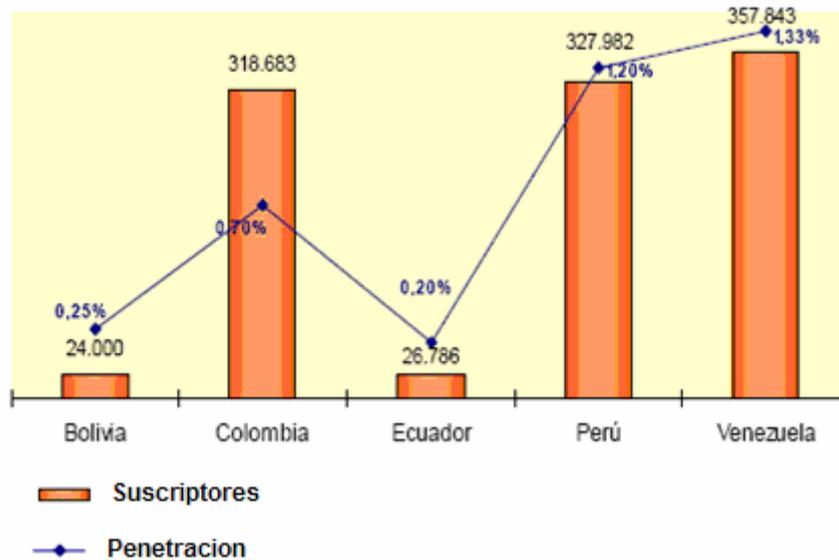


Figura. 2.9. Suscriptores y Penetración De Banda Ancha

2.3.1.4. Enlaces dedicados

El servicio de red privada ó "conexión dedicada" es ideal para su institución ya que permite estar conectado permanentemente en Internet, las 24 horas del día, los 365 días del año sin requerir el uso de una línea telefónica. Este tipo de conexión facilita el acceso a Internet a los usuarios de redes locales, brindándoles la oportunidad de instalar servidores web y servidores de correo en la red LAN de la Institución. No es necesario el uso de líneas telefónicas y garantiza un ancho de banda asegurado con alto nivel de confiabilidad.⁴⁵[19]

Las conexiones dedicadas a usuarios corporativos o grandes clientes, empieza a ser desplazado como gran utilizador de capacidad de transporte nacional e internacional, por la masificación de los accesos de banda ancha, que lleva a los hogares y a las PYMES conexiones de igual o mayor velocidad a la de muchos usuarios corporativos.

El número de enlaces dedicados para clientes corporativos en Ecuador es del orden de 4.000 y el número de suscriptores de banda ancha era de 26.786 a finales del 2005, con proyección de continuo crecimiento.

⁴⁵[19] www.gobiernoenlinea.gob.ve/docMgr/sharedfiles/EnlaceDedicado.pdf

Los mercados nacientes o en estado de introducción son el Internet de banda ancha y la televisión por suscripción. Se estima que el mercado de Internet tendrá un crecimiento acumulado anual hasta el año 2010 del 40%, un claro indicador de las oportunidades que existen en Ecuador. La siguiente figura 2.10 muestra el estado de madurez y el tamaño relativo de los diferentes servicios que conforman el mercado de las telecomunicaciones en Ecuador⁴⁶[15].

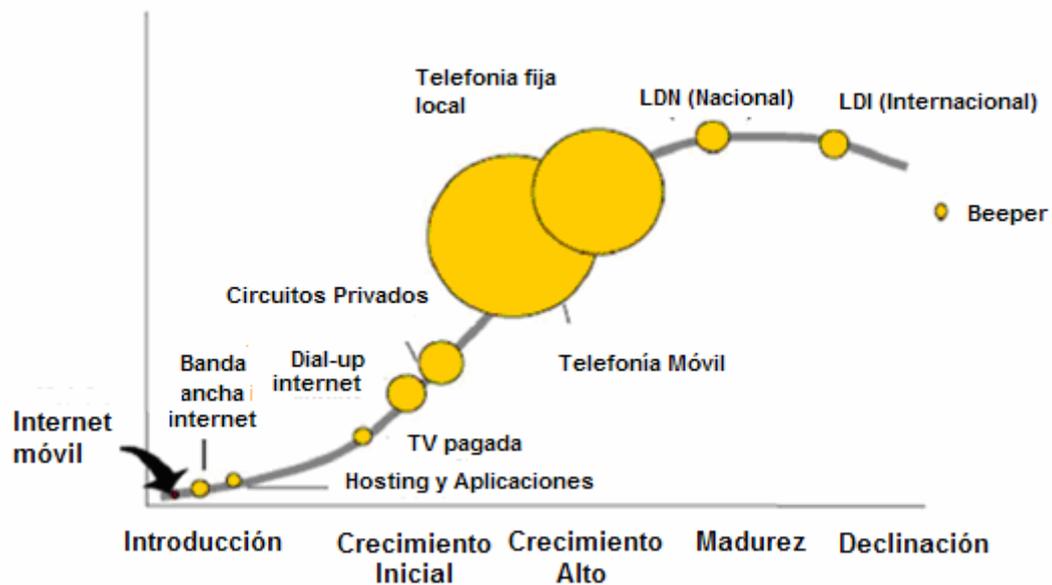


Figura. 2.10. Estado del mercado de las telecomunicaciones en Ecuador

2.3.2. Características en el Mercado que Incentivan el Despliegue de WiMAX

2.3.2.1. Usuarios Residenciales

Para los usuarios residenciales es necesario cumplir ciertos objetivos bajo ciertas características, los mismos que se menciona a continuación:

⁴⁶[15] Fuente IDC, Elaborado por ASETA, www.aseta.es/

- **Características.**
 - Baja tasa de penetración de las alternativas que hay en el mercado.
 - Despliegue rápido en Greenfields.
 - Diversificación de servicios (competitividad).
 - Convergencia Fijo-Móvil.
 - Políticas gubernamentales.

- **Objetivos**
 - WiMAX debe fomentar el bienestar social brindando una buena infraestructura de comunicaciones.
 - Desplegar WiMAX en zonas comerciales estratégicas de la ciudad de Quito, generaran demanda y deseo de consumo.

2.3.2.2. Usuarios Comerciales

Las necesidades que requiere este sector del mercado son las siguientes:

- Ganar competitividad.
- Diversificar su portafolio.
- Soporte en comercialización.
- Eficiencia en la atención al cliente.
- Explotar su creatividad.
- Concentrarse en su misión.

Para poder satisfacer estas necesidades WiMAX proporciona una amplia gama de servicios, los mismos que mejoraran la calidad de vida de los empresarios y sus empleados. Los servicios que WiMAX puede brindar a este sector comercial son:

- Correo electrónico.
- PBX (*Private Business eXchange*)⁴⁷ sobre IP.
- Redes privadas de información (VPN).

⁴⁷ Servicio ofrecido por una empresa de telecomunicaciones, por el cual una cantidad n de líneas o números son agrupadas en un único número que se pública o muestra al público y al cual pueden llamar

- Páginas Web (Hosting- e-Business).
- Wi-Fi.
- Soporte en sistemas de vigilancia.
- Logística, facilidades de operación (Inventarios).
- Rastreo de envíos y/o suministros.
- Manejo de la flota transportadora.
- Seguridad de la información.
- Servicios de facturación.
- Independencia de la ubicación geográfica.
- Ingreso al comercio electrónico.
- Publicidad en Internet.
- Capacitación empresarial continua.
- Manejo de directorios empresariales.
- Optimización del trabajo.
- Retorno de la inversión.

2.3.3. WiMAX en el mercado

Lo que el cliente cree que es WiMAX y los servicios que presta se lo puede simplificar en:

- Movilidad
- Flexibilidad.
- Simplicidad.
- Acceso a la red en cualquier momento y en cualquier lugar.

La figura 2.11 muestra como el suscriptor quiere sentirse al usar un servicio inalámbrico de banda ancha.

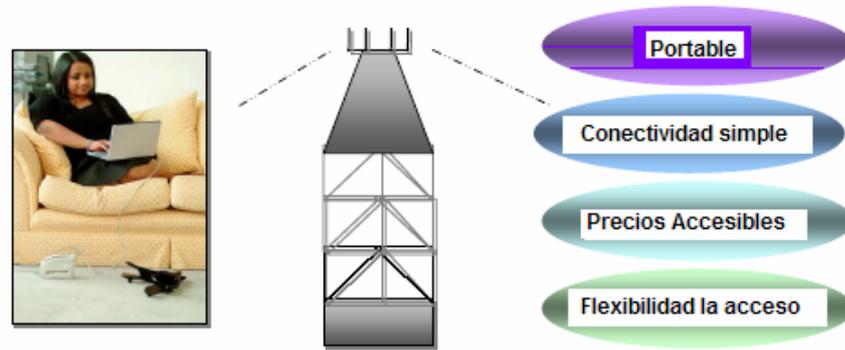


Figura. 2.11. Banda ancha inalámbrica

2.3.4. El impacto que tiene y tendrá en un futuro WiMAX

El impacto que está teniendo WiMAX y que tendrá en un futuro será en todo los campos, en todo lugar, de tal forma que todas las personas estarán involucradas en este fenómeno que está sucediendo y que muy pronto formara parte de nuestra vida diaria, tornándose en una necesidad para poder estar en contacto con el mundo entero. Por medio de la figura 2.12 se puede tener una idea clara del impacto social, económico, sentimental y de seguridad.

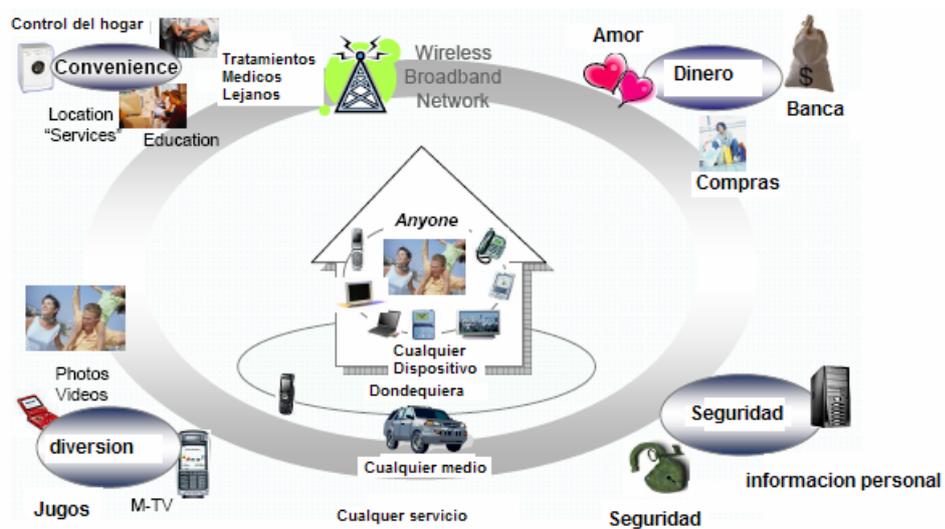


Figura. 2.12. Impacto en el mercado de WiMAX

2.4. WiMAX EN EL ECUADOR

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, los mercados de la telefonía fija y móvil, están llegando a su grado de madurez, por lo que los operadores de telecomunicaciones que sirven estos mercados, deberán implementar nuevos servicios, para aumentar los Ingresos Promedio por Suscriptor (ARPU). Es así que los operadores de telefonía móvil, incursionarán en los servicios del acceso a Internet móvil, y los operadores fijos deberán realizar esfuerzos para masificar el acceso de banda ancha, mediante las tecnologías de DSL, aprovechando su infraestructura de cobre.

En el acceso de banda ancha, es donde surgen las mayores oportunidades, en razón a la posibilidad de ofrecer paquetes de servicios como el “Triple Play”, que integran la telefonía, Internet y la TV.

El naciente mercado de banda ancha, ofrecerá grandes oportunidades, para el sector tecnológico en especial, para los proveedores de tecnología, de servicios profesionales, software, entre otros y en particular para los operadores de telecomunicaciones, que podrán aumentar el ingreso promedio de sus líneas de abonado.

Los operadores entrantes, como los de televisión por suscripción, los de servicios de acceso a Internet, que usan otras tecnologías de acceso inalámbricas y por fibra, se beneficiarán de la ola de la banda ancha, que empujará hacia la baja de costos de tecnologías y del acceso al backbone internacional de Internet. En especial los operadores que no poseen “loop-local”, podrán hacer uso de tecnologías de acceso alternativas, como WiMAX, la cual tiene una gran promesa de servicios de banda ancha con posibilidades de soportar movilidad.

Otro mercado que surgirá de manera imparable es el de la telefonía *IP*, innovadora modalidad que incursionó inicialmente en el mercado de larga distancia internacional, erosionando el mercado internacional de minutos de las tecnologías TDM. Gracias al grado de madurez alcanzado por la tecnología, esta modalidad será de gran importancia no solo en el mercado internacional sino en los mercados domésticos.

La telefonía *IP*, es *agnóstica* en cuanto al acceso, es decir, sea cual fuere la tecnología de acceso que tenga el usuario, ésta puede operar aún con el bucle de abonado de las centrales TDM; por ello se le considera una tecnología disruptiva. Basta que un suscriptor posea acceso a Internet, para que éste pueda acceder a los privilegios de la telefonía *IP*.

En Ecuador los nuevos operadores habilitados para servicio telefónico han adquirido plataformas Softswitch, y están incursionando en el mercado de la telefonía *IP*. Tipo de conector donde el aislamiento se perfora durante la inserción. (IDC), prevén un crecimiento anual acumulado de este servicio del 50% a escala global. La telefonía *IP*, gradualmente remplazará a la telefonía convencional TDM, propiciando un nuevo mercado, el cual se unirá sin costuras con la telefonía móvil, mediante el surgimiento de una nueva arquitectura de red llamada *IP* Multimedia Subsystem (IMS), que se caracteriza por un estándar para el entorno de trabajo capaz de dar servicios de telecomunicaciones en *IP* independientemente de la tecnología de acceso utilizada, tanto fija como móvil.

2.4.1. Asignación del espectro en la Banda de 2.4 y 5.8 GHz

La atribución de las bandas de frecuencia está a cargo de SENATEL, el mismo que se encarga de determinar mediante normas los diferentes tipos de radio difusión en los diferentes espectros de frecuencia. Para nuestro estudio es necesario saber la atribución de radiofrecuencia en las bandas libres como el rango de 2.4 GHz y 5.8 GHz. En la Figura. 2.13 y 2.14 se determina por medio de diferentes tipos de color los diferentes tipos de aplicación en este rango del espectro radioeléctrico.⁴⁸

Según CONATEL bajo la resolución 572-37 y EQA.215 dice que el uso de la banda 5.725 a 5.850 MHz, atribuida al servicio de RADIOLOCALIZACIÓN, se comparte con los servicios FIJO y MÓVIL que utilizan Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum) y con enlaces radioeléctricos para radiodifusión sonora que utilizan Sistemas de

⁴⁸ http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/ser_telefonia/srv_telefonia.php?cod_cont=249

Espectro Ensanchado (Spread Spectrum) entre estaciones fijas con antenas direccionales punto – punto.

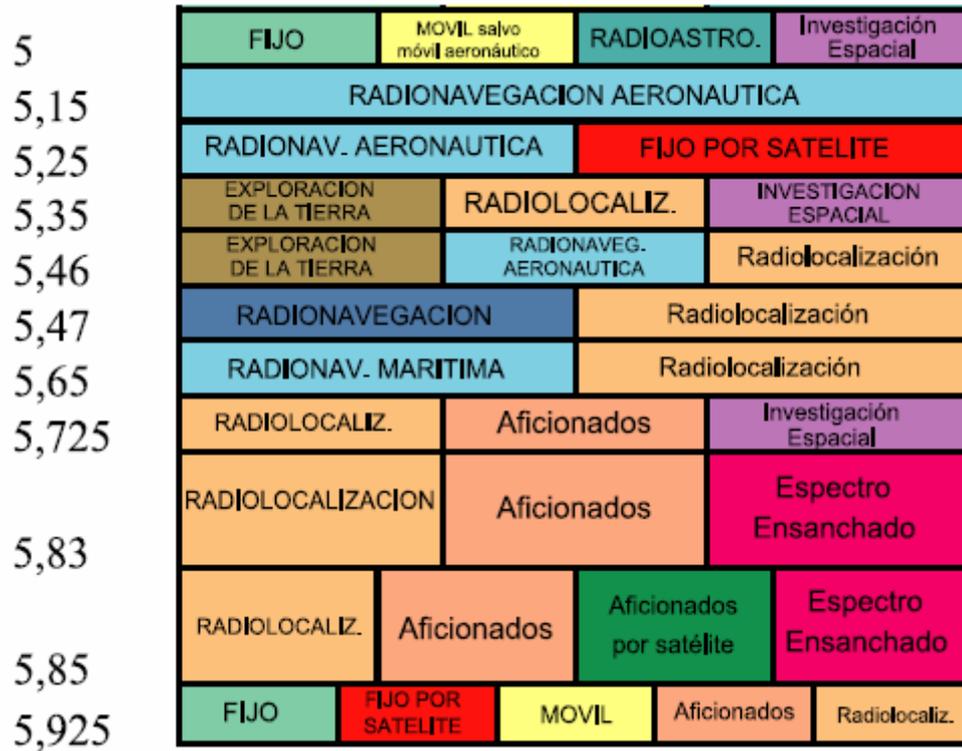


Figura. 2.13. Atribución del espectro radioeléctrico del Ecuador de 5.8 GHz como frecuencia central⁴⁹[20]

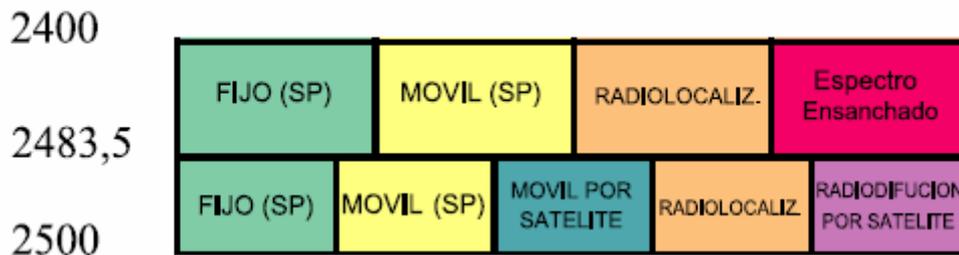


Figura. 2.14. Atribución del espectro radioeléctrico del Ecuador de 2.4 GHz [20]

⁴⁹ [20] <http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/frecuencias.php>

2.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ESTÁNDAR 802.16

Las principales características que presenta este estándar se la puede ver en la figura 2.15, estas características se detallan a continuación.

- Arquitectura flexible.
- Rápido despliegue.
- Servicios de múltiple nivel.
- Interoperabilidad.
- Portabilidad.
- Movilidad.
- Costo efectivo.
- Tasa de transferencia de alta capacidad.
- Escalabilidad.
- Calidad de servicio (QoS).
- Cobertura.
- Alta Seguridad.

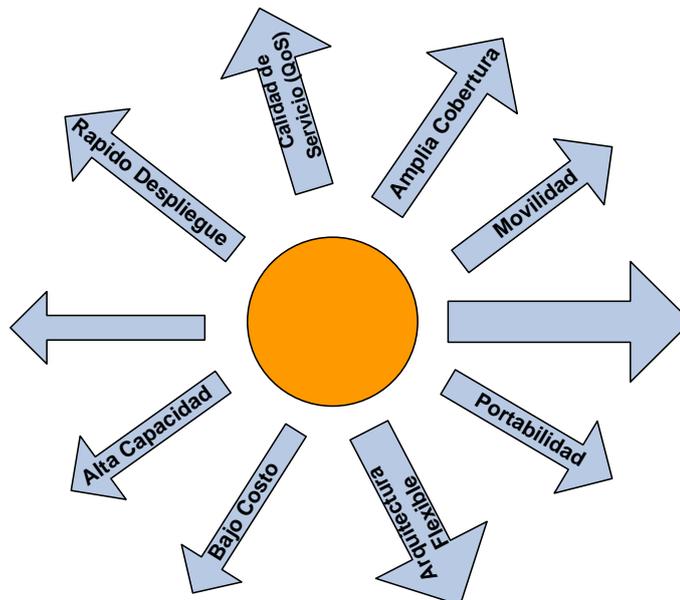


Figura. 2.15. Características de WiMAX

2.5.1. Arquitectura Flexible

El sistema WiMAX soporta diferentes arquitecturas, punto a punto (P2P) como se lo muestra en la figura. 2.16, punto multipunto (PMP), malla (mesh) y una *cobertura ubicua*⁵⁰.

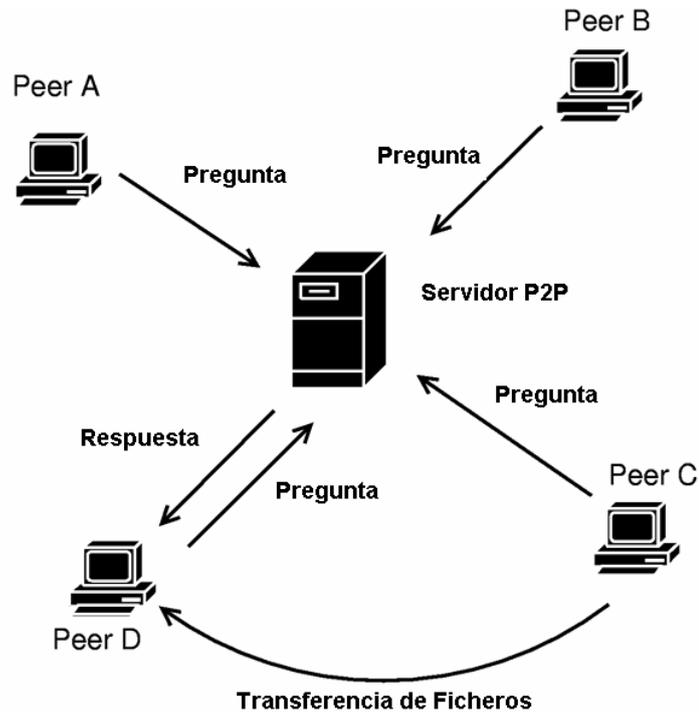


Figura. 2.16. Arquitectura P2P

2.5.2. Rápido Despliegue

En comparación con el desarrollo de las soluciones inalámbricas, WiMAX requiere una pequeña o casi nada de infraestructura externa (*ejemplo la excavación requerida para la tecnología de cableado*). Algunas antenas y equipos son instalados, probados y en ese momento WiMAX está lista para ser usado.

⁵⁰ Cobertura en cualquier momento y en cualquier lugar.

2.5.3. Servicios Multi-Nivel

Es la manera en que la QoS es entregada se basa en el Servicio al Acuerdo Nivelado (SLA)⁵¹ entre el proveedor de servicios y el usuario final.

2.5.4. Interoperabilidad

WiMAX es basado en normas internacionales que lo hacen fácil de usar para usuarios finales en la estación del abonado (SS) o con los proveedores de diferentes servicios. La interoperabilidad permite a los operadores seleccionar equipos de diferentes marcas y como resultado de la interoperabilidad bajan los costos.

2.5.5. Portabilidad

Como en los sistemas celulares, la tecnología WiMAX determina las características del enlace con la Estación de Radio Base (*BSR*), la estación del abonado (SS) se registra en BSR de datos permitiendo la portabilidad.

2.5.6. Movilidad

Se han hecho mejoras al sistema de modulación OFDM y OFDMA (*Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal*), en las capas físicas para apoyar dispositivos y servicios en un ambiente móvil. Estas mejoras que incluyen OFDMA escalable, MIMO (*Múltiple Entrada Múltiple Salida*), y apoyo para el modo del idle/sleep y hand-off, permitirá la movilidad a velocidades altas. Trabaja con NLOS superior de OFDM lo que hace a este sistema conveniente para la movilidad.

⁵¹ Protocolo plasmado normalmente en un documento de carácter legal por el que una compañía que presta un servicio a otra se compromete a prestar el mismo bajo unas determinadas condiciones y con unas prestaciones mínimas.

2.5.7. Costo Efectivo

Gracias a que está basado en un estándar abierto internacional y la producción en grandes cantidades de chipsets (*economía de escala*) permiten la estabilización en los costos de servicio.

2.5.8. Tasa de transferencia de alta capacidad

Gracias al robusto esquema de modulación, el estándar IEEE 802.16 entrega una alta tasa de transferencia con un alto nivel de eficiencia espectral. La modulación dinámica adaptativa permite a la estación base negociar la tasa de transferencia por rangos.

Si la estación base no puede establecer un enlace robusto a un abonado distante usando el esquema de modulación de mayor orden 64 QAM, el orden de modulación se reduce a 16 QAM o QPSK, lo cual reduce la tasa de transferencia e incrementa el rango efectivo.

2.5.9. Escalabilidad

Para acomodar un planeamiento de celda fácil en el espectro de ambas bandas licenciada y exenta de licenciada en todo el mundo, el estándar 802.16 soporta canales de ancho de banda flexibles. Por ejemplo, si un operador dentro de una zona tiene asignado 20 MHz de espectro, el operador puede dividirlo en 2 sectores de 10 MHz cada uno, o 4 sectores de 5 MHz cada uno. Focalizando potencia en sectores de pequeños incrementos, el operador puede incrementar el número de usuarios manteniendo un buen rango y tasa de transferencia. Para escalar aun más la cobertura, el operador puede volver a usar el mismo espectro en dos o más sectores creando una separación propia entre las antenas de las estaciones base.

2.5.10. Calidad de servicio (QoS)

La capacidad de voz es extremadamente importante. Por esta razón el estándar IEEE 802.16 incluye características de QoS que permiten servicios incluyendo voz y video que requieren una red de baja latencia. Las características de *garantía* requeridas por el Controlador de Acceso al Medio (MAC) del estándar IEEE 802.16, permiten al operador brindar simultáneamente niveles de servicio, estas características de servicio se indican en la tabla. 2.1

Tabla. 2.1. Tipos de servicio

Tipos de servicio para WiMAX	
Servicio	Descripción
Unsolicited Grant Service (UGS)	UGS soporta una secuencia de datos de tamaño fijo en tiempo real, paquetes enviados en intervalos periódicos
Real Time Polling Service (rtPS)	rtPS soporta una secuencia de datos de diferente tamaño en tiempo real, paquetes de datos que son enviados en intervalos periódicos tal como MPEG video
Non-Real Time Polling Service (nrtPS)	nrtPS soporta un retardo tolerante de la secuencia de datos se, compone de paquetes de datos variables por cada mínima tasa requerida, tal como FTP
Best Effort (BE)	BE soportar una secuencia de datos para que no sea requerido el servicio del nivel mínimo.

2.5.11. Cobertura

En adición al soporte de un esquema de modulación robusto y dinámico, el estándar IEEE 802.16 también soporta tecnologías que incrementan la cobertura, como por ejemplo las técnicas de antena inteligente (*Smart Antenna*) como se lo muestra en la figura 2.17 y la tecnología de Malla (*mesh*) la cual se muestra en la figura. 2.18.

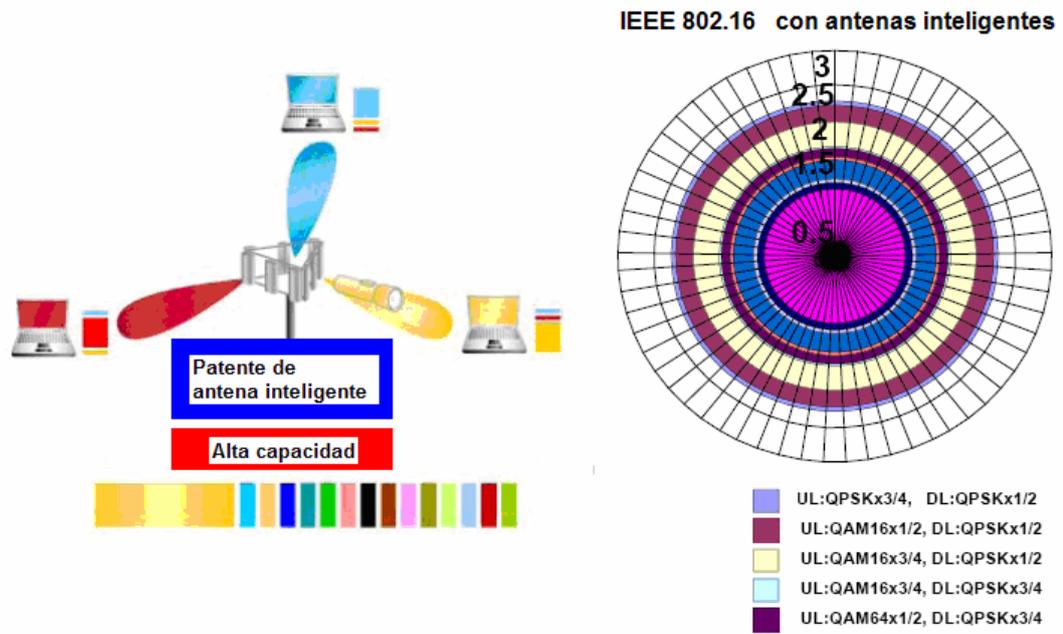


Figura. 2.17. Antena Inteligente

La habilidad de incrementar la cobertura y la tasa de transferencia usando múltiples antenas para crear *diversidad en transmisión y/o recepción* aumentará sensiblemente la cobertura en escenarios extremos.

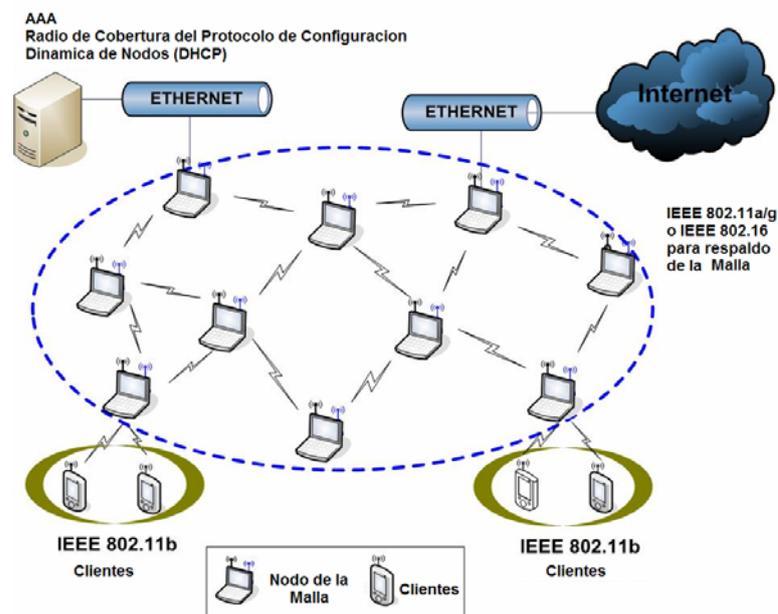


Figura. 2.18. Arquitectura Mesh

Para aumentar la cobertura y robustez del sistema se utiliza la técnica Hybrid-ARQ. La cobertura de estándar 802.16 depende de la zona y del tipo de cobertura, sea esta LOS o NLOS como se lo muestra en la figura 2.19.



Figura. 2.19. Zonas y radios de coberturas indoor y outdoor

2.5.12. Alta Seguridad

Características de privacidad y encriptado de datos están incluidas dentro del estándar 802.16 para soportar transmisiones seguras y proveer autenticación. El estándar IEEE 802.16 está diseñado por el espectro de bandas licenciadas y bandas exentas de licencia para acomodar fácilmente el planeamiento de celdas a través de la zona que se este aplicando.

2.6. SERVICIOS QUE PUEDE PRESTAR WiMAX

La libre competencia debe permitir que sobre distintas infraestructuras subyacentes o sobre las mismas facilidades se presten diferentes servicios de telecomunicaciones. Sobre una red pública de un operador se pueden prestar todos los servicios, la misma que tenga capacidad de soportar en libre competencia independientemente de quien sea el titular de la

red.⁵² [20]. Según el CONATEL y el SENATEL los servicios que por ley se pueden prestar son los siguientes:⁵³ [21].

- Servicios de telefonía.
 - Telefonía fija.
 - Telefonía móvil.
- Servicios portadores.
- Servicios de valor agregado.
- Servicios de redes privadas.
- Servicios de radiocomunicaciones.
- Servicios públicos.
- Servicios al público.

2.6.1. Servicios de telefonía

Es un servicio de telecomunicaciones que permite el intercambio bi-direccional de tráfico de voz en tiempo real, entre diferentes usuarios a través de una red de conmutación de circuitos.

2.6.2. Telefonía fija

Para que se establezca una llamada telefónica, debe establecerse un circuito de comunicaciones entre 2 puntos, el usuario llamado (A) y el usuario llamante (B). La telefonía fija se sub divide en:

- Telefonía fija *alámbrica*
- Telefonía fija *inalámbrica*

⁵² [20] http://www.conatel.gov.ec/website/quien-somos/plan_desarrollo_web.php

⁵³ [21] http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/srv_index.php

2.6.3. Telefonía móvil⁵⁴ [22]

Los sistemas de telefonía móvil celular son aquellos que permiten la comunicación entre usuarios que se desplazan libremente en diferentes lugares geográficos, estos sistemas constituyen grandes redes de comunicaciones que actualmente permiten cursar diferentes servicios, entre ellos:

- Telefonía móvil.
- Envío de mensajes cortos (SMS).
- Datos a baja velocidad.

2.6.4. Servicios portadores⁵⁵ [23]

Los servicios portadores son servicios que proporcionan al usuario una capacidad necesaria para el transporte de información sea está signos, señales, datos imagines, sonidos, voz e información de cualquier naturaleza, independientemente de su contenido y aplicación, entre dos o más puntos de una red de telecomunicaciones. Estos servicios se los puede prestar a través de redes públicas propias o de terceros, de transporte y de acceso, conmutadas o no conmutadas, físicas, ópticas y radioeléctricas tanto terrestre como espaciales.

Se puede instalar cualquier tipo de tecnología o protocolo, frame relay, spread spectrum, etc. El pago es único sin el pago de adicionales por montos inversión o tasas variables adicionales a excepción del 1% de los ingresos facturados y percibida para el fondo para el desarrollo de las telecomunicaciones. Por medio de estos servicios el usuario puede tener acceso al Internet.

⁵⁴ [22] <http://www.supertel.gov.ec/>

⁵⁵ [23] <http://www.supertel.gov.ec/>; http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/portadores.php?cod_cont=250

2.6.5. Servicios de valor agregado

Los servicios de valor agregado son aquellos que utilizan servicios finales proporcionados por un concesionario, para prestar a sus abonados servicios que transforman el contenido de la información transmitida, incluyendo un cambio neto entre los puntos extremos de la transmisión en el código, protocolo o formato de la información. También incluye los servicios de valor agregado el almacenaje y retransmisión posterior de la información o interacción con la base de datos⁵⁶. [24]

2.6.6. Servicios de redes privadas

Son aquellas utilizadas por personas naturales o jurídicas en su exclusivo beneficio, con el propósito de conectar distintas instalaciones de su propiedad o bajo su control, por lo cual se servirá demostrar que las instalaciones a implementarse son de su propiedad o están bajo su control remitiendo una copia del título de propiedad o contrato (convenio) de arrendamiento del lugar donde se ubicarán los equipos y especificando el tipo de instalación a implementarse (estación repetidora o Terminal) y la finalidad de la estación Terminal (matriz, sucursal, bodega, oficina).⁵⁷ [25]

2.6.7. Servicios de radiocomunicaciones

Servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.⁵⁸ [26]

⁵⁶ [24] Reglamento General de la ley Especial de Telecomunicaciones Reformada. Cap. 8. D.E. 206, R.O. 50, 07-DIC-2006

⁵⁷ [25] http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/redes_privadas.php?cod_cont=275 (2006-12-07)

⁵⁸ [26] http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/serv_varios/servicios.php?cod_cont=277

2.6.8. Servicios Públicos

Cuando el estado garantiza su prestación debido a su importancia para la colectividad. La telefonía local, nacional e internacional es un servicio público.

2.6.9. Servicios al Público

Los servicios abiertos a la correspondencia pública prestados a terceros son considerados servicios al público y deberían ser ofrecidos de manera regular, continua, eficiente y en condiciones de igualdad para los usuarios. No incluyen las redes privadas, los servicios de valor agregado, ni los servicios de reventa.

2.7. PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN PARA LA INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y EXPLOTACIÓN DEL ESTÁNDAR 802.16 EN EL ECUADOR

2.7.1. Conceptos

Servicio de Radiocomunicación: Este servicio implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

Sistema de Radiocomunicación: Es el conjunto de estaciones radioeléctricas fijas y móviles establecidas para fines específicos de telecomunicación en condiciones determinadas. Los sistemas de radiocomunicación se clasifican en:

- Sistemas privados.
- Sistemas de explotación.

Sistemas Privados: Son aquellos que están destinados para uso exclusivo del usuario. Se considerarán también sistemas privados los sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad. Se prohíbe expresamente alquilar el sistema a terceras personas.

Sistemas de Explotación: Son aquellos que están destinados a dar servicio al público en régimen de libre competencia. Estos sistemas bajo ningún punto de vista serán tratados como sistemas de radiocomunicación para ayuda a la comunidad.

2.7.2. Requisitos de Concesión

2.7.2.1. Persona Jurídica

Para obtener la concesión de frecuencias para operar un sistema de radiocomunicación, el solicitante deberá presentar en la SENATEL los siguientes requisitos:

Información Legal

- Solicitud dirigida al señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones, detallando el tipo de servicio al que aplica; e incluir el nombre y la dirección del representante legal.
- Copia de la Cédula de Ciudadanía del Representante Legal.
- Para ciudadanos ecuatorianos, copia del Certificado de votación del último proceso electoral del Representante Legal.
- Registro Único de Contribuyentes (R.U.C.).
- Nombramiento del Representante Legal, debidamente inscrito en el Registro Mercantil.
- Copia certificada de la escritura constitutiva de la compañía y reformas en caso

- Certificado actualizado de cumplimiento de obligaciones otorgado por la Superintendencia de Compañías o Superintendencia de Bancos, según el caso, a excepción de las instituciones estatales.
- Fe de presentación de la solicitud presentada al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del representante legal, a excepción de las instituciones estatales (original).
- En el caso de Compañías o Cooperativas de transporte, deben presentar el Permiso de Operación emitido por la autoridad de transporte competente (Resol. 632-22-CONATEL-2004).
- Otros documentos que la SENATEL solicite.

Información Financiera

- Certificado actualizado de no adeudar a la SENATEL.
- Certificado de no adeudar a la SUPTEL.

2.7.2.2. Persona Natural

Para obtener la concesión de frecuencias para operar un sistema de radiocomunicación, el solicitante deberá presentar en la SENATEL los siguientes requisitos:

Información Legal

- Solicitud dirigida al señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones, detallando el tipo de servicio al que aplica; e incluir el nombre y la dirección del solicitante.
- Copia de la Cédula de Ciudadanía.
- Para ciudadanos ecuatorianos, copia del certificado de votación del último proceso electoral.

- Copia del Registro Único de Contribuyentes (R.U.C.).
- Fe de presentación de la solicitud presentada al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del solicitante (original).
- Otros documentos que la SENATEL solicite.

Información Financiera

- Certificado actualizado de no adeudar a la SENATEL.
- Certificado de no adeudar a la SUPTEL.

Información Técnica

- Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios disponibles en la página Web del CONATEL, suscrito por un ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, con licencia profesional vigente en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE) y registrado para tal efecto en la SENATEL; debe adjuntar copia de la mencionada licencia.
- En caso de necesitar la instalación de estaciones repetidoras, adjuntar copia del Contrato de Arrendamiento del Terreno o Copia de la Escritura del inmueble que acredite el derecho de propiedad del solicitante, e indicar las dimensiones.
- Recibo de pago de la contribución del 1/1000 del valor del contrato de los servicios profesionales del ingeniero de telecomunicaciones a cargo del sistema de radiocomunicaciones, que exceda el valor de USD 12 conforme lo determina el Artículo 26 de la Ley de Ejercicio Profesional de la Ingeniería.

2.8. ARQUITECTURA DEL SISTEMA WiMAX

WiMAX es de momento solo una tecnología de acceso ⁵⁹[27]. Para poder ofrecer servicio extremo a extremo necesita otros elementos, una red troncal, que no forma parte del estándar 802.16, la arquitectura del sistema WiMAX se la muestra en la figura. 2.20.

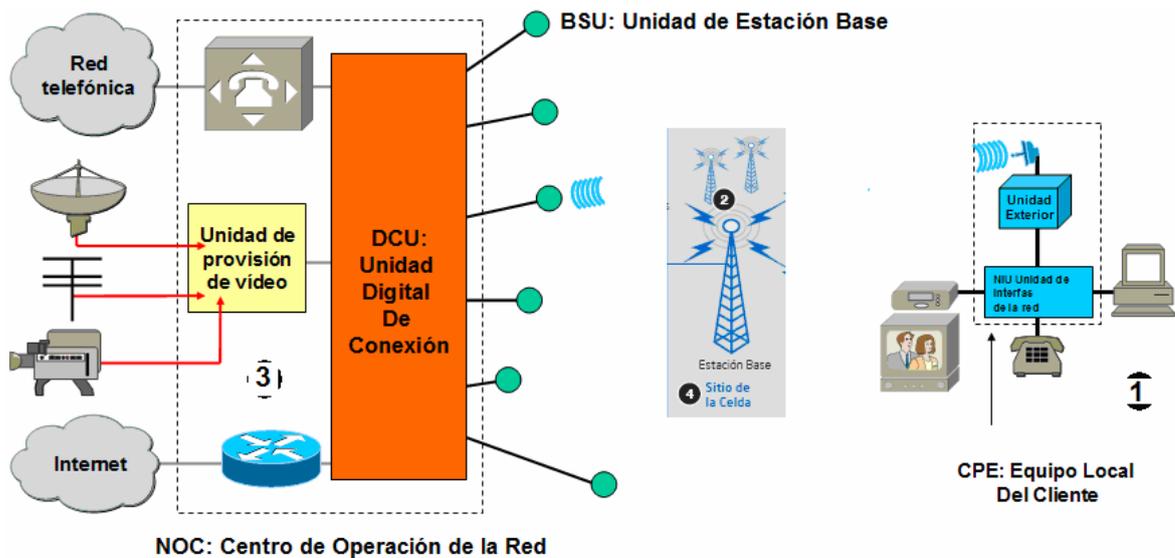


Figura. 2.20. Arquitectura del sistema WiMAX

2.8.1. Centro de operación de la Red IP Edge Router

La correcta proyección e instalación del centro de operaciones de la red incluye y permite realizar las siguientes operaciones:

- Identificación de las necesidades de los usuarios.
- Instalación profesional de estaciones base y antenas con ángulos de inclinación adecuados.
- Provisión de un servicio de banda ancha con un mínimo típico de 1 Mbps por abonado.

⁵⁹ [27] www.ola.com.co/formas/13140/Wi-Max-Orbitel.pdf, [28] http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf

- Conexión a servicios de voz, como las Redes Telefónicas Públicas Conmutadas (PSTN's), y puertos de enlace.
- Implementación de administración de tráfico, enrutadores y firewalls.
- Establecimiento de un medio de recolección de estadísticas de red.

2.8.2. Estación de Radio Base (BSR)

A una Estación de Radio Base (BSR) también se la denomina como Torre WiMAX, pero una BSR no necesariamente tiene que estar en una torre, también puede estar localizada en terrazas de edificios o estructura elevadas. La estación base puede conectarse directamente al IP Edge Router usando una conexión con alambre de alta velocidad (línea T3)⁶⁰, o también se puede conectar al sistema mediante otra BSR mediante un enlace microondas, a este enlace se lo conoce como *backhaul*.

2.8.3. Antenas

Con los enlaces redundantes y los ángulos de inclinación de las antenas, la ampliación del diagrama y de la diversidad puede ayudar a mejorar la recepción RF.

Ampliación del Diagrama. Ampliación del diagrama logrado por la utilización de antenas múltiples para la adición coherente de señal.

Ampliación de diversidad. Ampliación lograda por la utilización de múltiples **paths** (*múltiples rutas*), para que si una señal está comprometida en uno de los paths, se mantenga el desempeño general. Efectivamente, la ampliación de la diversidad se refiere a las técnicas usadas en el transmisor o receptor para conseguir **looks** (*enfoces*) múltiples al canal que está debilitándose. Estos esquemas mejoran el desempeño al mejorar la estabilidad de la potencia de la señal recibida en presencia del debilitamiento de la señal

⁶⁰ Una portadora T con una velocidad que es agregado o múltiplo de 44.736 Mbps.

inalámbrica. La diversidad puede explotarse en las dimensiones espaciales (antena), temporales (tiempo) o espectrales (frecuencia).

Las antenas son de suma importancia ya que dependiendo del tipo de antenas que se use en el diseño, se podrán optimizar los equipos utilizados en la implementación del sistema WiMAX. Los tipos de antenas con los que podemos contar se las muestran en la figura 2.21

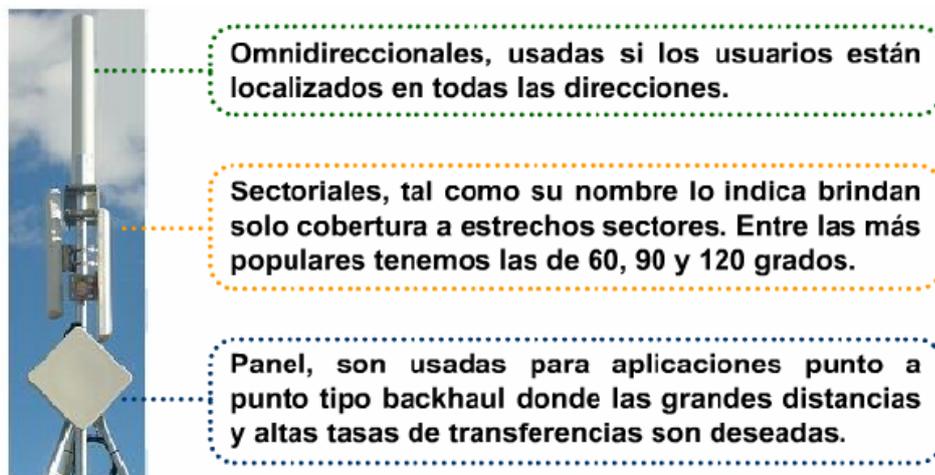


Figura. 2.21. Tipos de antenas

2.8.4. Equipo Local del Cliente (CPE)

El Equipo Local del Cliente (CPE), consiste en una unidad localizada en cada emplazamiento del usuario; en cada hogar para el caso residencial y en cada oficina en el caso empresarial. Dicha unidad constituye el último segmento de la red WiMAX pues es el que permite todo el proceso de transferencias de información entre el usuario y la estación de radio base (BSR).

El CPE, podría ser una pequeña caja como se lo muestra en la figura 2.22, con una antena, una tarjeta de red PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International*

Association) o PCI⁶¹ (*Peripheral Component Interconnect*), un modulo USB (*Universal Serial Bus*) o incluso un chip integrado a nuestro equipo portátil. Además en el lugar donde se instala los CPE's permiten tener información acerca de los tipos de antenas que se necesita usar y los ángulos de inclinación para una perfecta recepción RF.



Figura. 2.22. Diferentes tipos de CPE's

De forma general la arquitectura de WiMAX se la muestra en la figura 2.23 y la descripción de cada elemento se la da a continuación:

- Estación de Radio Base (RS)
- Estación Móvil (MS)
- Get Way (GW)
- Acceso de Servicio de Red (ASN)
- Servicio de Conectividad de Red (CSN)
- Proveedor de Acceso a la Red (NAP)
- Proveedor de Servicio de Red (NSP)

⁶¹ Estándar de bus de 64 bits desarrollado por Intel. para reemplazar al ISA. Soporta la versatilidad del Plug and Play.

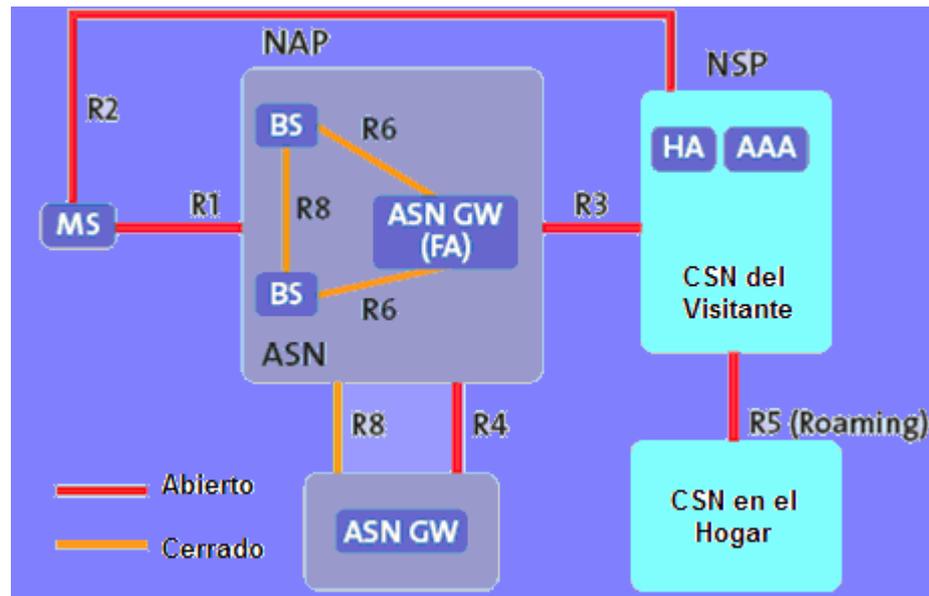


Figura. 2.23. Modelo de referencia WiMAX

2.9. INTERFACES DE WIMAX

La interfaz en WiMAX es el lugar donde existe la interacción (el aire), el espacio donde se realizan los intercambios. En telecomunicaciones una interfaz (*electrónica*) es el puerto (*circuito físico*) a través del que se envían o reciben señales desde un sistema o subsistemas hacia otros. No existe un interfaz universal, sino que existen diferentes estándares (*Interfaz USB, interfaz SCSI, etc.*) que establecen especificaciones técnicas concretas (*características comunes*), con lo que la interconexión sólo es posible utilizando el mismo interfaz en origen y destino.⁶²[28]

2.9.1. Interfaz de red

Este tipo de interfaz permite realizar la conexión hacia la red de datos de banda ancha, hacia la red de líneas arrendadas, hacia la Red Pública Telefónica Conmutada (PSTN), hacia la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN) o de una a otra estación de radio base (BSR).

⁶² [28] <http://es.wikipedia.org/wiki/Interface>

2.9.1.1. Interfaz WiMAX Residencial

El MODEM residencial WiMAX proporciona una terminación inalámbrica en el lugar en donde está ubicado el suscriptor. Se coloca en la localidad del usuario el equipo propio del operario que este ofreciendo el servicio con el estándar 10/100 BaseT Ethernet.

2.9.1.2. Interfaz WiMAX Multiple uso

La interfaz múltiple uso de WiMAX es la solución ideal para el acceso de múltiples usos donde es necesario compartir el ancho de banda entre diferentes usuarios. Está equipada con múltiples puertos Ethernet 10/100 BaseT, interfaz POTS (*Plain Old Telephone Service*) y puntos de acceso opcionales WiFi para una cobertura indoor del suscriptor.

2.9.1.3. Interfaz residencial con MODEM portable de WiMAX

Está conformada por una SIM⁶³ (*Subscriber Identity Module*) para usos portables y nómadas, siendo una versión de baja potencia de la interfaz residencial de WiMAX con batería.

2.9.1.4. Interfaz BA-ISDN

La interfaz de acceso básico ISDN es de tipo “U” para la estructura de la unidad interna. Una terminación de red estándar se requiere para adaptar esta interfaz a las exigencias del usuario, debido a ello el conector utilizado es de tipo RJ11.

⁶³ Tarjeta con un circuito integrado que contiene los datos de un suscriptor y la información de facturación y que puede ser transferida de un teléfono a otro utilizada en GSM.

2.9.1.5. Interfaz E1/T1

Esta interfaz es utilizada por líneas dedicadas, el equipo conectado esta interfaz se asume que es compatible con el equipo Terminal localizado en el extremo del sistema IEEE 802.16e, es decir en la estación base.

2.9.1.6. Interfaz Ethernet

Es usada como medio físico del tipo 10BaseT y 100BaseT. Se la destina para la conexión entre dos computadoras o entre un grupo de computadoras o un ruteador.

2.9.2. Interfaces de radio

La interfaz de radio permite la interacción entre redes dependiendo del tipo de usuarios que la estén usando. El acceso por medio de la interfaz de radio se lo hace desde el último usuario hasta la oficina central, a esto se lo conoce como la conexión de “última milla”.

En general en donde existe un área con cobertura inalámbrica se puede distinguir tres tipos de usuarios:

Usuario móvil: Este tipo de usuario requiere conectividad cuando está en movimiento. Por ejemplo las redes celulares (GSM, GPRS, UMTS)⁶⁴.

Usuario Nómada: Requiere conectividad para diferentes lugares, pero no mientras está en movimiento. Por ejemplo una laptop conectada a través de una red WiFi.

⁶⁴ GSM Estándar para telefonía móvil digital originado en Europa pero difundido en todo el mundo GPRS Servicio general de radiocomunicación por paquetes. Mejora de GSM que permite transmitir datos hasta 115 kb/s. UMTS Tecnología Móvil de tercera generación que permite transmisión de datos a 2 Mb/s, además de audio y video.

Usuarios Fijos: Este tipo de usuarios requiere conectividad desde su hogar a la red. Por ejemplo WiMAX (802.16), xDSL, satélites.

En la figura 2.24 se indica los nuevos tipos de interfaz de radio que WiMAX ha implementado, mejorando el sistema y adaptándolo a las necesidades que el suscriptor y el operador de la red requiere.

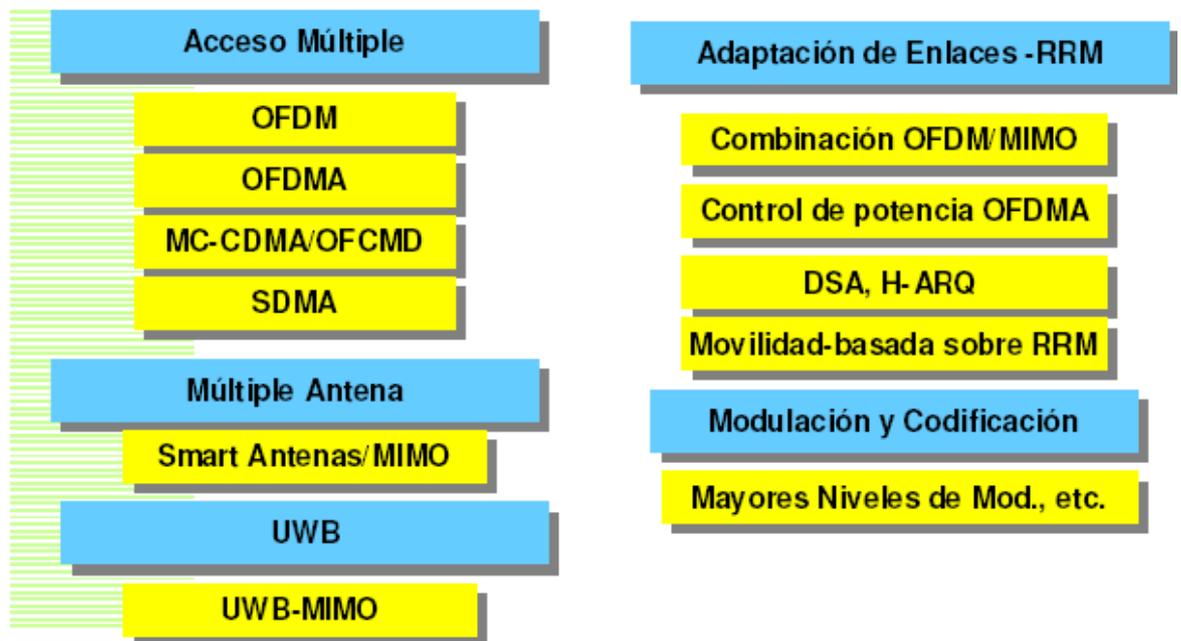


Figura. 2.24. Nueva interfaz de Radio para WiMAX

2.10. DISPONIBILIDAD DEL ESPECTRO WiMAX

WiMAX abarca un rango de espectro debajo de los 11 GHz. Existe la posibilidad de desplegar WiMAX en las bandas del servicio celular (*si estuviera permitido*) y en las bandas de 700 MHz. Algunos de estos espectros disponibles presentan sus propios problemas e incompatibilidad por una amplia variedad de opciones de espectros

El espectro más probable está disponible en las siguientes frecuencias, 2.3 GHz, 2.4 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz y potencialmente en 700 MHz. Para asegurar la

interoperabilidad mundial, los CPE (*Equipo Ubicado en la Propiedad del Usuario*) de WiMAX deberían soportar hasta 5 bandas de frecuencia. El espectro disponible se divide en dos categorías distintivas como se lo puede ver en la tabla 2.2.

- Exenta de licencia.
- Con licencia.

Tabla. 2.2. Bandas de frecuencia licenciadas y exentas de licencia para servicios inalámbricos de Banda Ancha

Servicio	Tipo de Servicio	Frecuencia	Ancho de Banda
Servicio de Comunicaciones Inalámbricas	Con Licencia	698-746 MHz, 746-749 MHz, 2.305-2.310 GHz, 2.31-2.32 GHz, 3.65-3.7 GHz, 4.94-4.99 GHz	48 MHz, 48 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 50MHz.
Móviles avanzados & Servicio de Comunicaciones Fijas (AMFCS o 3G)	Con Licencia	1.710-1.755 GHz, 1.755-1.810 GHz, 2.110-2.150 GHz	45 MHz, 55 MHz, 40 MHz.
Servicios de Distribución Multipunto (MDS), Servicio de Distribución Multipunto Multicanal (MMDS)/ Instrucción al de Servicios Fijos de TV (ITFS)	Con Licencia	2.160-2.165 GHz, 2.500-2.690 GHz	5 MHz, 190 MHz
Industria Científica y Medica (ISM)	Exenta Licencia	902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz	26 MHz, 83.5 MHz
Infraestructura de Información Nacional exenta de licencia (U-NII)	Exenta Licencia	5.15-5,25 GHz, 5.25-5.35 GHz, 5.725-5,825 GHz	10 MHz, 100 MHz
Distribución de Video Multicanal & Servicios de Datos (MVDDS)	Con Licencia	12.2-12.7 GHz	500 MHz
Servicios de Mensajes Electrónicos Digital (DEMS)	Con Licencia	24.25-24.45 GHz, 25.05-25.25 GHz	200 MHz, 200 MHz.
Servicios de Distribución Multipunto Local (LMDS)	Con Licencia	27.5-28.35 GHz, 29.1-29.25 GHz, 31.0-31.3 GHz	850 MHz, 150 MHz, 300 MHz.
Servicios Inalámbricos a 39 GHz	Con Licencia	38.6-40 GHz	1400 MHz.
Desarrollo Milimétrico de los Sistemas de Onda	Exenta de licencia	57-64 GHz	700 MHz.

2.10.1. Exenta de licencia

En la mayoría de los mercados, el espectro que no requiere licencia y que podría emplearse para WiMAX es 2.4 GHz y 5.8 GHz. La barrera para ingresar es baja, por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando el espectro. Tiene sus ventajas (no se paga por el uso de la frecuencia), pero existen varias desventajas. Hay cuatro desventajas principales relacionadas con el uso del espectro que no requiere licencia como son la interferencia, competencia, potencia limitada y la disponibilidad.

Ventajas: La banda *exenta de licencia* de 5.8 GHz es clave ya que permite:

- Gran asignación de frecuencia, subutilizadas.
- Movilidad en el transporte de información en proporciones grandes.
 - Limitaciones de frecuencia en aplicaciones móviles hand-held.
- Algunos países Europeos ofrecen uso de 5.4 GHz con limitaciones EIRP⁶⁵ (*Effective Isotropic Radiated Power*)

2.10.1.1. Interferencias

Al ser utilizado por varios sistemas diferentes de RF, hay altas probabilidades de que ocurran interferencias. Tanto WiMAX como WiFi soportan la DFS (*Dynamic Frequency Selection*). No obstante, DFS también puede introducir una mayor latencia que, a su vez, afecta las aplicaciones en tiempo real como VoIP.

2.10.1.2. Mayor competencia

Los operadores ingresan fácilmente en el mercado empleando el mismo espectro.

⁶⁵ Potencia Isotrópica Efectiva Irradiada. en dBm = Potencia a la entrada de la antena [dBm] + Ganancia respecto a una antena isotrópica [dBi]

2.10.1.3. Potencia limitada

Los entes reguladores del gobierno por lo general limitan la cantidad de potencia que puede transmitirse. Está limitación es especialmente importante en 5.8 GHz, donde la mayor potencia podría compensar la pérdida de propagación relacionada con el espectro en frecuencias más altas.

2.10.1.4. Disponibilidad

Mientras el espectro de 2.4 GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8 GHz no se encuentra disponible en varios países.

2.10.2. Con licencia

Su precio es alto pero es compensado, en especial cuando la oferta del servicio requiere una alta Calidad de Servicio (QoS). La mayor ventaja es el uso exclusivo del espectro. Está protegido de la interferencia externa.

El espectro que requiere licencia se encuentra en 700 MHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz y 3.5 GHz; de éstas, las últimas dos bandas de frecuencia (2.5 y 3.5 GHz) son las que en la actualidad reciben mayor atención. La banda del espectro 2.5 GHz está disponible para uso terrestre en:

- América del Norte.
- América Latina.
- Eventualmente en Europa cuando la banda de extensión 3G salga a licitación en los próximos años.

La banda de frecuencia 3.5 GHz está disponible en casi todos los países como lo muestra la figura 2.25, con excepción de los Estados Unidos. Esta banda no permite

handoff⁶⁶ entre celdas, lo que no resulta ideal cuando se intenta ofrecer un servicio móvil de voz y de datos. Se cree que 3.5 GHz no es adecuada para la movilidad, en gran parte debido a la propagación de RF en está frecuencia.

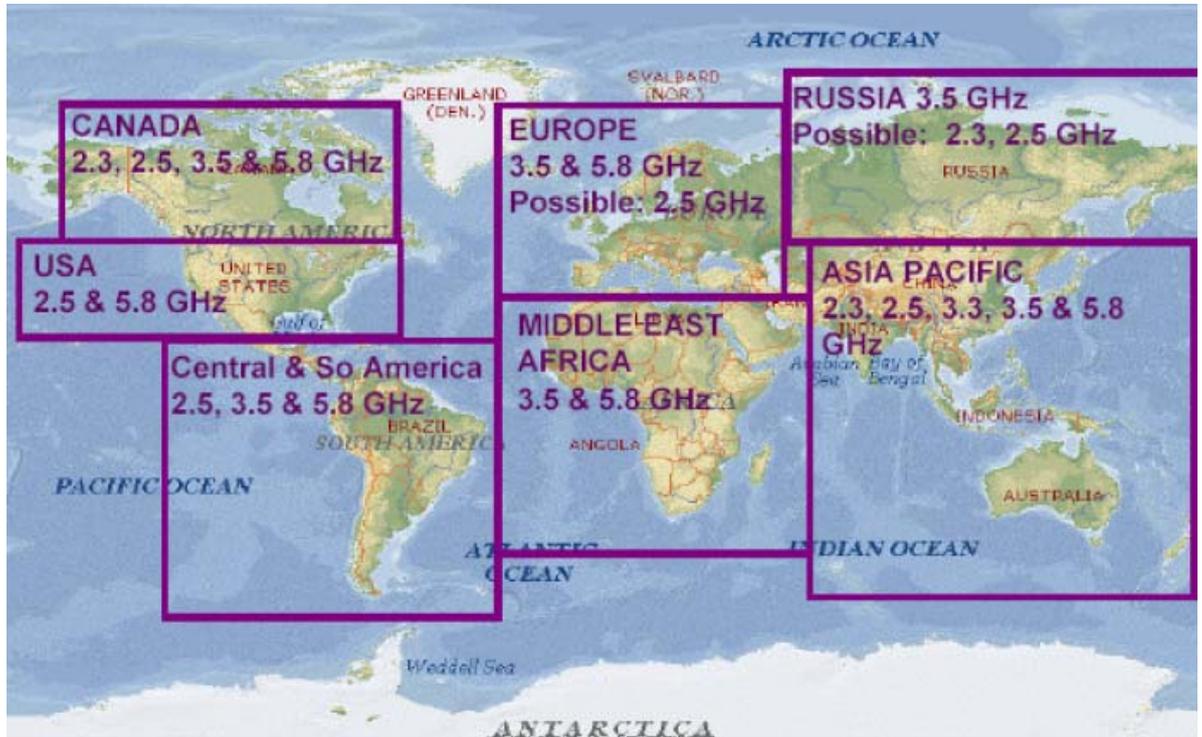


Figura. 2.25. Espectros de Frecuencia por Región

En este momento, no hay un perfil WiMAX para el espectro de 700 MHz. La banda del espectro 700 MHz es muy utilizada en muchas regiones del mundo, entre ellas América del Norte y la mayor parte de Europa. Este espectro está siendo utilizado por emisoras analógicas de TV, lo que puede producir interferencia entre los servicios. Con la transición a la TV digital, se liberará este espectro para otros posibles usos. Beneficiando a regiones remotas por las condiciones de propagación favorables en *frecuencias más bajas*⁶⁷

⁶⁶ Transferencia de celdas en CDMA, usado para transferir llamadas entre celdas, reduciendo inteligentemente el riesgo de interferencia durante la transferencia.

⁶⁷ Cuanto más baja es la frecuencia, más lejos se puede propagar la señal, si las demás condiciones son las mismas

El empleo de la banda del espectro 2.3 GHz está muy limitado en este momento a ciertas aplicaciones de Corea del Sur (WiBro), Australia, Nueva Zelanda y los Estados Unidos como lo muestra la figura 2.25. Si bien hay un espectro 2.3 GHz disponible en los Estados Unidos, no es atractivo para WiMAX, en especial porque el uso en los canales adyacentes limita el ancho de banda disponible.

2.11. ESTRUCTURA EXTREMO A EXTREMO PARA DIVERSIFICAR SERVICIOS

Está estructura extremo a extremo (E2E) que se muestra en la figura 2.26 permite dar soluciones en diferentes sectores de consumo como servicios públicos, corporativo y residencial de uso masivo. Está estructura consta de los siguientes elementos que se especifican en la figura 2.27.

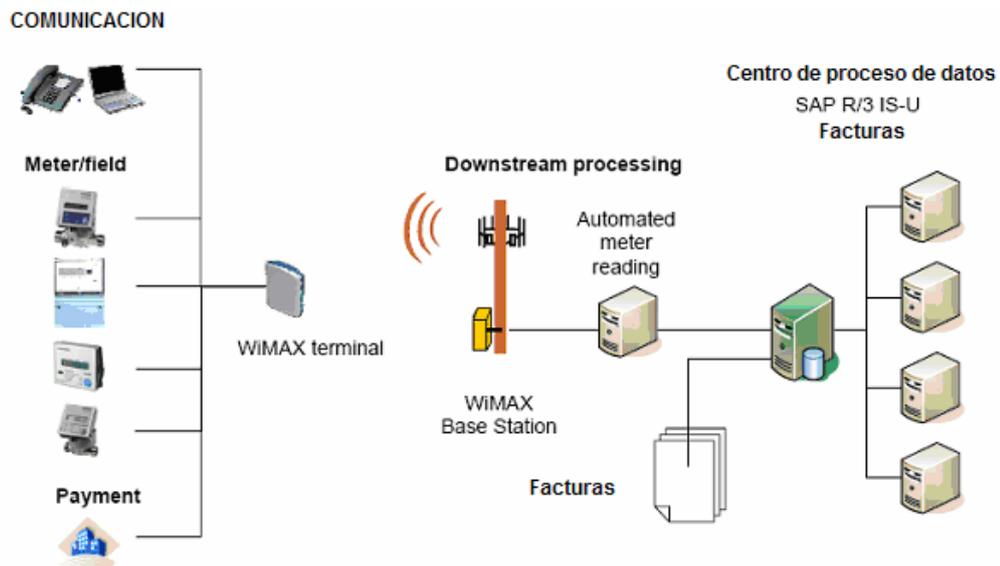


Figura. 2.26. Estructura E2E

- Para entornos residenciales y empresas tipo PYME's.
- Entornos poco desarrollados, SoHo⁶⁸.
- En los hotspots comerciales.
- Red de transmisión para redes móviles.
- Complemento al área de cobertura de operadores WiFi.
- Dentro del hogar del usuario otorgando voz, video y datos como lo muestra la figura 2.29.

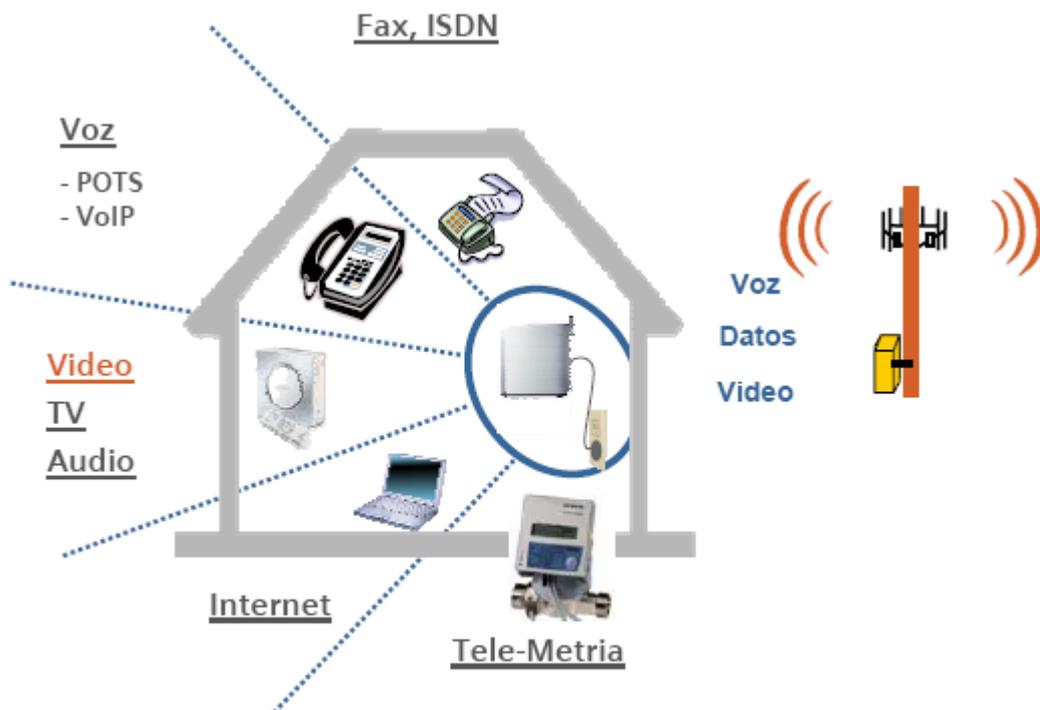


Figura. 2.29. Servicios indoor

Posteriormente con la incorporación de la variante del estándar IEEE 802.16e aparecerán las aplicaciones nómadas y con ellas su posible uso como alternativa inalámbrica en redes de cliente así como con la existencia de PCMCIA's⁶⁹ WiMAX para portátiles.

⁶⁸ Small office home office

⁶⁹ Asociación internacional de tarjetas de memoria para computadoras personales

2.13. ASPECTOS TÉCNICOS

2.13.1. Capas del modelo OSI: Capa Física (PHI) y capa (MAC)

El modelo OSI (*Interconexión de Sistemas Abiertos*) permite determinar dos aspectos fundamentales para el estándar IEEE 802.16 como son la transmisión al medio, esto se lo hace por medio de la capa física y el enlace que se lo hace a nivel MAC (*Control de Acceso al Medio*), estas características se las muestra en la figura. 2.30.

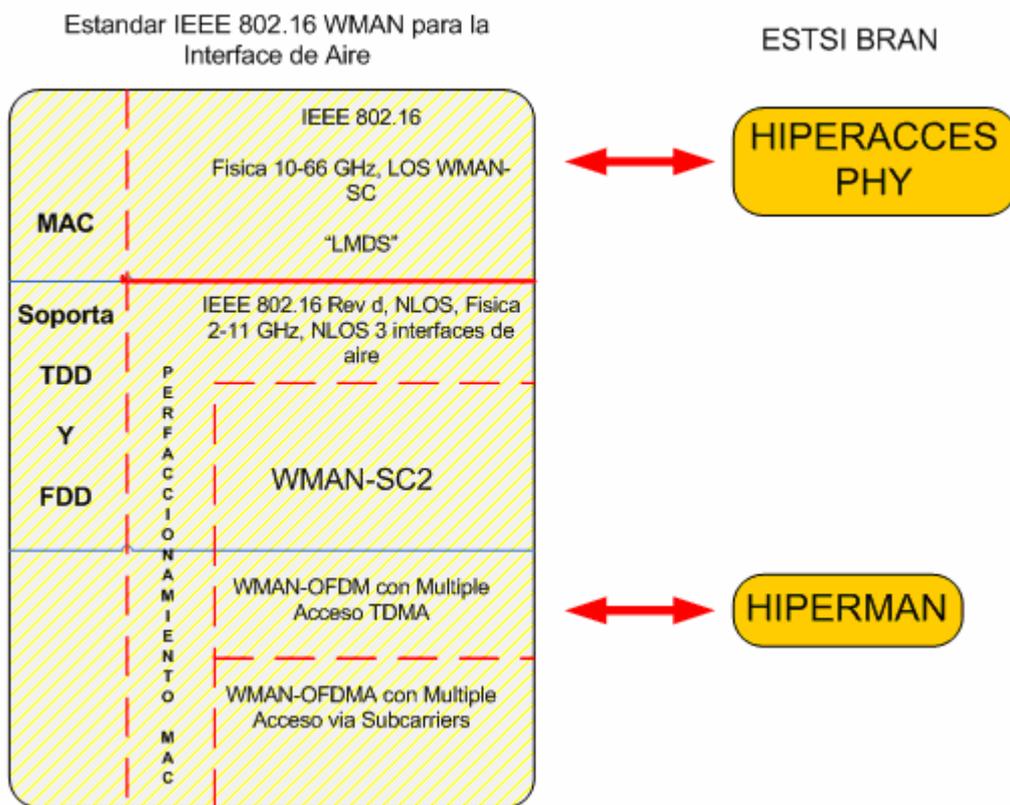


Figura. 2.30. Capa Física y MAC del modelo OSI

2.13.1.1. Especificación MAC

Una red que utiliza un medio compartido debe proveer un mecanismo eficiente de colaborar. Las topologías PMP (Punto-Multipunto) y Mesh (Malla) de las redes inalámbricas son ejemplos de medios inalámbricos compartidos.

Topología Punto-Multipunto (PMP)

El enlace inalámbrico IEEE 802.16 opera con la Estación de Radio Base central (BSR), y una antena sectorizada la cual es capaz de manejar múltiples sectores independientes simultáneamente como se lo muestra en la figura. 2.31.

La BSR es el único transmisor funcionando en esta dirección. Solo debe coordinar la duplexación por división de tiempo (TDD).

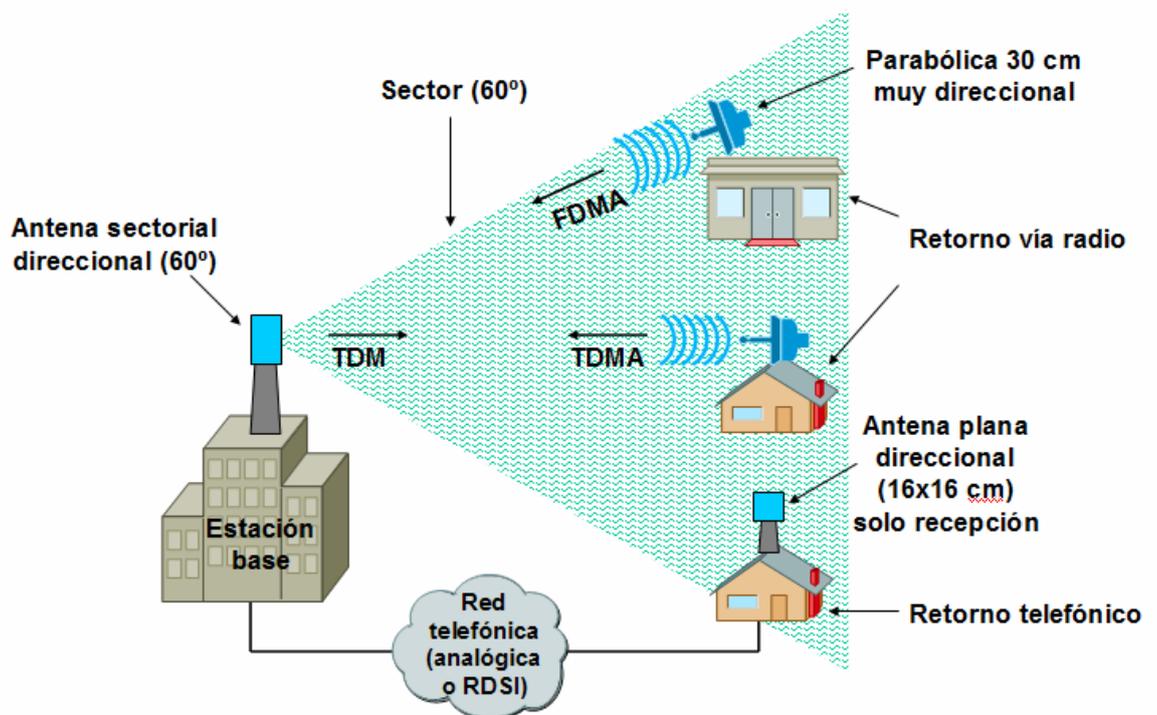


Figura. 2.31. Topología PMP

Las Estaciones de Abonado (SS) comparte el *uplink* hacia la BSR. En general las aplicaciones de datos son tolerantes al retardo, pero las de tiempo real como video y voz requieren servicio de manera uniforme y a veces en un esquema muy rígido. La capa MAC está orientado a conexión. Una conexión define el mapeo entre el proceso de convergencia que utiliza el MAC y el flujo de servicio. El flujo de servicio define los parámetros de QoS para *uplink* y *downlink* que son intercambiados en la conexión. Una vez establecidas las conexiones se requiere mantenimiento activo, este mantenimiento varia dependiendo del tipo de servicio conectado.

Topología Mesh (Malla)

La diferencia principal entre los modos Mesh y PMP radica en que en el modo PMP el tráfico sólo ocurre entre la BSR y SS, mientras que en el modo Mesh el tráfico puede ser rutiado a través de SS's y puede ocurrir directamente entre SS's, como lo muestra la figura 2.32. En general, los sistemas de la red Mesh son denominados nodos.

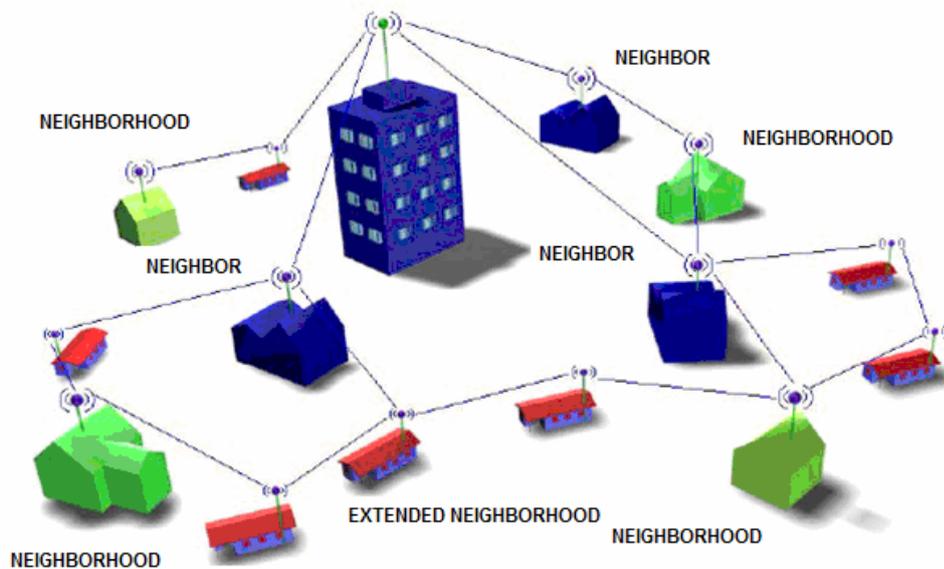


Figura. 2.32. Topología mesh

Existen tres términos importantes en un sistema Mesh que son: *neighbor*, *neighborhood* and *extended neighborhood*. Las estaciones con las que el nodo tiene

vínculo directo son llamadas *neighbor*. Los *neighbor* de un nodo deben formar un *neighborhood*. Un *extended neighborhood* contiene todos los *neighbor* de un *neighborhood*. Los sistemas Mesh son típicamente omnidireccionales o para antenas dirigidas de 360°.

2.13.1.2. Especificación de la capa física (PHY)

La capa física aérea es la base de las comunicaciones por aire sobre las cuales todas las señales de control, como también los tráficos de voz y datos son transmitidos. La capa física provee lo siguiente:

- Transmisión y recepción de tráfico de voz, datos y señales de control.
- Esquema de modulación adaptada.
- Codificación con corrección de errores sin canal de retorno (FEC), detección de mensajes alterados.
- Control de potencia de transmisión para minimizar interferencias en el mismo canal.
- Medida y almacenaje de la métrica de rendimiento de la capa física tanto en la estación base como en los CPE's para respaldar la asignación de los canales, la optimización de la red y la vulnerabilidad del rendimiento.

La capa física aérea está basada sobre una forma de onda OFDMA consistente de múltiples canales en dominio de la frecuencia, como también de múltiples ranuras en el dominio del tiempo, por canal de frecuencia. La transmisión entre la estación de radio base (BSR) y los CPE's son efectuados en modo de duplexación por división de frecuencia (FDD) usando separadamente la transmisión en el enlace de bajada (DL-*estación base a CPE*) y enlace de subida (UL-*CPE a estación base*)

La especificación PHY WiMAX está compuesta por 3 secciones a saber:

- WirelessMAN-SC PHY
- WirelessMAN-SCa

- **WirelessMAN-OFDM**

Cada sección es una variante del estándar según las técnicas de modulación y banda de frecuencias para las cuales se ha desarrollado el mismo.

WirelessMAN-SC PHY

Esta especificación está destinada para operación en la banda de frecuencia de 10-66 GHz, está diseñada con un alto grado de flexibilidad para permitir optimizar los sistemas con respecto al planeamiento celular, costo, capacidades de radio, servicios y capacidad. De manera de permitir el uso flexible del espectro, soportan las configuraciones de duplexación TDD y FDD. El enlace de subida (UL) está basado en la transmisión *burst*⁷⁰ TDMA.

WirelessMAN-SCa PHY

El PHY WirelessMAN-SCa está basado en una tecnología de portadora simple y diseñada para operación NLOS en bandas de frecuencias por debajo de 11 GHz. Los elementos dentro de la capa física (PHY) incluyen:

- Definiciones TDD y FDD. Uplink TDMA. Downlink TDM o TDMA.
- Modulación adaptativa por bloque y codificación FEC (*Corrección de Errores en la Fuente*) para UL y DL.
- Estructura de framing que mejora la ecualización y el rendimiento de estimación de canal a través de NLOS.

WirelessMAN OFDM

El WirelessMan-OFDM PHY está basado en modulación OFDM y diseñado para operación NLOS en las bandas por debajo de los 11 GHz. Las características generales de la capa física y sus beneficios para enlazarse al medio se los puede ver en la tabla. 2.3.

⁷⁰ Una secuencia de señales transmitidas conteniendo uno o más errores pero reconocida como una unidad en error de acuerdo a una medida preestablecida. Pueden causar pérdida de sincronización entre la estación emisora y la receptora, y plantear la necesidad de realizar un proceso de resincronización.

Tabla. 2.3. Características generales de la Capa Física

Característica	Beneficio
256 puntos FFT con una onda OFDM	Construir un soporte para dirigirse por multitrayectorias en outdoor LOS y en ambientes NLOS
Modulación adaptativa y codificación variable	Garantiza un robusto enlace RF mientras maximiza el número de bps para cada abonado
Soporta duplexación TDD y FDD	La regulación mundial verifica la sumatoria de ondas, donde uno o más pueden ser permitido
Flexibilidad en el tamaño del canal. (3,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz)	Provee la flexibilidad necesaria al operar en diferentes bandas de frecuencias con un requerimiento mundial de verificación de canal
Soporta un sistema de antenas inteligentes	Las antenas inteligentes son rápidas, de costo bajo y su habilidad a superar interferencias e incrementar el sistema de ganancia empezando un importante desarrollo de BWA (<i>Acceso Inalámbrico de Banda Ancha</i>)

La tecnología OFDM provee de un medio eficiente para superar los desafíos de la propagación NLOS. La habilidad de superar la dispersión de retardo, los multicaminos, y la Interferencia Intersímbolo (ISI) en una manera eficiente, permite tener mayores tasas de transferencias, OFDM utiliza el espectro de manera mucho más eficiente que FDMA y CDMA, estas características se las detalla en la tabla. 2.4, dado que cada portadora es ortogonal a las demás, permitiendo que las mismas puedan alojarse muy juntas sin riesgo de que se interfieran entre sí, cada color representa a un usuario como lo muestra la figura 2.33. Se debe tomar en consideración la Subcanalización.

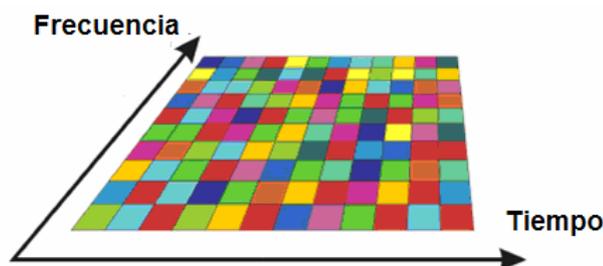


Figura. 2.33. Modulación OFDM

Tabla. 2.4. Comparación entre OFDM y CDMA

OFDM Vs CDMA		
Comparación desde la perspectiva del sistema		
Características	OFDM	CDMA
Eficiencia Espectral	Más eficiente	Menos eficiente
Múltiple trayectoria	Maneja múltiples trayectorias	algunos beneficios de diversidad,
Soporte de Multi Modulación	Para Uplink y Downlink	Solo Downlink
Resistencia a interferencias de Banda Estrecha	No es tan robusta como CDMA	Protección por Spread Spectrum
Planificación de la Red	La planificación es simple	La planificación es compleja
Control de Potencia	Usualmente empleada pero no es un requerimiento fundamental	Requerimiento da la función de potencia
Factor cresta	10-12 dB	puede ser tan alta como 11 dB
Interoperabilidad con otros sistemas	WLAN, IEEE 802.16, 4G	WLAN, 3G

Por todas estas razones los estándares internacionales recientes como aquellos fijados por el IEEE 802.16, ETSI BRAN⁷¹ y ETRI, han establecido el OFDM como tecnología de elección preferida.

Subcanalización.

La subcanalización en el enlace ascendente (*uplink*) es una opción dentro de WiMAX. Sin la subcanalización causa que el supuesto de enlace sea asimétrico, limitado en el enlace de subida (UL). La subcanalización concentra la potencia transmitida en algunas portadoras OFDM, incrementa la ganancia del sistema, extiende el alcance del mismo, transmite con múltiples usuarios simultáneamente en diferentes subcanales, supera las pérdidas de penetración de construcciones y/o reducir el consumo de potencia del equipo de abonado (CPE), esto se lo puede representar en la figura 2.34.

⁷¹ Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones. Cuerpo autónomo que reemplaza al CEPT encargado de escribir los estándares europeos. Red de Radio de banda Ancha y área extensa (BRAN) es su estándar

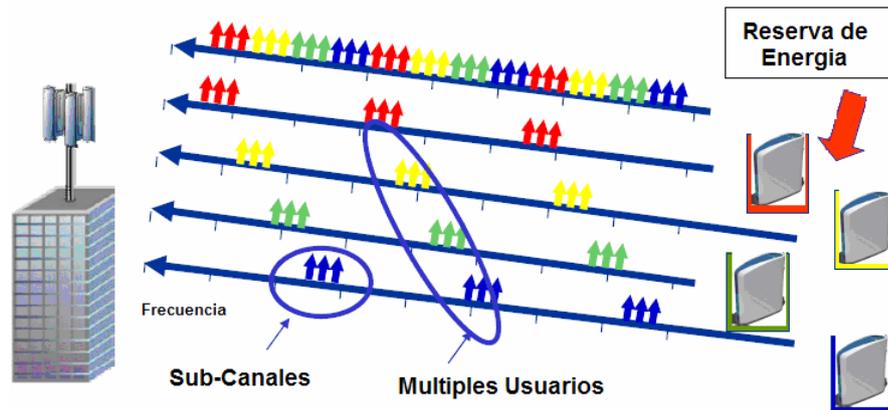


Figura. 2.34. Subcanalización

Múltiple Entrada Múltiple Salida (MIMO)

Se refiere a enlaces de radio con múltiples antenas tanto en el extremo del transmisor (Tx) como en el receptor (Rx).

Un canal de ancho de banda considerable se ve afectado por el desvanecimiento selectivo (*fading*). Si se separa la señal en varias subseñales de menor ancho de banda, sólo algunas de ellas se ven afectadas por ese fading OFDM. Si se emplean técnicas que permitan que cada una de esas subseñales sea transmitida por antenas diferentes, y recibidas por antenas diferentes, se logra un excelente desempeño (*performance*), lográndose importantes mejoras en sistemas NLOS, a diferencia de los sistemas SISO (*Simple Entrada Simple Salida*) que solo poseen en su sistema una canal de transmisión Tx y un canal receptor Rx, estas características se las puede apreciar en las figuras 2.35 y 2.36.

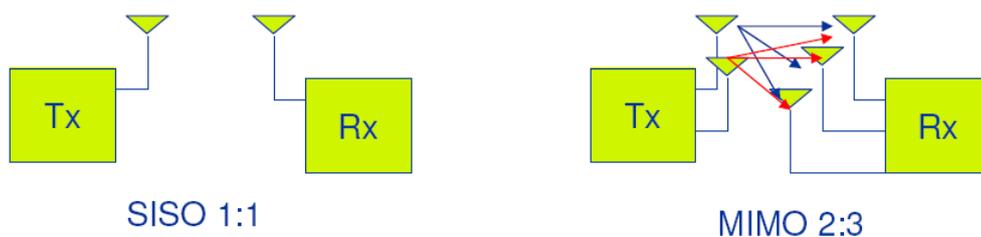


Figura. 2.35. Enlace SISO y MIMO

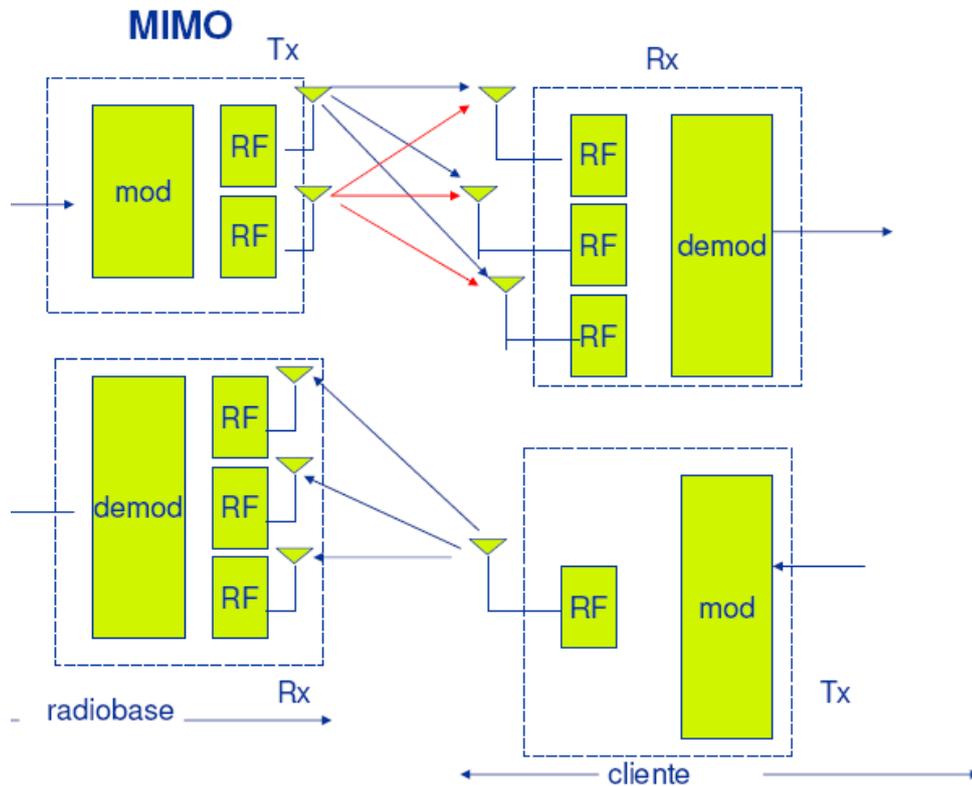


Figura. 2.36. Estructura MIMO entre el servidor y abonado

2.14. TÉCNICAS DE ACCESO

2.14.1. Acceso al medio

Puesto que el sistema es punto a multipunto incorpora un mecanismo de acceso múltiple al enlace ascendente (UL), el esquema utilizado es TDMA (*Time Division Multiple Access*), este tipo de acceso se los puede ver en la figura. 2.37. La organización de dicho enlace ascendente viene determinado por la estación base, que lo propaga a todas las estaciones terminales mediante el enlace descendente (DL).

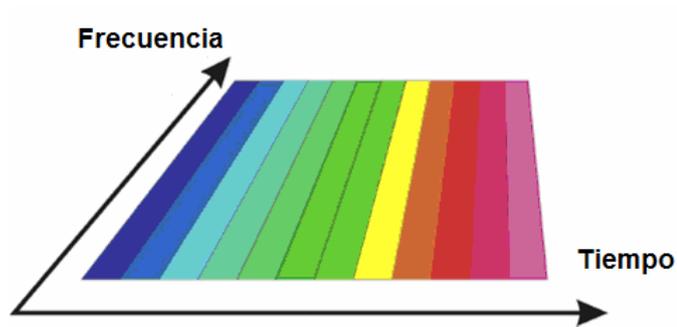


Figura. 2.37. Técnica de acceso TDMA

2.14.2. Métodos de duplexación

Se contempla 2 métodos de duplexación, los mismos que permiten en diferentes situaciones asignaciones de bloques de frecuencia en dos bandas, una sola banda etc, la figura 2.38 nos muestra estas diferencias. Las características técnicas de los métodos de multiplexación FDD (*Frequency Division Duplexing*) y TDD (*Time Division Duplexing*) se los determinan en la tabla 2.5.

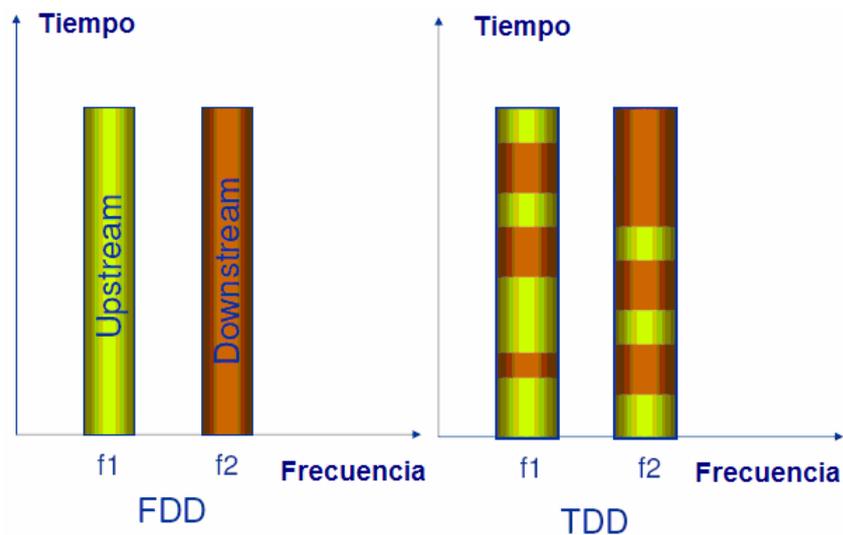


Figura. 2.38. Modos de Duplexación

2.14.2.1. Sistema de duplexación por división de frecuencia (FDD)

Los sistemas duplexación (FDD) transmiten con una frecuencia y reciben a otra frecuencia distinta, esto se lo ilustra en la figura. 2.39. Soporta una estación de abonado SS's full duplex y half duplex los cuales transmiten y reciben simultáneamente.

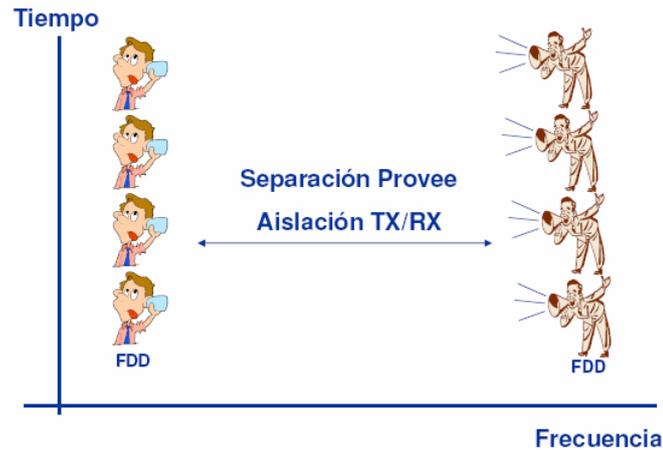


Figura. 2.39. Sistema FDD

2.14.2.2. Sistema de duplexación por división de tiempo (TDD)

Los sistemas duplexación (TDD) transmiten y reciben sobre la misma frecuencia pero en diferentes instantes de tiempo como lo muestra la figura 2.40. El canal downlink es TDM con la información para cada SS multiplexado en un solo arreglo de datos y recibida por todas las SS's dentro de un mismo sector.

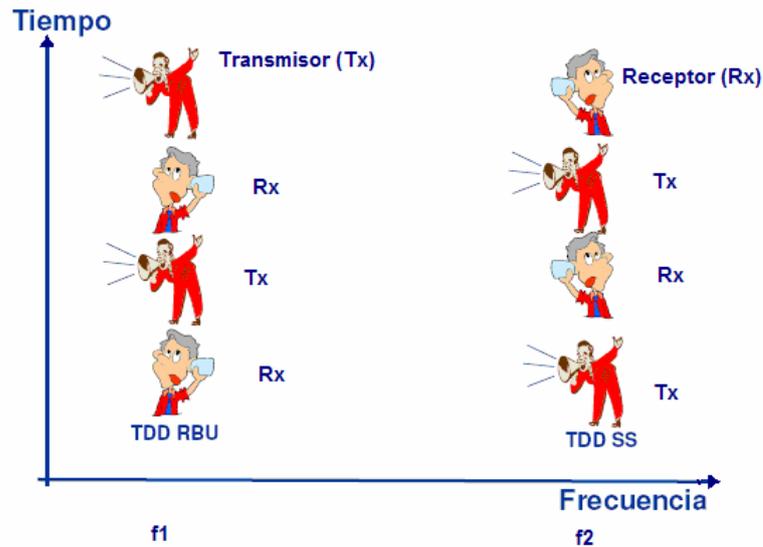


Figura. 2.40. Sistema TDD

2.14.3. Tipos de modulación

El estándar 802.16 es complejo, la banda de operación está entre 2 y 60 GHz, con modulación OFDM, variantes de la capa física, duplexación en el tiempo y en frecuencia. Gracias a la utilización de OFDM permite operar sin visibilidad directa (NLOS) entre transmisor y receptor. El sistema contempla un juego de modulaciones adaptativas para ser capaz de elegir la que mejor se adapte a cada circunstancia entre la estación base y el equipo de abonado. El juego se compone de:

- BPSK.
- QPSK.
- 16 QAM.
- 64 QAM.

En donde las que predominan son QPSK y 16 QAM, el tipo de modulación va relacionada directamente con el área de cobertura como lo ilustra la figura. 2.41, de ahí la importancia de la elección de un buen sistema de modulación.

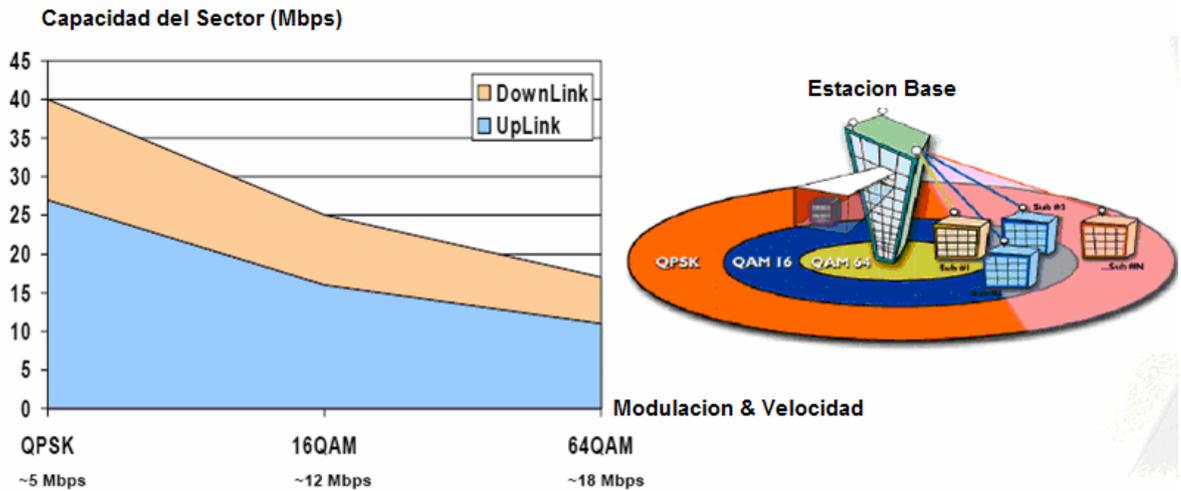


Figura. 2.41. Modulación Adaptativa

2.14.3.1. Modulación PSK (Phase Shift Keying)

Consiste en modular una señal sinusoidal de amplitud constante, en donde los valores de fase adoptados son función de los datos de entrada.

2.14.3.2. Modulación BPSK (Biphase Phase Shift Keying)

La señal codificada ingresa a un multiplexor el mismo que conmuta la fase de la señal portadora, dependiendo de la condición lógica de la entrada digital, la portadora se transfiere a la salida, ya sea en fase 0° o 180° fuera de fase como lo muestra la figura 2.42 con el oscilador de la portadora de referencia.

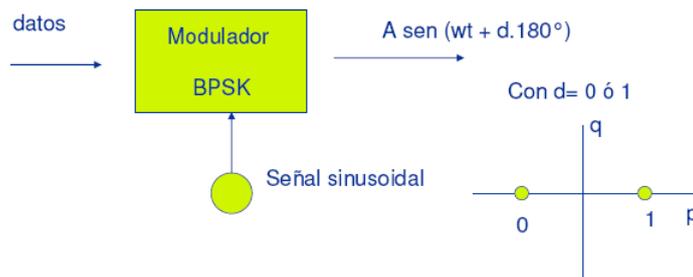


Figura. 2.42. Diagrama BPSK

2.14.3.3. Modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

Este tipo de modulación es usada para transmitir 1 y 2 Mbps, con una tasa de 10 chips⁷². En la figura 2.42 se muestra la etapa de modulación la cual se envía en cuatro fases.

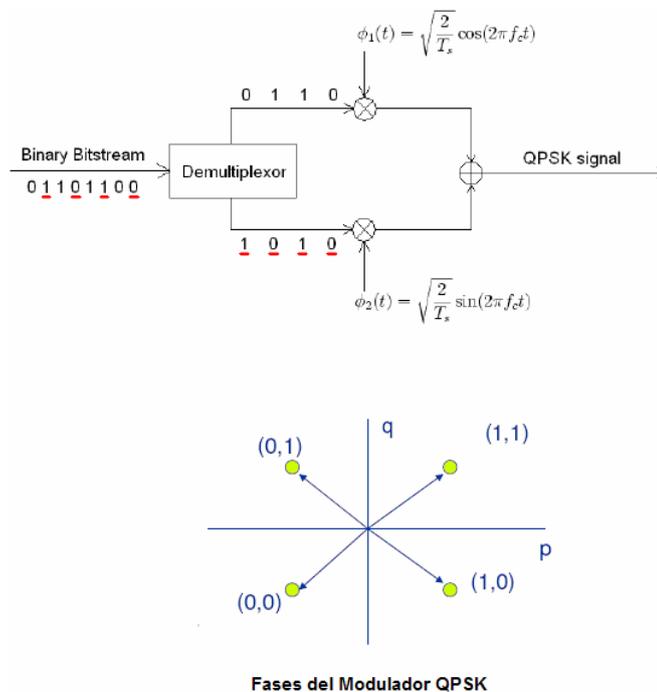


Figura. 2.42. Esquema de modulación QPSK

2.14.3.4. Modulación QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

Es un esquema de modulación digital en banda base que combina asignación de diferentes amplitudes y fases para cada símbolo como lo muestra la figura. 2.43.

⁷² Velocidad del código

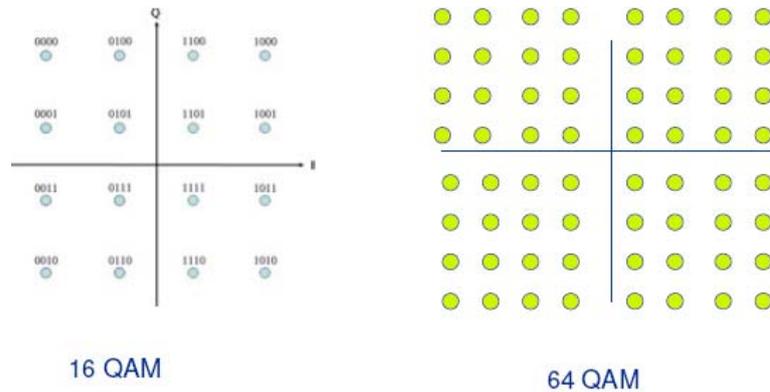


Figura. 2.43. Esquema de modulación QAM

2.14.3.5. Modulación CCK

Para transmitir a una velocidad de 11 Mbps se trabaja con CCK (*Complementary Code Keying*) con una tasa de 8 chips. La modulación CCK es menos afectada por la distorsión por trayectorias múltiples que otros métodos de modulación, como QPSK y BPSK.

2.14.3.6. Modulación Adaptativa

La modulación adaptativa permite al sistema WiMAX ajustar el sistema de modulación dependiendo de la condición de relación Señal-Ruido (SNR) del enlace de radio. Cuando el enlace de radio tiene alta calidad, es usado el esquema de modulación más alto, dando al sistema mayor capacidad. Durante la pérdida de la señal, el sistema WiMAX puede cambiarse a un esquema de modulación menor para mantener la calidad de conexión y estabilidad del enlace (ver figura. 2.41). La característica clave de la modulación adaptativa es que incrementa el rango sobre el cual puede ser usado un esquema de modulación superior.

Las velocidades de transmisión de datos varían dependiendo del tipo de modulación que se este aplicando y de la frecuencia con la que se trabaje, esto se lo indica en la tabla. 2.5.

Tabla. 2.5. Velocidad versus Modulación

Velocidad para la banda de 3,5 GHz						
Modulación	QPSK (Mbps)	QPSK (Mbps)	16 QAM (Mbps)	16 QAM (Mbps)	64 QAM (Mbps)	64 QAM (Mbps)
Code Rate	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$
1,75 MHz	1,04	2.18	2.91	4.36	5.94	6.55
3.5 MHz	2.08	4.37	5.82	8.73	11.88	13.09
5 MHz	4.16	6.23	8.31	12.47	16.62	18.7
7 MHz	4.15	8.73	11.64	17.45	23.75	26.18
10 MHz	8.31	12.47	16.63	24.94	33.25	37.4
20 MHz	16.62	24.94	33.25	49.87	66.49	78.81

2.15. TECNOLOGÍAS DE ENLACE AÉREO

Un elemento importante de cada fabricante, es la forma en que se administrará el enlace aéreo. En un sistema PMP, la administración del enlace aéreo es el método por medio del cual el espectro radial se pone a disposición de los usuarios. Los enfoques utilizados para la administración del enlace aéreo en los sistemas PMP (OFDMA, FDD y TDD) están bien establecidos, se utilizan en todo el mundo.

La figura 2.44 presenta los términos usados comúnmente y sus correspondientes definiciones.

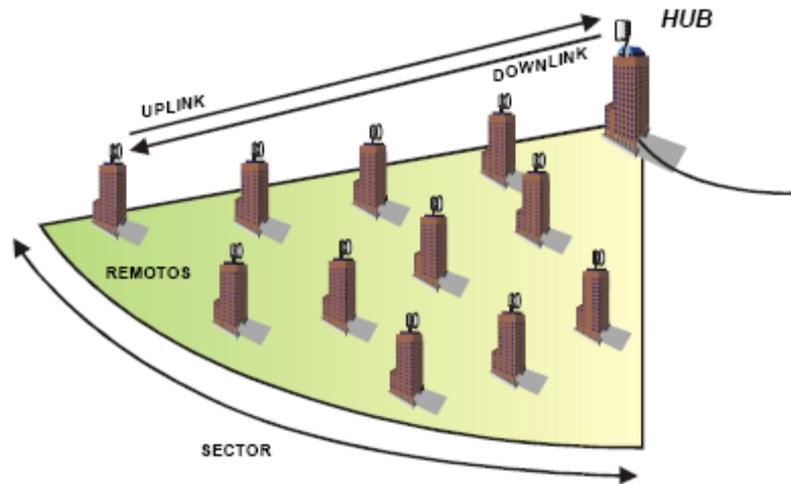


Figura. 2.44. Definiciones de los elementos del enlace aéreo

- **Hub o Base Station:** el bloque de construcción de un sistema PMP es el hub, el punto central dentro de un área de cubrimiento de radio. Todo el tráfico PMP fluye a través de hubs.
- **Remotos o terminales de suscriptor:** los hubs se comunican con los terminales remotos, los cuales están ubicados en la localidad del cliente. El enlace aéreo existe entre los hubs y los remotos.
- **Downlink y Uplink:** las comunicaciones desde el hub a los remotos se presentan en el downlink. El uplink representa comunicaciones en la dirección contraria.
- **Canal:** (no mostrado): el ancho de banda global de radio está dividido en unidades llamadas canales. Un canal es el volumen de ancho de banda con una asignación conocida de frecuencia, administrado como una corriente individual de información.
- **Sector:** para concentrar la potencia y aumentar la cobertura, el área de 360° del hub se divide en sectores. Los sectores PMP típicamente se encuentran dentro de los 22.5° y los 90°.

Se proporciona en esta interfaz una tecnología OFDM avanzada para proveer una cobertura predecible del 95% en cualquier sector. La interfaz OFDM mejora el diseño estimado del enlace en un medio que tenga características NLOS para ofrecer un enlace de calidad superior, de capacidad de red y de rango de cobertura.

La interfaz aérea usa las técnicas siguientes para aumentar la capacidad del abonado y las tasas de caudal de tráfico:

- La forma de onda OFDM provee unas tasas de flujo de tráfico de datos más altos mediante la eliminación de interferencias intersímbolos (ISI).
- La transmisión con características NLOS aumenta las opciones de despliegue y el número de abonados dentro de un área de cobertura mediante la transmisión de una señal por un trayecto directo, trayectos múltiples reflejados, como también en trayectos con difracción y dispersos.
- La modulación adaptativa permite que la estación base maximizar su capacidad, manteniendo la calidad de voz y la estabilidad en el enlace usando 64 QAM cuando un enlace de radio es de alta calidad, ajustándose a un esquema de modulación inferior, tal como 16 QAM, 8 QAM, o QPSK.
- Diversidad de trayectos RF para mitigar las condiciones de desvanecimiento de canal, explotando multitrayectos y reflexiones que ocurren en los ambientes NLOS para mejorar la propagación de los enlaces.
- Asignación Dinámica de Canal (DCA) que permita a la estación base asignar un canal de tráfico con una calidad de señal más alta e interferencia más baja, como también efectuar una transferencia de canal que asegure un servicio de alta calidad si la señal se degrada durante una llamada.

A través de WirelessMAN MAC, cada BSR asigna un ancho de banda para *uplink* y *downlink*. El protocolo MAC controla el medio de comunicación de manera de que las unidades de abonado sólo transmitan en el momento asignado, esto se lo ilustra en la figura. 2.45.

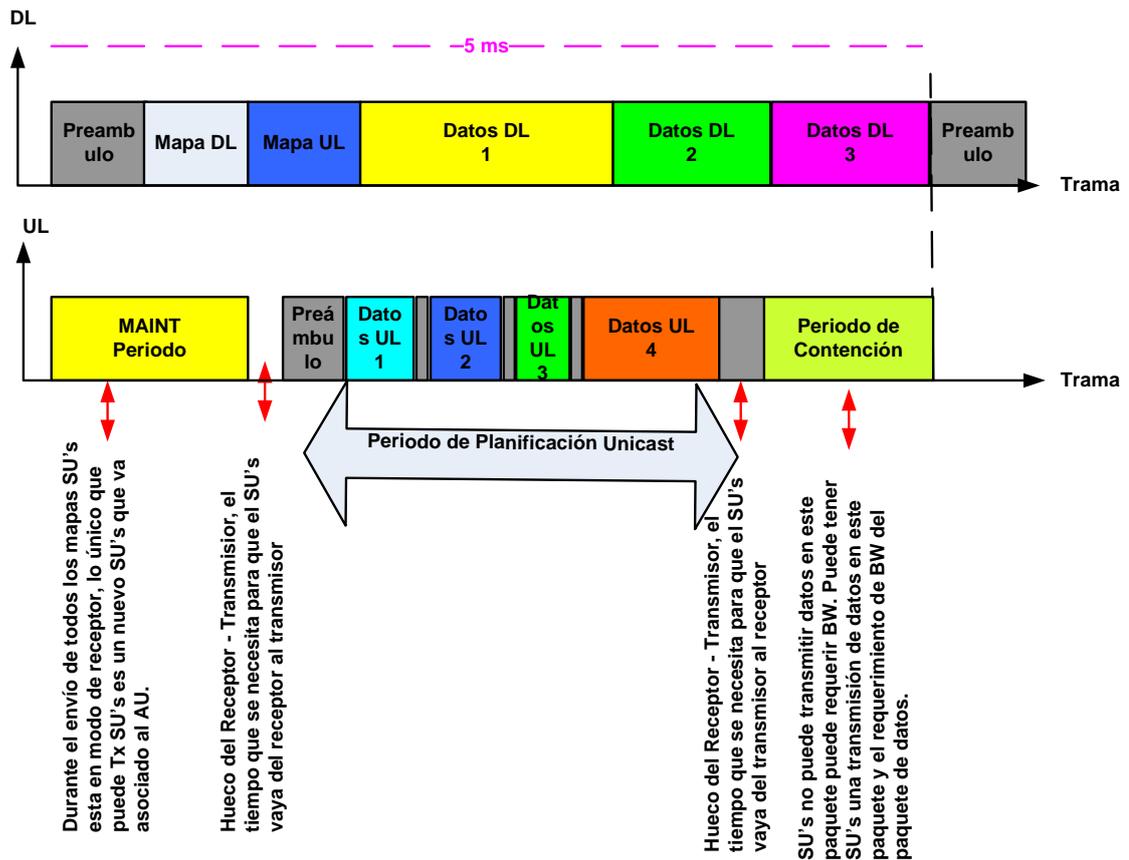


Figura.2.45. Interfaces Air MAC

2.16. PROPAGACIÓN DE WiMAX

Mientras varias tecnologías disponibles actualmente para enlaces inalámbricos fijos de banda ancha solo proveen cobertura en condiciones de línea de vista (LOS), la tecnología WiMAX ha solucionado este problema para proveer una excelente cobertura sin línea de vista (NLOS) adaptándose a las necesidades requeridas. Esta tecnología combina las dos condiciones permitiendo la mejor cobertura de larga distancia hasta 50 Km en condiciones LOS y celdas de radio típicas hasta los 8 Km dentro de condiciones NLOS.

2.16.1. NLOS y LOS

El canal de radio de un sistema de comunicaciones inalámbrico es descrito a menudo como LOS o NLOS.

2.16.1.1. Enlace con línea de vista (LOS)

Cuando el enlace es LOS, la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor. Un enlace LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de obstrucciones (*0.6 dB de la primera zona de Fresnel*) (figura. 2.46.). Si no se cumple este requerimiento existirá una reducción significativa de la intensidad de señal. La zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras.

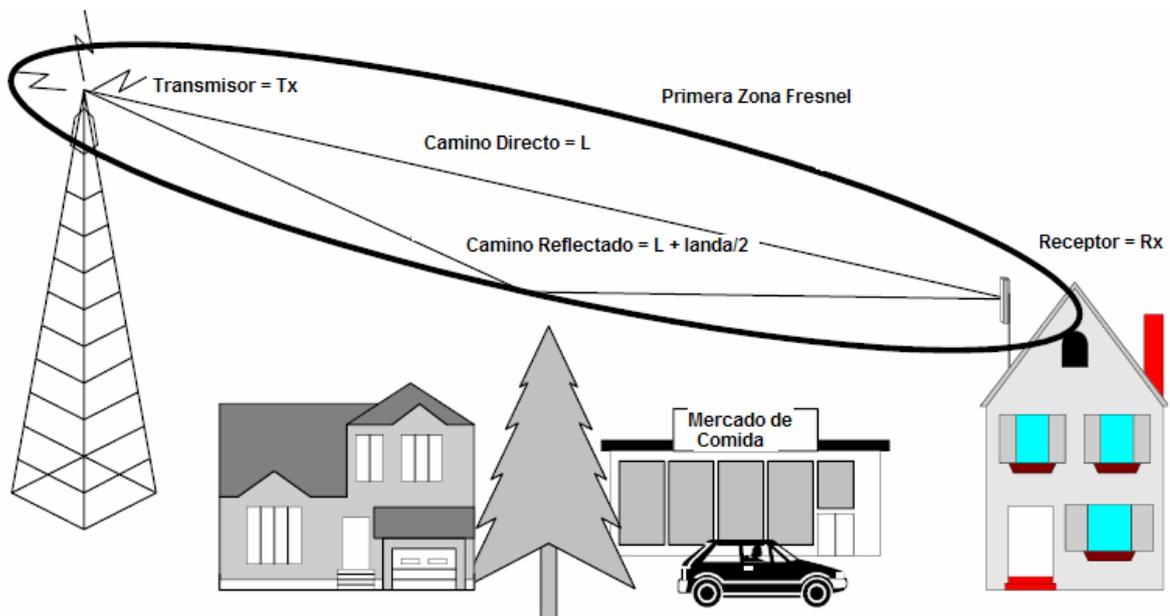


Figura. 2.46. Zona de Fresnel LOS

2.16.1.2. Enlace sin línea de vista (NLOS)

En un enlace NLOS, la señal alcanza al receptor por medio de *reflexiones*⁷³, *difracciones*⁷⁴ y *dispersiones* como se lo indica en la figura. 2.47. Estas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa al camino directo.

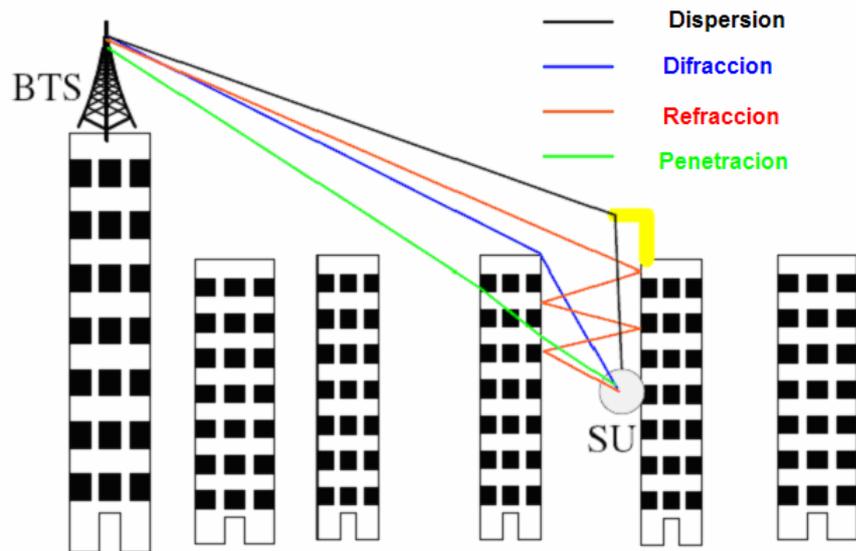


Figura. 2.47. Zona de Fresnel NLOS

El fenómeno de caminos múltiples puede también causar el cambio de la polarización de la señal, de tal manera que si se usa polarización para re-uso de frecuencias, como es realizado normalmente en los sistemas LOS, puede ser problemático para los sistemas NLOS. La manera en que los sistemas de radio usan estas señales de múltiples caminos como una ventaja, es la llave para proveer servicio en aplicaciones NLOS.

⁷³ Rayo incidente y el reflejado están en un mismo plano y son iguales el ángulo de incidencia y el de reflexión.

⁷⁴ Fenómeno por lo cual se produce una desviación de los rayos luminosos cuando pasa por un cuerpo opaco

Ventajas de un enlace NLOS

- Para los celulares es de vital importancia la movilidad de las antenas para disminuir la interferencia co-canal entre celdas adyacentes.
- La tecnología NLOS también reduce los gastos de instalación del equipamiento de abonado (CPE).
- Reduce la necesidad de un sitio de preinstalación mejorando, la precisión de las herramientas de planificación de NLOS permite usar equipos de abonado en interiores permitiendo:
 - Supera las pérdidas de potencia por penetración por edificio
 - Tiene cobertura a distancias razonables con la misma potencia de transmisión y ganancia de la antena.

2.17. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA WiMAX

El sistema WiMAX está compuesto por diferentes elementos como se muestra en la figura 2.48 los mismos que se detallaran a continuación.

El sistema de WiMAX provee la solución para el acceso inalámbrico de la última milla de usuarios residenciales, SOHO (*Small Office-Home Office*) y SME (*Small- Medium size Enterprises*). WiMAX emplea enlaces NLOS con modulación OFDM acorde al estándar IEEE 802.16, WiMAX entrega servicios de voz, video y datos a una tasa de múltiples Mbps con QoS y Grado de Servicio (GoS)⁷⁵

WiMAX opera con IEEE 802.16e con modulación SOFDMA el cual ofrece un ancho de banda fijo y servicios nómadas que son características de IEEE 802.16-2004, el mismo que debe emigrar a otorgar servicios con características de portabilidad de 802.16e, el operador de WiMAX ofrece una variedad de servicios nómadas y portables en banda ancha y tiempo real, tales como:

⁷⁵ Grado de Servicio. Se expresa en porcentaje de llamadas bloqueadas. Generralmnete se planifica un GOS del 1%.

- Servicios de datos tal como HSIA (High Speed Internet Access), e-mail, descarga de archivos, descarga de música, flujo de audio.
- Alta calidad de video al momento de transmitirlo.
- Transmisión en tiempo real de voz (VoIP, transmisión del sonido en vivo).
- Video en tiempo real como por ejemplo video conferencias, video comunicaciones, juegos en red por Internet, transmisión de video en vivo.
- Servicios TDM.

El sistema WiMAX incluye la BSR, el CPE para usuarios residenciales y negocios, estos forman parte del servicio fijo y de portabilidad de la última milla. La estación base con una potencia alta y un costo efectivo completa la lista de requisitos que necesitan los usuarios residenciales y SME. Los detalles del sistema se lo pueden ver en la figura 2.48.

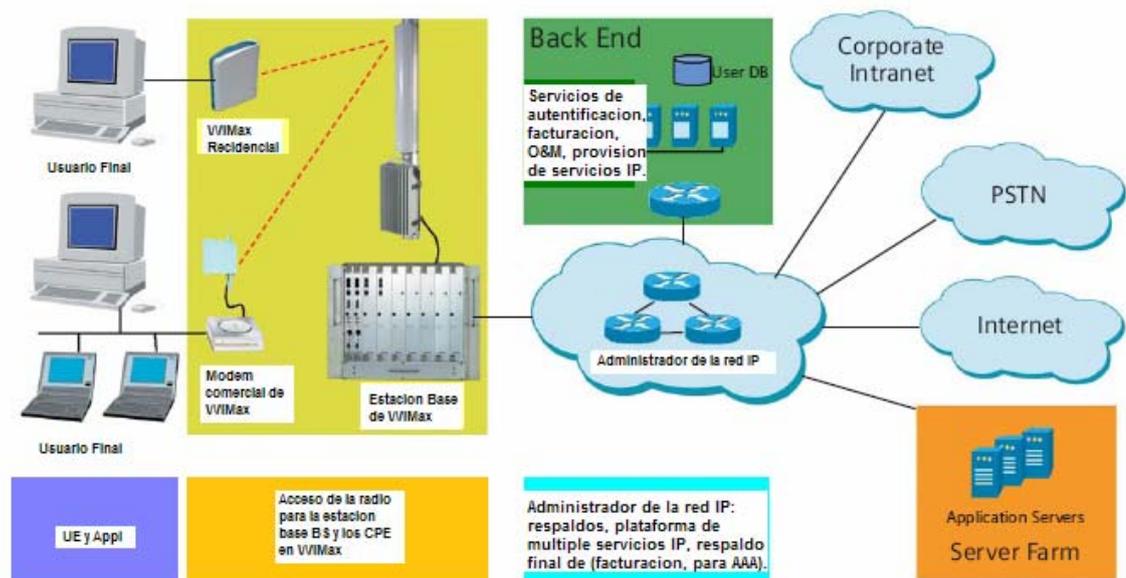


Figura. 2.48. Descripción del Sistema WiMAX

2.18. SEGURIDAD DE WiMAX

2.18.1. Introducción

La seguridad de WiMAX no es parte del Sistema de Apoyo de Funcionamiento (OSS), pero es una parte importante para el manejo del acceso a una red de banda ancha. De hecho la seguridad en términos de integridad de nuestra infraestructura de la red y seguridad de los usuarios es de suma importancia ya que no se puede considerar optativo, debido a que la seguridad depende el buen funcionamiento y la conformidad del usuario. Debido a la libertad que tiene los hackers para acceder a los medios de comunicaciones (Internet), se ha dado énfasis a la seguridad de los datos.

2.18.2. Políticas de Seguridad

Hoy en día cada negocio trabaja con una red privada, incluso una red de servicio público, requiere una política de seguridad que sea supervisada rigurosamente. Las políticas de seguridad deben estar alerta para detectar amenazas en los medios físicos y no únicamente a ataques remotos del Internet.

El operador de la red debe tener una política para tener el control de todos los usuarios que ingresan a la central. Cada vez más, empresas, gobiernos municipales usan redes inalámbricas de banda ancha para poder comunicarse, por tanto los usuarios deben tener la tranquilidad que la red no permite el acceso a los archivos de vital importancia por usuarios maliciosos.

Los archivos de vital importancia deben tener la seguridad de poderse transmitir por una Red Virtual Privada (VPN) si las redes públicas se encuentran intervenidas por los hackers. La red VPN debe usar encriptación y no simplemente un túnel de transporte de información.

2.18.3. Sistema de Seguridad Eléctrico

Un parámetro importante en la seguridad es la del sistema eléctrico, este debe ser de buena calidad, incluso poder operar cuando exista cortes eléctricos. En el caso de que la fuente de energía (CA) no sea estable, los excesos del voltaje nominal pueden ocasionar distorsión en la forma de onda de la Corriente Alterna (CA). Para poder tener un respaldo en el caso de que un equipo se dañe, el operador debe tener un equipo auxiliar.

2.18.3.1. Tecnología de seguridad

Proxy Server y Firewalls

La primera línea de defensa de administrador de la red es el Firewalls, pero no son considerados como una solución segura, estrechamente relacionados con los firewalls y muchas veces incluidos en la categoría están los Proxy Server. El Proxy Server protege la información vital y programas para los enlaces externos, evitando cualquier daño que los ataques a la red pueden ocasionar. Es decir el Proxy Server trabaja como un respaldo.

Programas de Diagnostico

Detecta la presencia de código malicioso y la actividad inusual en la red, este software puede ser dividido en dos divisiones primarias

- Auditoría para determinar la vulnerabilidad total de la red.
- Software usado para detectar anomalías rutinariamente.

En ambos casos el diseño debe estar actualizando constantemente el software para que sea efectivo ya que los hackers siempre están buscando nuevas maneras de camuflar sus identidades para poder acceder a la red.

Programas de Encriptación

Para gozar de una seguridad profesional se usa programas de encriptación, que permiten dar información de mucha importancia ilegible para los hackers. La encriptación por MODEM (*modulador/demodulador*) moderna tienen una efectividad alta, está permite decodificar la información codificada por intrusos que tienen acceso paralelo ilimitado al sistema de computación que se mantiene corriendo durante semanas lo que es casi imposible.

Las técnicas de encriptación usan rounds (*rondas*) que pueden volver a encriptar millones de números y así la encriptación de datos se torna imposible de descifrar. La encriptación es recomendable solo para una red virtual privada (VPN's)

Cuidando la Información de la Red de secuestros y código malintencionado

Para poder cuidar la red de secuestros el circuito del teléfono debe cambiar su Modo del Traslado Asíncrono (ATM), estos usan interruptores con la plataforma Unix. Hoy se usan dispositivos que usan plataformas abiertas como Linux, WINDOWS NT, o Java. Estas plataformas permiten incorporar firewalls para impedir el ingreso de hackers.

DoS (Denial of Service Attacks) un caso especial

DoS o ataques *flooding* se han usado por muchos años por los hackers. Ellos lanzan un mensaje grande sin sentido que satura la capacidad de transporte de la red.

Los ataques DoS son diferentes para virus y gusanos (*Worms*). Estos ataques introducen código malicioso en los elementos de la red o en el software, dándoles la capacidad de inhabilitar una red por horas. Se desarrollan software para detectar un ataque DoS y no permitir el paso de esa información ficticia que satura y entorpece el funcionamiento de la red.

CALEA y otras regulaciones

Communications Assistance for Law Enforcement (CALEA) es una parte de la legislación federal que permite la vigilancia electrónica incluso para las redes públicas.

La CALEAM proporcionando de herramientas apropiadas para obstruir el ataque de hackers. Se está aplicando a redes inalámbricas de banda ancha, a pesar de ser complicado su aplicación en el despliegue inalámbrico. Esta ley permitirá intensificar los monitoreos a los ataques de los hackers. Se está usando un software llamado CARNÍVORO el cual detecta de manera eficiente la actividad sospechosa dentro de la red inalámbrica, dando confianza a los administradores de la red e implícitamente al usuario.

Seguridad de la red

La seguridad es costosa. Los dispositivos de encriptación pueden proporcionar VPNs seguras encriptando los archivos. La seguridad en las redes inalámbricas es simplemente un medio para controlar el acceso a las diferentes partes de la red y si se puede controlar el acceso a la misma la ejecución de la red inalámbrica será óptima.

2.19. ARQUITECTURA DE PILA DE PROTOCOLOS

La pila del protocolo se lo puede ver en la figura 2.49, la cual muestra las diferentes capas y subcapas.

- **Capa Física:** El medio físico depende de la subcapa en donde trabajan los diferentes tipos de modulación. Dentro de la capa física se realiza la transmisión convergente de la subcapa.
- **Capa de enlace de datos:** Tiene tres subcapas. Se encuentra la subcapa de seguridad MAC. Esta subcapa de la parte común y el servicio específico de convergencia de la subcapa.

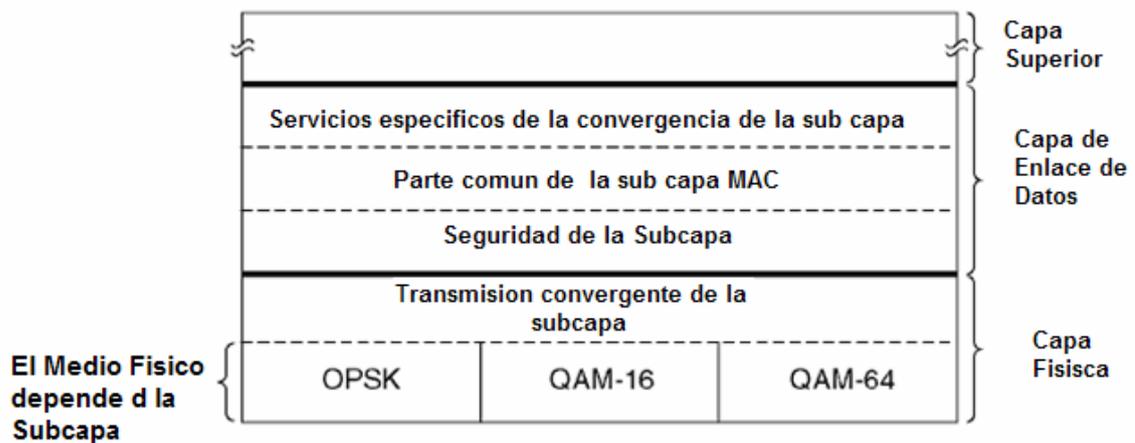


Figura. 2.49. Pila de Protocolos (Stack)

2.20. ESTÁNDARES DE WiMAX

Los estándares de la tecnología IEEE 802.16 están en constante evolución, la evolución depende tres parámetros que son:

- Necesidades del medio donde se aplique el estándar.
- Período en el que se use el estándar.
- Las necesidades de los usuarios, estos tres parámetros se lo muestra en la figura.

2.50.

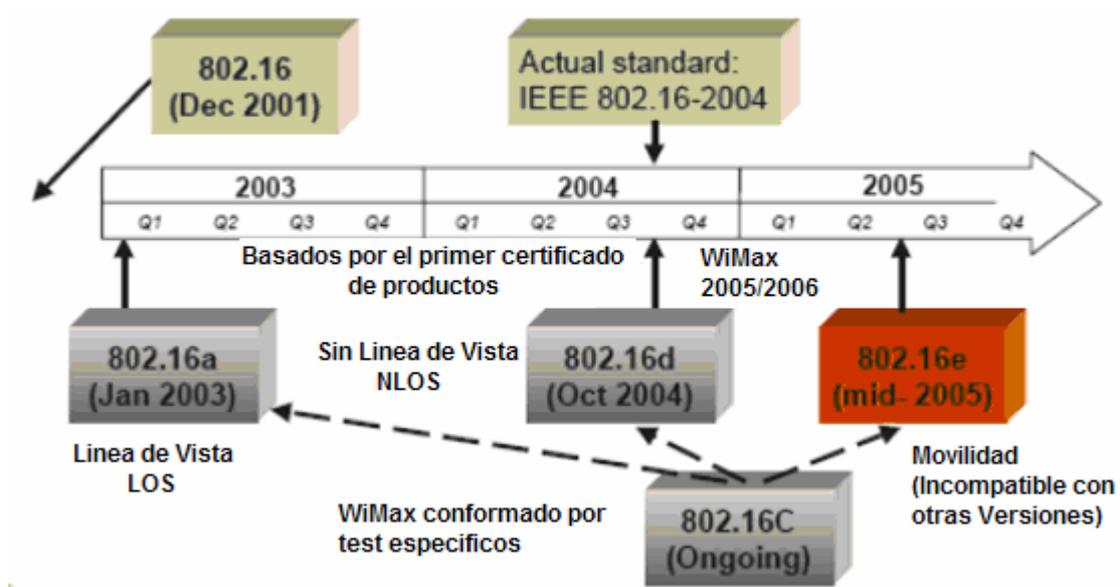


Figura. 2.50. Evolución del estándar IEEE 802.16

2.20.1. IEEE 802.16

- Publicado en Abril del 2002
- Trabaja en un rango de frecuencias que oscila entre 10-66 GHz,
- Necesita línea de vista **LOS** (Line of sight).
- No puede trabajar con bajas frecuencias donde se requiere operar con NOLS (Not Line of Sight).
- Se aplica para acceso de primera y última milla.
- Compatible con la red celular de tercera generación **3G**.
- Velocidad de transmisión de datos va de 32 a 134 Mbps en el canal de 28 MHz.
- Utiliza modulación QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
- Sistema que no tiene movilidad es fijo.
- Ancho de banda del canal de 20, 25 y 28 MHz.
- Radio de cobertura de la celda de 1.6 a 4.8 Km.

2.20.2. IEEE 802.16c

- Perfil conformado por un conjunto de pruebas para la implementación en el estándar 802.16 que trabaja en el rango de frecuencias de 10 a 66 GHz.

2.20.3. IEEE 802.16a

- Emitida en Enero del 2003
- Tamaño del canal es variable de 1.5 a 20 MHz.
- Surge por la necesidad de transmitir a bajas frecuencias y poder operar sin línea de vista (**NOLS**)
- Opera con licencias y exenta de licencias entre las frecuencias menores a 2 y 11 GHz
- Permite usar la conectividad de banda ancha sin la necesidad de tener línea de vista (**NLOS**) con la estación base, incrementando servicios de calidad de servicio (**QoS**).
 - Modulación **COFDM**
 - Sub-canalización
 - Antenas direccionales
 - Diversidad de transmisión y recepción **MIMO**
 - Modulación adaptativa
 - Control de potencia
- Puede ser usado para conectar los hotspots con el estándar 802.11 al Internet.
- Es una alternativa inalámbrica al cableado y **DSL** para la última milla con acceso de banda ancha.
- Su rango de servicio es de 50 Km teóricos y 28 Km en practico alrededor de los usuarios obteniendo conectividad de banda ancha
- Provee una tasa de transmisión de 75 a 100 Mbps en el canal de 20 MHz por estación base con suficiente ancho de banda para soportar cientos de negocios

con conectividad tipo T1/E1 y miles de casas con una conectividad DSL con una sola estación base.

- Modulación QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM con 256 Sub-portadoras OFDM.
- Radio de cobertura de la celda de 8 Km teóricos y 4.8 prácticos

2.20.4. IEEE 802.16-2004

- La versión fija del estándar WiMAX fue aprobada en junio de 2004.
- El rango de frecuencias de operación es el de 2 a 11 GHz.
 - Puede trabajar en espectro de frecuencia exenta de licencia.
- Velocidades de transmisión de hasta 70 Mbps
- Ancho de banda de los canales escalable desde 1.5 hasta 28 MHz.
- Características de operación NLOS
- Modulación OFDM, soporta dos modos de multiplexación TDD y FDD para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.
- Acceso inalámbrico fijo, diseñada para servir como una tecnología de reemplazo del DSL inalámbrico, o para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en países en desarrollo y áreas rurales en países desarrollados.
- La tecnología inalámbrica fija introduciría un grado de capacidad nómada ya que el abonado podría viajar con el CPE y usarlo en otras ubicaciones fijas: oficina, hotel y cafetería, etc.
- Debería poder alcanzar un rendimiento de 11 Mbps, en la banda 3.5 GHz, el rendimiento disminuye con NLOS a 8 Mbps en un radio de celda de 100 m para una zona urbana densa y unos cuantos kilómetros en una zona rural.
- Puede soportar VoIP y suponiendo que se use el códec G.729 (8 Kbps), soporta hasta 96 llamadas de voz simultáneas en un canal de radio de 3.5 MHz.
 - CDMA2000 1X actualmente puede soportar de 90 a 100 llamadas para sistemas desplegados en una configuración de un WLL⁷⁶ fijo con una

⁷⁶ Lazo de Abonado Inalámbrico. Tecnología para proveer servicios de telefonía fija utilizando bandas de frecuencias asignadas específicamente en cada país

asignación de 2.5 MHz de espectro emparejado, el equivalente de dos canales de radio emparejados de 1.25 MHz.

- Estas cifras (*teóricas versus reales*) indican que el rendimiento de WiMAX fijo (16-2004) sobre una base comparativa está a la par de tecnologías WWAN existente sugiere que es improbable que un operador móvil alguna vez use WiMAX para brindar servicios VoIP inalámbricos.
- 802.16-2004 podría usar un espectro que no requiera licencia, que en ciertos escenarios, como las áreas rurales, puede no sufrir niveles inaceptables de interferencia
- El espectro con licencia, la naturaleza fija del sistema podría facilitar una mayor cobertura.

2.20.5. IEEE 802.16e

- Aprobada en Julio del 2005.
- Permitir trabajar en frecuencias inferiores a los 6 GHz.
 - Pude trabajar en bandas *exenta de licencias* de 2.4 y 5.8 GHz.
- Velocidades de transmisión de hasta 15 Mbps en el canal de 5 MHz.
- Ancho de banda por canal de 1.5 hasta 5 MHz.
- Mantiene las características de NLOS.
- Modulación OFDM.
- Radio de cobertura de 1.6 a 4.8 Km.
- WinBro será incluido como un modelo en este estándar.
- Movilidad con Roaming.
 - Permite portabilidad una característica clave que carece 802.16-2004 y con el tiempo movilidad a toda escala.
- Incorpora tecnologías propuestas algunas más comprobadas que las otras y su composición final no está determinada por completo.
- No es compatible con 802.16-2004.
 - La razón principal de esta incompatibilidad es que el estándar 802.16e usa S-OFDMA (escalable-OFDMA) tanto en el enlace ascendente (UL) como en el descendente (DL). S-OFDMA significa que el número de tonos

OFDM aumenta de 128 tonos hasta 2.048 tonos, basándose en la calidad de la señal de RF. El estándar 802.16-2004 está estrictamente fijado en 256 tonos.

2.20.6. HIPERMAN

- Lanzado en noviembre del 2003
- Modulación OFDM y OFDMA
- Desarrollado por ETSI y BRAN
- Permite la configuración punto-a-punto o en malla.
- Desarrollado para un red inalámbrica de comunicaciones área metropolitana en las bandas de 2 a 11 GHz en Europa y otros países que trabajen con el sistema ETSI
- Ancho de banda escalable de 1.5 a 20 MHz
- Velocidad de transmisión mayor a los 75 Mbps en la banda de 20 MHz
- Diseñado para un acceso inalámbrico fijo para SME's y residencias
- Operan similarmente al estándar IEEE 802.16a
- Soporta **ATM**⁷⁷
- Ofrece servicios como:
 - QoS
 - Alta seguridad
 - Rápida conexión
 - Adaptación rápida de programación
 - Modulación y transmisión de potencia en condiciones de propagación
 - Opera sin línea de vista NLOS
 - Duplexación TDD y FDD

⁷⁷ Modo Asíncrono de Transmisión. Técnica de transmisión estandarizada por la ITU-T basada en celdas de 53 octetos que contienen la información de enrutamiento. Permite unificar la tecnología de transmisión de voz, datos y video y es la base del estándar B-ISDN.

2.20.7. HIPERACCESS

- Utiliza modulación esquemática OFDM
- Opera bajo un protocolo punto multipunto (PMP) con celdas sectorizadas y trabaja con licencia
- Opera en la banda de 26, 28, 32 y de 40.5 a 43.5 GHz
- Acceso esquemático para (UL) TDM y opcional TDMA y para (DL) TDMA.
- Ancho de banda de 28 MHz para UL y DL
- Modulación esquemática para DL 4-QAM, 16-QAM y opcional 64-QAM
- Modulación esquemática para UL 4-QAM y opcional 16-QAM
- Velocidades de transferencia de 25 Mbps.
- Acceso al sistema inalámbrico fijo por trabajar en esa banda
- Trabaja en condiciones LOS
- Tipo de duplexacion TDD o FDD

2.20.8. HIPERLINK

- Diseñado para comunicaciones punto a punto
- Cobertura de 150 m
- Velocidades de 155 Mbps en la banda de 17 GHz

2.20.9. LMDS

- Tecnología inalámbrica vía radio para comunicarse entre puntos fijos, no se utiliza para terminales móviles.
- Rango de frecuencia de 20-39 GHz dependiendo de la regulación de cada país.
- Trabajan en las bandas de 26 a 28 GHz
- Radio de cobertura del transmisor es de 2 a 5 Km a 26 GHz
- Ancho de bandas disponibles desde 512 Kbps hasta 8 Mbps

- Trabaja en la banda de frecuencia exenta de licencia
- Usa LOS y reutilización de frecuencias.
- Nos es 100% compatible con equipos de diferentes fabricantes
- Tiene buena aceptación en el mercado comercial Europeo.
- Velocidad de transmisión de 256 Kbps a 4 Mbps
- Throughput de bajada (DL) de 1.5 Gbps y 200 Mbps de subida (UL)
- Comunicaciones bidireccionales de hasta 4000 usuarios
- Es 240 veces más velos que una línea telefónica convencional hasta 8 Mbps
- Da servicio de voz, video y datos combinados con diferentes velocidades de comunicación y asignación dinámica de ancho de banda
- Red independiente de Internet

2.21. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES AMERICANOS CON LOS EUROPEOS

En la Tabla. 2.5. se determina los parámetro más sobresalientes de la norma IEEE 802.16 y la norma Europea ETSI BRAN.

Tabla. 2.6. Comparación de los estándares

Comparación de Tecnologías Inalámbricas									
	802.16	802.16c	802.16a	802.16d	802.16-2004	802.16e	Hiperman	Hiperaccess	LMDS
Aplicación	MAN fija para acceso a la red inalámbrica	MAN fija para acceso a la red inalámbrica	MAN fijo para datos	MAN fija para datos y VoIP	MAN fijo (nómada) para datos, voz, VoIP	MAN móvil con roaming para voz y datos	MAN fijo para datos	MAN fija datos y voz	MAN fija voz, video y datos
Alcance	1.6 a 4.8 Km	1.6 a 4.8 Km	4.8 a 8 Km con un rango máximo de 50 Km	LOS > a 50 Km y NLOS > 10 Km	100 m NLOS en zonas urbanas densas y de 4.5 Km a 7.5 Km en zonas rurales NLOS, y de 28Km LOS.	1.6 a 4.8 Km NLOS	7 a 10 Km máximo 50 Km	5 Km	LOS 2 a 5 Km
Espectro	10-66 GHz	10-66 GHz	Rango < a 11 GHz	2-10 GHz	2-11 GHz	< a 6 GHz	2-11 GHz	26, 28, 32 y de 40.5 a 43.5 GHz	20-39 GHz depende del país
Ancho de Banda	20, 25 y 28 MHz		1.5-20 MHz	3.5-20 MHz	1.5-28 MHz	1.5-5 MHz	1.5-20 MHz	28 MHz para UL y DL	26 a 28 MHz
Tasa de transferencia	32-134 Mbps en el canal de 28 MHz		75-100 Mbps en el canal de 20 MHz	< 65 Mbps en el canal de 20 MHz	70 Mbps en el canal de 28 MHz, 8 Mbps en el canal de 3.5 MHz	< 15 Mbps en el canal de 5 MHz	> 75 Mbps en el canal de 20 MHz	25 Mbps en 28 MHz	512 Kbps a 8 Mbps en el canal de 26 a 28 MHz
Condiciones del Canal	LOS	LOS	NLOS	LOS y NLOS	NLOS y LOS	NLOS	NLOS	LOS	LOS
Modulación	QPSK, 16-QAM Y 64-QAM		QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM y 256 sub-portadoras OFDM	QPSK, 16-QAM Y 64-QAM	OFDM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM y 256 sub-portadoras OFDM	OFDM y OFDMA	OFDM	
Lugar de Aplicación	América	América	América	América	América	América	Europa	Europa	América

CAPITULO III

DISEÑO DE LA UNA RED INALÁMBRICA WMAN PARA LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE QUITO

3.1. INTRODUCCIÓN

WiMAX es una tecnología inalámbrica de banda ancha que soporta accesos:

- Fijos.
- Nómadas.
- Portables.
- Móviles.

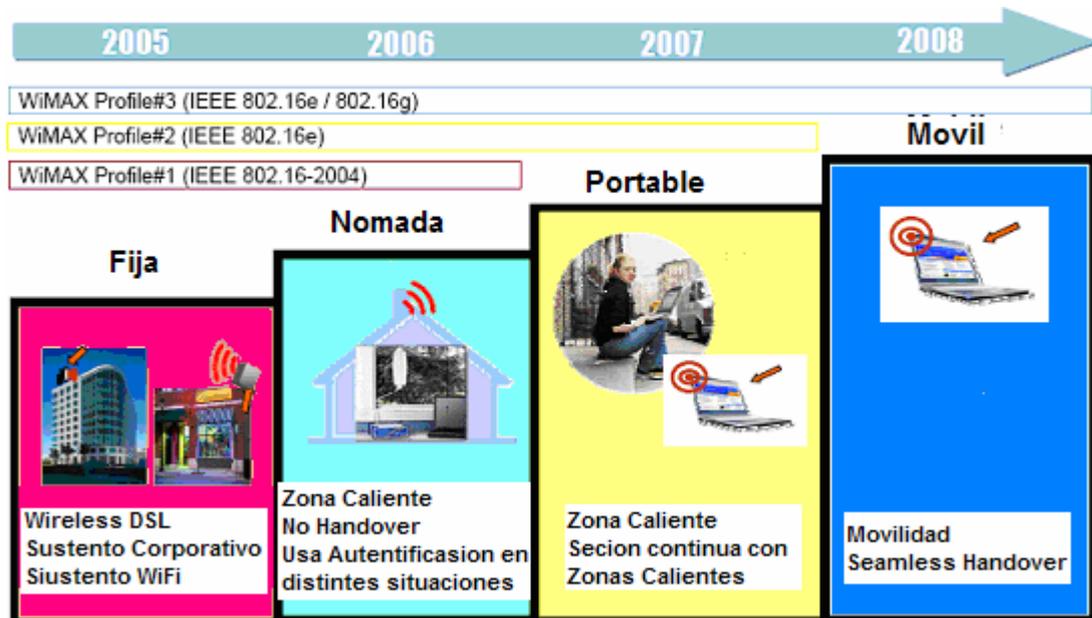
Al tener ya definido el tipo de acceso, sobresalen dos versiones de WiMAX las cuales van a ser definidas. La primera está basada en el estándar IEEE 802.16-2004 y se caracteriza por el tipo de acceso nómada y fijo. En conclusión las primeras certificaciones de WiMAX pueden basarse en éste estándar

La segunda versión está diseñada para soportar portabilidad, movilidad. Éste puede basar en las mejoras que presenta el estándar IEEE 802.16e. La tabla. 3.1 muestra los diferentes tipos de acceso que soporta WiMAX y los requerimientos que necesita.

Tabla. 3.1. Tipos de Acceso para una red WiMAX

Definición	Dispositivos	Cobertura	Velocidad	Handoffs	802.16-2004	802.16e
Acceso Fijo	CPE's Outdoor e Indoor	Simple	Fija	No	Si	Si
Acceso nómada	CPE's Indoor y tarjetas PCMCIA	Múltiple	Fija	No	Si	Si
Portabilidad	Con tarjetas PCMCIA para laptops o mini tarjetas PCMCIA	Múltiple	Velocidad Móvil	Handoffs Dificultoso	No	Si
Movilidad Limitada	Laptops con PCMCIA o con mini tarjetas, para PDA's o teléfonos pequeños	Múltiple	Baja velocidad vehicular	Handoffs Dificultoso	No	Si
Movilidad Completa	Laptops con PCMCIA o con mini tarjetas, para PDA's o teléfonos pequeños	Múltiple	Alta velocidad vehicular	Handoffs Delicado	No	Si

En éste punto del estudio vamos a comparar entre las dos versiones de WiMAX en términos de tecnología, compatibilidad, seguridad, QoS, capacidad, y así poder determinar qué estándar se debe usar en el diseño; el mismo que permitirá satisfacer las necesidades de mercado que sean requeridas.

**Figura. 3.1. Evolución de los diferentes escenarios de aplicación**

Por lo tanto el estándar 802.16e puede usarse para ofrecer servicios fijos nómadas, pero el estándar 802.16-2004 puede no soportar un uso portátil y definitivamente no soporta servicios móviles. De esta manera los diferentes escenarios de aplicación han ido evolucionando como se lo muestra en la figura. 3.1.

3.1.1. Estándar Fijo 802.16-2004

3.1.1.1. Introducción al estándar 802.16-2004

Todos los estándares fijo de WiMAX están incluidos en el estándar 802.16-2004 (802.16, 802.16a y el 802.16c) y sus actualizaciones.

IEEE 802.16-2004 es una tecnología reciente de acceso inalámbrico fijo aprobado en julio del 2004, lo que significa que está diseñada para:

- Servir como una tecnología inalámbrica de reemplazo al DSL.
- Proveer un acceso básico de voz.
- Banda ancha en áreas sub-abastecidas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso

El estándar 802.16-2004 también es una solución viable para el backhaul inalámbrico para puntos de acceso WiFi o potencialmente para redes celulares, en particular si se usa el espectro que requiere licencia. Éste estándar fue diseñado para operar en sistemas P2P y PMP.

En ciertas configuraciones el estándar 802.16-2004 puede usarse para proveer mayores velocidades de datos y se puede aplicar para reemplazo del T1 para abonados corporativos de alto valor. El estándar 802.16-2004 incluye opciones de tres capas físicas:

- Single Carrier.
- OFDM 256.

- OFDMA.

3.1.1.2. Calidad de servicio (QoS) del estándar 802.16-2004

Las mejoras de la versión de éste estándar 802.16-2004 son el soporte para el encadenamiento de los dos protocolos PDU (*Protocol Data Units*) y SDU (*Service Date Units*) que reduce el *overhead*⁷⁸ del MAC. Esta tecnología mejora la calidad de servicio (QoS) particularmente con un SDU's muy grande. Una mejora es el apoyo por los métodos de sondeo múltiple, pueden acceder al ancho de banda asignado para hacer las demandas, o la señal que necesita el sondeo, pueden incluso registrar las demandas por encima de otro tráfico de información; el resultado que presenta esa interferencia del cruce de voz se evade con éste sistema, reduciendo la colisión de los paquetes y el sistema de overhead.

3.1.1.3. Rango de frecuencia del estándar 802.16-2004

El estándar 802.16-2004 está dirigido a todo el rango de frecuencia menor a 11 GHz (*con licencia y exenta de licencia*). La frecuencia con la que se va a trabajar es la de 5.8 GHz como frecuencia central, esta frecuencia está exenta de licencia, esta es una de las razones por lo que se eligió éste estándar.

3.1.1.4. Rangos típicos de transmisión en bandas exenta de licencias para 802.16-2004

Los rangos típicos en las bandas exenta de licencias de potencia, ganancia y alcance se los detallan en la tabla 3.2.

⁷⁸ Tara. Conjunto de bits que no llevan información de usuario pero que son necesarios. Para efectos de sincronización, control de errores, etc. en los diferentes esquemas de transmisión. Pueden constituir una parte importante de la capacidad de canal consumida.

Tabla. 3.2. Parámetros de las bandas exenta de licencias

Bandas exenta de licencias					
Frecuencia	2.4 GHz	900 MHz	5.8 GHz	2.4 GHz	900 MHz
Potencia	1 W	1 W	5 W	100 mW	100 mW
Ganancia (dB)	6	6	32	16	16
Alcance de las Antenas (Km)	8 a 24	24 a 40	28	16 a 64	32 a 96
Rango de cobertura de la Celda			4.5 a 7.5 NLOS y 28 Km LOS		

Alternativamente, el estándar 802.16-2004 podría usar un espectro que no requiera licencia, que en ciertos escenarios, como las áreas rurales, mientras que en el espectro con licencia, la naturaleza fija del sistema podría facilitar una mayor cobertura. La compensación se traduce en mayores pérdidas de trayectos a frecuencias como 5.8 GHz.

Un operador no debería usar la frecuencia de 2.4 GHz para ofrecer servicios de voz debido a la mayor probabilidad de que desarrolle interferencia (*los simples hornos de microondas irradian RF en la banda de 2.4 GHz*). Los servicios que se puede brindar en el espectro de 2.4 GHz se detalla en la siguiente tabla 3.3 de atribución de frecuencia ⁷⁹ [29]

Tabla. 3.3. Banda de frecuencia de y servicios de 2.3 a 2.5 GHz

Frecuencia (GHz)	Servicio
2.3-2.45	Fijo; Móvil; Radiolocalización; Aficionados. S5.150, S5.282, S5.396.
2.45-2.4835	Fijo; Móvil; Radiolocalización. S5.150
2.4835-2.5	Fijo; Móvil; Móvil por satélite (espacio-tierra) S5.SSS; Radiolocalización; Radio determinación por satélite (espacio-tierra) S5.398, S5.150, S5.402

⁷⁹ [29] <http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/frecuencias.php>

3.1.1.5. Modulación para 802.16-2004

El estándar 802.16-2004 usa a OFDM para la optimización de servicios inalámbricos de datos. La señal OFDM está dividida en 256 portadoras en lugar de 64, como consecuencia del mayor número de subportadoras sobre la misma banda da como resultado subportadoras más estrechas como lo muestra la figura 3.2, con OFDMA se tiene 2048 portadoras. Hay que tomar en cuenta que el primer Forum de WiMAX está basado en OFDM como definición para éste estándar 802.16-2004.⁸⁰ [30]

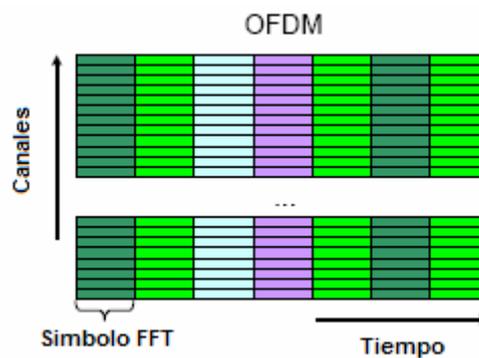


Figura. 3.2. Enlace de subida para OFDM

Éste método de modulación permite tener ventajas en múltiples propagaciones ya que se toma más tiempo al transmitir un símbolo comparado con el simple método de acarreo a la misma tasa de transmisión.

⁸⁰ [30] www.hughes.com/HUGHES/Doc/0/I6GAE5IKT7P4LATAOBUIP9R90E/Administracion_Airlink.pdf

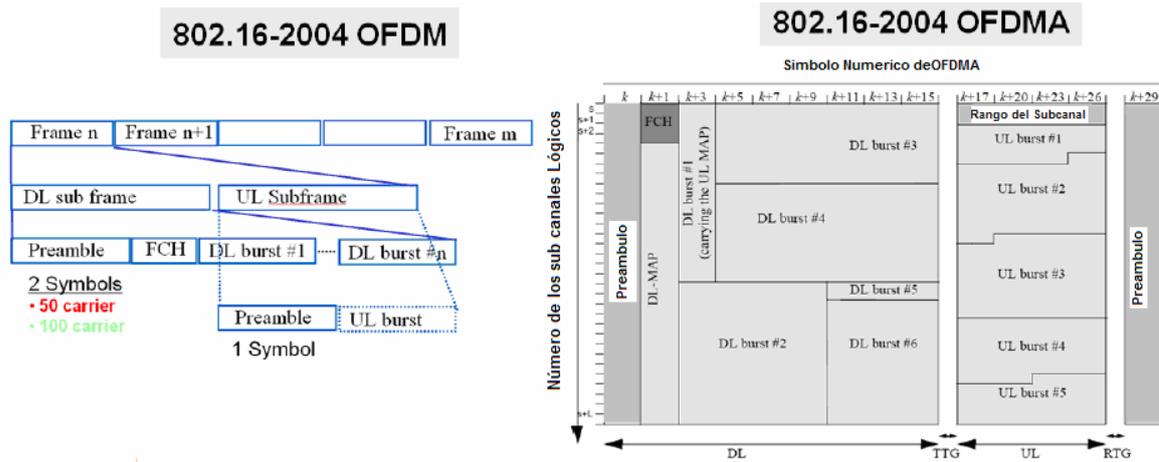


Figura. 3.3. Comparación de la estructura de la trama de 802.16-2004 OFDM y el sistema 802.16-2004 OFDMA.

En el sistema OFDM el *downlink* consiste de un preámbulo de un flujo para un campo FCH (*Frame Control Header*) y la cadena para los diferentes suscriptores. En el modo OFDMA las cadenas son alojadas acorde a un mapa de *downlink* como lo muestra la figura 3.3.

Los equipos WiMAX que se usan en las bandas de frecuencia exentas de licencia usarán duplexación por división de tiempo (TDD), y los equipos que trabajan dentro de las bandas de frecuencia autorizadas usarán ya sea TDD o FDD, en la tabla 3.4 se define estas características.

Tabla. 3.4. Tipos de Duplexación y número de canales

Frecuencia (MHz)	Tipo de Duplexación	Canales (MHz)	Estándar IEEE 802.16-2004
3400-3600	TDD	3.5	802.16-2004
3400-3600	FDD	3.5	802.16-2004
3400-3600	TDD	7	802.16-2004
3400-3600	FDD	7	802.16-2004
5725-5850	TDD	10	802.16-2004

3.1.1.6. Velocidad de Transmisión para 802.16-2004

La tasa de transferencia para un canal de 28 MHz es de 70 Mbps, mientras que para un canal de 3.5 MHz es de 8 Mbps. Al usar las bandas libres la velocidad que soporta es de 20 Mbps para VoD (Voz o Video), video streaming y VoIP.

3.1.1.7. Ancho de banda del Canal en 802.16-2004

- El ancho de banda es flexible dependiendo del espectro asignado, entre 1.25 y 20 MHz.
- En las bandas de 2.5 y 5.8 GHz el estándar 802.16-2004 soporta accesos fijos, nómadas y móviles.

3.1.1.8. Rango de la cobertura de la celda a 2.5 GHz y 5.8 GHz

El rango de cobertura de las celdas en WiMAX varían dependiendo de la zona, así para LOS la cobertura es de 50 Km, mientras que para condiciones NLOS va de 4.5 a 7.5 Km, estos datos son teóricos, en la práctica la cobertura es de 2 a 4.5 Km en condiciones NLOS y de 28 Km en condiciones LOS.

3.1.1.9. Rango de Frecuencias que opera 802.16-2004

La implementación más probable puede ser en las bandas exentas de licencias como la ISM a 2.4 GHz y de 5.1 a 5.8 GHz en la banda U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*).

3.1.1.10. Interfase de Aire para 802.16-2004

La interfase de aire permite:

- Soportar los dos sistemas de Duplexación TDD y FDD.
- Que el ancho de banda del canal sea de 20, 10, 5, 2.5 y 1.25 MHz.
- Que la tasa de transferencia sea de 100 Mbps.
- Que la modulación sea adaptativa para 256-QAM.
- Que sea posible una transmisión NLOS ya que usa OFDM.
- Usar métodos de propagación como lo es CDMA.

La interfase de aire no permite:

- Usar una codificación FEC (*Forward Error Correction*) Reed Salomón.
- Retransmitir errores de paquetes de datos ARQ (*Automatic Repeat reQuest*).
- Controlar la potencia: ya que el enlace de RF es más eficiente y necesita menos corriente para mayores distancias.
- La sub-canalización: esto se debe a que los enlaces de UL y DL tiene el mismo ancho de banda

3.1.1.11. Características del estándar 802.16-2004

El estándar 802.16-2004 da como una solución inalámbrica el acceso a Internet de banda ancha, esta solución de transporte es para la última milla con WiMAX, esto se debe a que el acceso fijo funciona desde 2.5 GHz con el espectro licenciado, y en la banda de 2.4 GHz y 5.8 GHz exento en la licencia, además esta tecnología le provee una alternativa inalámbrica al módem cablegráfico, las líneas digitales del suscriptor de cualquier tipo (xDSL). El estándar 802.16-2004 mejora el enlace de la última milla en varios aspectos cruciales:

- La interferencia del multicamino
- El retraso difundido
- La robustez

La interferencia multicamino y retraso difundido, mejora la actuación en situaciones donde no hay una línea de vista directo NLOS entre la estación de radio base y la estación del suscriptor. El Control de Acceso a Medios (MAC) emergente del 802.16-2004 para optimizar los enlaces de gran distancia ya que está diseñado para tolerar retrasos más largos y variaciones de retraso. El estándar 802.16-2004 soporta servicios nómadas (*con soporte a la itinerancia*) pero no contempla el soporte a la movilidad de los usuarios

3.1.2. Estándar Móvil 802.16e

3.1.2.1. Introducción a 802.16e

IEEE 802.16e es un estándar que está diseñado para ofrecer características claves de las que carece el estándar 802.16-2004 como son la portabilidad y movilidad a toda escala. Éste estándar requiere una nueva solución de hardware/software ya que no es compatible con el estándar 802.16-2004. El estándar 802.16e, por otro lado trata de incorporar una amplia variedad de tecnologías propuestas, algunas más comprobadas que las otras, éste estándar 80.16e es el próximo paso de la movilidad en el futuro de las redes inalámbricas.

Mientras la 3G (*tercera generación*) y HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) van incrementando el desarrollo del las redes celulares, centrándose específicamente el la voz, WiMAX móvil con pequeñas antenas es construida en terreno fijo, proporcionando banda ancha personal a los suscriptores que requieren éste servicio. Estas características de los estándares inalámbricos nos permiten ver el fututo de la tecnología inalámbrica como se muestra en la figura 3.4.

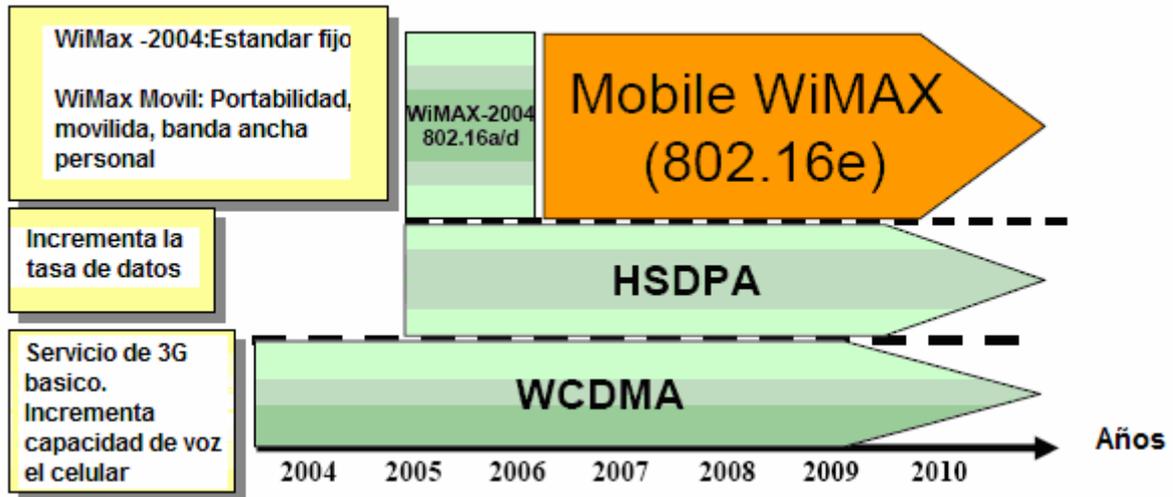


Figura. 3.4. El próximo paso de los estándares inalámbricos

3.1.2.2. Calidad de servicio (QoS) de 802.16e

Las cuatro subcapas MAC se caracterizan por los parámetros de QoS como:⁸¹ [31]

- Latencia
- *Jitter*⁸².
- Reserva mínima de la tasa de tráfico.
- Mantener la máxima tasa de tráfico, etc.

3.1.2.3. Eficiencia espectral de 802.16e

Su espectro es menor a 6 GHz, en el espectro de frecuencia licenciada y exenta de licenciada. La eficiencia espectral del estándar 802.16e es superior respecto a los otros estándares como se lo demuestra en la figura 3.5.

⁸¹ [31] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, October 2004; R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview," IETF RFC 1633, June 1994.

⁸² Fluctuación. Pequeña variación en el tiempo o en la fase de una señal que puede introducir errores.



Figura. 3.5. Comparación de la eficiencia espectral

Al relazar modificaciones en el estándar 802.16e aplicando el concepto de MIMO, se consigue un mejor desempeño del estándar 802.16e.

3.1.2.4. Modulación de 802.16e

El estándar 802.16e usa modulación OFDMA, éste tipo de modulación es más flexible al manejar diferentes tipos de dispositivos con diferentes tipos de antenas. Las antenas son omnidireccional permiten reducir la interferencia y mejorar la capacidad de cobertura para llegar a objetivos que no tienen línea de vista directa (NLOS) donde es necesaria la movilidad.

La subcanalización delimita canales que pueden ser asignados a diferentes usuarios dependiendo de las condiciones del canal y de los requerimientos del usuario, estas características se la indica en la figura. 3.6.

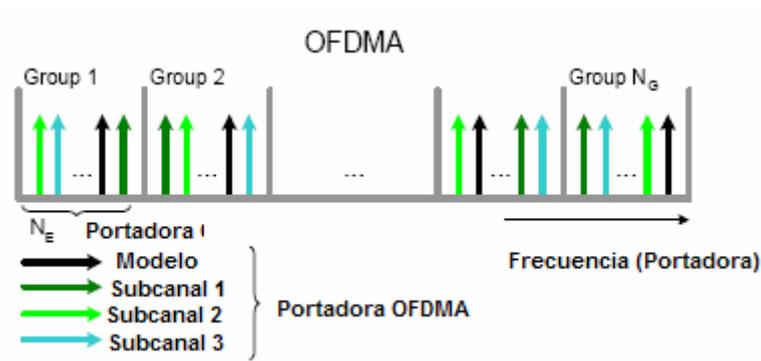


Figura. 3.6. Modulación OFDMA

OFDMA soporta múltiples accesos que permiten a los dispositivos de los usuarios transmitir a través de subcanales asignados a ellos. Con la modulación OFDMA que tiene 2048 portadoras y 32 subcanales como se lo puede ver en la figura. 3.7, si solo un subcanal es asignado a un dispositivo, toda la potencia puede ser concentrada en 1/32 del espectro habilitado dando una ganancia de 15 dB en comparación a OFDM. Los múltiples accesos son la principal ventaja cuando todos los canales son usados.

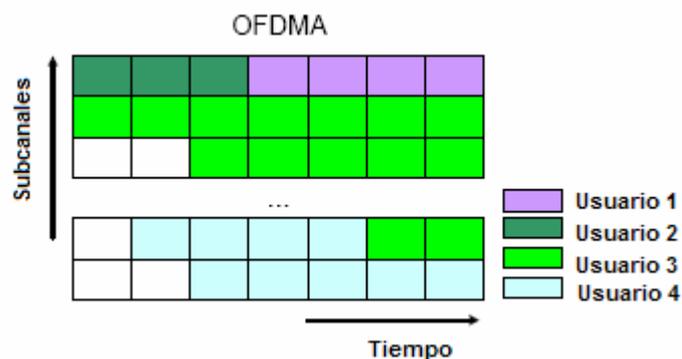


Figura. 3.7. Enlace de ascendente de OFDMA

Los beneficios de usar S-OFDM para aplicaciones inalámbricas fijas son:

- Bajo costo debido al volumen de producción

- El chipset módems de los CPE's en las redes inalámbricas fijas pueden ser usados tanto en las PC's y PDA's, dando paso a la compatibilidad de equipos ya existentes en el mercado.
- La BSR puede ser habilitada para usar el mismo chipset desarrollado por WiMAX a bajo costo para los AP.
- La capacidad básica de S-OFDMA puede ofrecer similar cobertura que OFDM-256.
- Usa técnicas opcionales para mejorar la cobertura NLOS tal como:
 - Diversidad de frecuencias.
 - Codificación del espacio de tiempo.
 - Demanda de Retransmisión Automática (ARQ)
 - Estas son incluidas como parte de S-OFDMA
 - En algunos casos la compatibilidad es mejorada para S-OFDMA, por ejemplo:
 - Un ARQ Híbrido
 - Adicionar un esquema de diversidad

3.1.2.5. Velocidad de Transmisión de 802.16e

IEEE 802.16e es la versión portátil o móvil de WiMAX, que promete soportar sesiones de voz y datos a velocidades vehiculares de hasta 120 kilómetros por hora. Esto quiere decir a 75 Mbps en un canal de 20 MHz, permitiendo una movilidad completa.

3.1.2.6. Ancho de banda del Canal

- El ancho de banda del canal para el estándar IEEE 802.16e va de 1.25 MHz a 20 MHz.

3.1.2.7. Modelo de Pila del estándar 802.16e

El modelo de pila permite identificar las capas donde se realiza las negociaciones para el enlace exterior, regulaciones y financiamiento. Esto se lo representa en la figura 3.8.

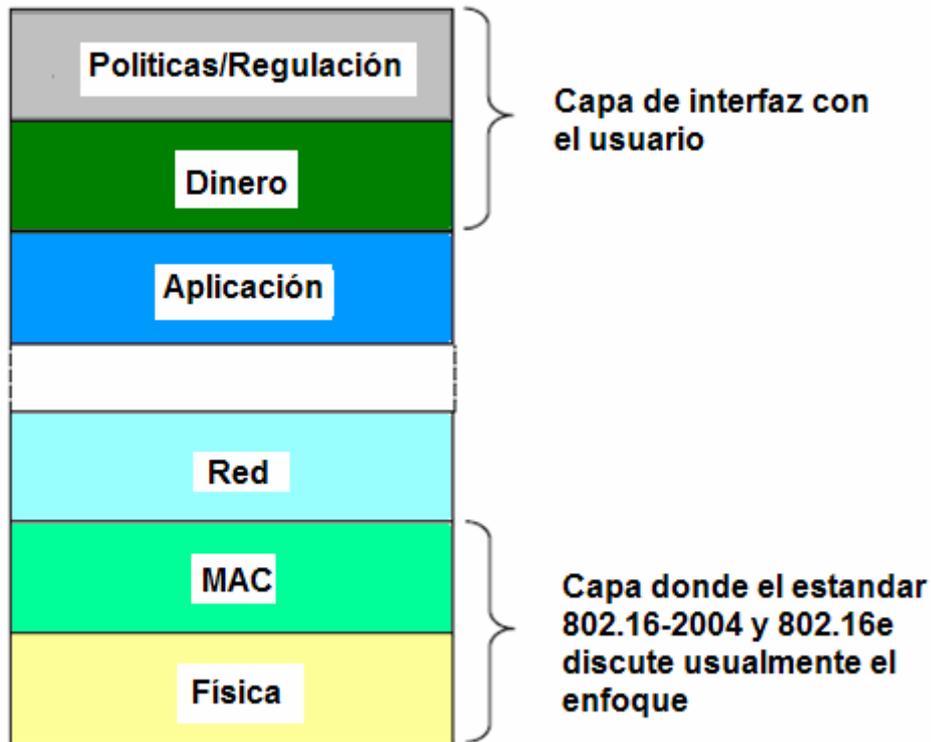


Figura. 3.8. Modelo de la pila del estándar 802.16e

3.1.2.8. Rango de la cobertura de la celda con IEEE 802.16e

- En el estándar portátil/móvil el rango de cobertura frecuencia de 2.5 GHz en las zonas urbanas, rurales y semirurales es:
 - 1-5 Km (indoor).
 - 2-7 Km (outdoor).

3.1.2.9. Rango de Frecuencia

- El rango de frecuencia más probable para que pueda existir movilidad son de 2.3 y 2.5 GHz
- La mejor cobertura, portabilidad y soporte en los dispositivos indoor la banda de la frecuencia debe ser menor a 3 GHz.
- Si existe la suficiente demanda de accesos fijos o nómadas se puede trabajar en las frecuencias de 3.3, 3.5 GHz e incluso en la frecuencia exenta de licencia de 5.8 GHz.

Los servicios que se puede brindar en el espectro de 5.8 GHz se detalla en la siguiente tabla 3.5 de atribución de frecuencia ⁸³ [32]

Tabla. 3.5. Banda de frecuencia de y servicios de 5.7 a 5.83 GHz

Frecuencia (GHz)	Servicio
5.15-5.25	Radio Navegación Aeronáutica, Fijo por satélite (Tierra-Espacio). S5.447 ^a , S5446, S5.4475, S5.447C
5.25-5.35	Exploración de la tierra por satélite (activo), radiolocalización, investigación espacial(activo)
5.725-5.830	Radiolocalización; Aficionados. S5.150

3.1.2.10. Movilidad del estándar 802.16e

La movilidad del estándar 802.16e es una de las características principales, ya que permite múltiples funciones, servicios y beneficios para el usuario que necesita mantenerse conectado cuando se encuentra en movimiento como se lo muestra en la figura 3.9.

⁸³ [32] <http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/frecuencias.php>

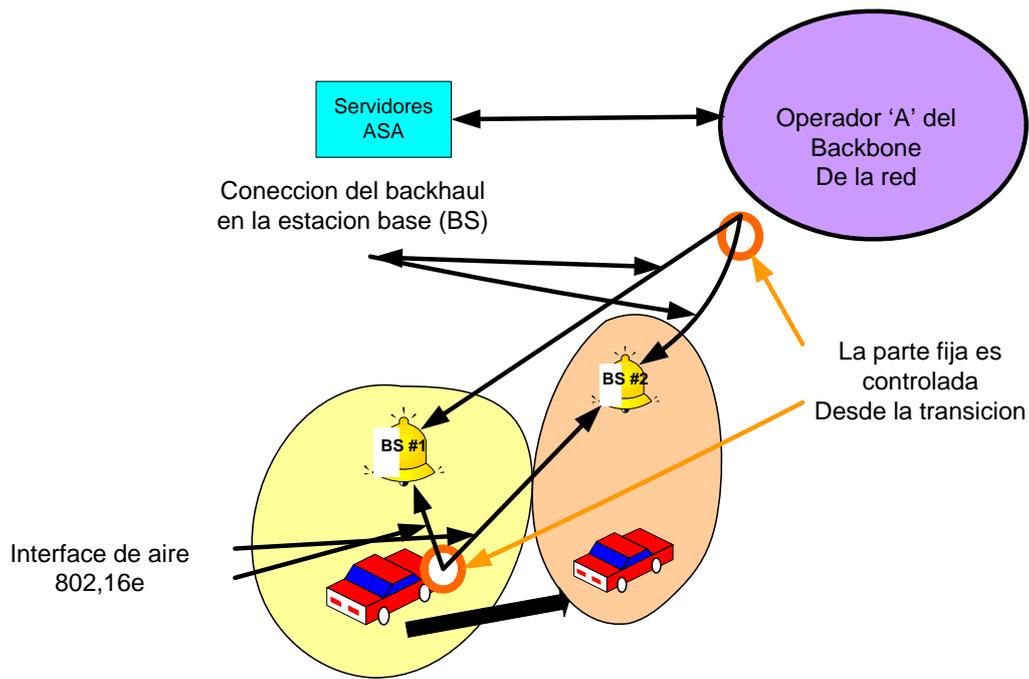


Figura. 3.9. Movilidad del estándar 802.16e

3.1.2.11. Características del estándar 802.16e

El estándar 802.16e es una mejora de las características que presenta el estándar 802.16-2004 y está dirigido al mercado móvil sumando portabilidad y movilidad para los clientes. El estándar 802.16e soporta múltiples Entradas y múltiples Salidas (MIMO), Antenas de Sistema Adaptativo (AAS), ahorro de potencia para dispositivos móviles y seguridad.

Dada la naturaleza del comportamiento del tráfico de datos basados en la tecnología WiMAX el cuál es en ráfagas, TDD es la opción más eficiente para el manejo de la asimetría en el downlink y el uplink. El estándar IEEE 802.16e presenta un esquema TDD; éste resulta ser la opción natural para promover la competencia, dado que permite la adición de más operadores en el mercado.

Así mismo, TDD permite hacer uso del 100% del espectro asignado, tiene una mejor eficiencia espectral (*al hacer uso de un mismo canal para Tx y Rx*), no requiere un ancho de banda de guarda entre Tx y Rx, hace uso eficiente del espectro al cambiar la asimetría

en el UL y DL de acuerdo con el patrón del tráfico del usuario final, permite el uso de tecnologías de punta (*como arreglo de antenas adaptativas, antenas inteligentes, redes y malladas*), permite el soporte de servicios avanzados (*voz, datos y video*) con alta calidad de servicio (QoS).

3.2. COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDAR

La funcionalidad fija del estándar 802.16-2004 y 802.16e son similares, en un sector simple la máxima velocidad para las dos versiones de WiMAX son de 15 Mbps para un canal de 5 MHz y de 35 Mbps para un canal de 10 MHz respectivamente. El rango de cobertura de la estación de radio base en áreas densamente pobladas es de unos pocos kilómetros dependiendo de las características del CPE's:

- Frecuencia.
- Movilidad.
- Morfología.

3.2.1. Redes Fijas 802.16-2004

Las redes fijas tienen muchas ventajas en comparación a una red móvil, como se las indica a continuación:

- Modulación OFDM.
- Trabaja en las bandas exentas de licencia.
- Alto rendimiento

3.2.1.1. Modulación de 802.16-2004

La modulación OFDM usa una técnica simple, ya que requiere soporte para la movilidad.

3.2.1.2. Bandas de uso libre

Los servicios móviles requieren licencia para poder usar el espectro y proveer cobertura en áreas extensas. El despliegue del estándar fijo debe ser satisfactorio en áreas donde la interferencia tiene niveles aceptables.

3.2.1.3. Alto throughput (rendimiento) de 802.16-2004

El alto rendimiento (*throughput*⁸⁴) para el espectro de las bandas de 802.16-2004 es de gran ventaja especialmente cuando se trata de usuarios que necesitan un nivel de tráfico muy altos y tiene CPE's con antenas outdoor.

Debido a que el estándar 802.16-2004 salio antes al mercado, los operadores que trabajan con estos equipos pueden adquirir fácilmente y esto les permite tener cierta ventaja en el mercado respecto a sus competidores.

3.2.2. Redes Móviles 802.16e

El campo de las telecomunicaciones en el Ecuador está explotado un 15% por lo que varios de los operadores en nuestro país que piensen dar servicio de voz, video y datos o solo uno de ellos a diferentes usuarios optan por esperar al estándar 802.16e por varias razones:

- Soporta movilidad.
- Buena cobertura indoor.
- Flexibilidad en el manejo del espectro.
- Alcance de los dispositivos.

⁸⁴ Rendimiento. Información Útil Transmitida. La porción de los datos transmitidos que contienen información útil y no redundante.

3.2.2.1. Soporte para la Movilidad 802.16e

Los productos del estándar 802.16e son creados para que soporten movilidad y handoffs a velocidades 75 Mbps. Están equipados con sistemas de ahorro de energía y modos de espera para extender la vida útil de la batería de los dispositivos.

3.2.2.2. Buena cobertura indoor de 802.16e

La buena cobertura indoor se logra a través de la subcanalización y el sistema de antenas adaptativas (AAS) que beneficia a los dos sistemas de WiMAX ya que los usuarios se encuentra en línea de vista (LOS) o sin línea de vista (NLOS). Sin embargo se debe aclarar que las antenas pueden compensar la cobertura indoor en un despliegue fijo, pero no es la mejor alternativa para los usuarios móviles que trabajan con una computadora portátil o con PDA's.

3.2.2.3. Flexibilidad en el manejo del espectro de 802.16e

La subcanalización permite usar la red de forma inteligente asignando recursos a los usuarios que lo necesiten. Éste uso inteligente de la red permite optimizar el uso del espectro, teniendo un alto rendimiento y una mejor cobertura indoor, permitiendo además bajar los costos de despliegue. Esto es de mucha importancia para operadores que trabajan con un espectro de frecuencia limitado.

3.2.2.4. Alcance de los dispositivos 802.16-2004 y 802.16e

- Mientras que los CPE's que se encuentran al aire libre (outdoor) y en el interior (indoor) y las tarjetas PCMCIA para laptops en el estándar 802.16-2004 invaden el mercado, las mini tarjetas PCMCIA para laptops, MODEMs indoor, PDA's y teléfonos están disponibles con el estándar 802.16e, esta variedad permite a los operadores dar más libertad a sus subscriptores.

- A pesar del ingreso tardío al mercado de los productos 802.16e los precios de los CPE's de 802.16e bajaran rápidamente respecto a los CPE's de 802.16-2004.
- El precio es de suma importancia al momento de invadir el mercado de las telecomunicaciones ya que esto permite acceder a mercados más grandes, combinado con las ventajas que presta 802.16e hacen de éste estándar la primera opción para implementar y dar solución a las necesidades de los subscriptores.

La elección entre el estándar 802.16-2004 y 802.16e depende del servicio que se quiera brindar y el tipo de negocio que el operador de la red inalámbrica quiera emprender. Si se quiere dar un servicio para complementar una red 3G la mejor elección es 802.16e. Si se quiere dar un servicio de Internet Inalámbrico, Proveedor de Servicios de Internet Inalámbricos (WISP) para dar acceso a una comunidad rural se puede cambiar a un sistema no tan complejo como 802.16-2004.

3.3. FACTORES PARA DETERMINAR EL ESTÁNDAR A USAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

Para poder determinar de manera exacta que estándar se quiere usar entre 802.16-2004 y 802.16e se debe considerar los siguientes factores:

3.3.1. Tipo de Mercado

3.3.1.1. Con el estándar 802.16-2004

- A quien se está dirigiendo el servicio es de suma importancia. Si son usuarios residenciales en condiciones LOS, un CPE's outdoor con una antena que tenga una buena cobertura es lo indicado. Esto guía al operador de una red inalámbrica al estándar 802.16-2004.

- Si los usuarios empresariales son el objetivo del operador de la red inalámbrica y los usuarios residenciales en un ambiente LOS, el trabajar con CPE's con una antena al aire libre puede ser más conveniente. Esto puede manejar al operador con el despliegue del estándar 802.16-2004.

3.3.1.2. Con el estándar 802.16e

- Si el operador decide irse por el mercado móvil los CPE's del estándar 802.16e comercialmente son más viables desde el punto de vista económico.

3.3.2. Espectro

- Mientras que WiMAX sigue agregando nuevos perfiles dependiendo de la demanda del mercado, es posible que solo permanezcan latentes los estándares 802.16-2004 y 802.16e en algunos espectros de banda. Por tanto el operador solo tendrá un campo mínimo de elección entre estándares y bandas del espectro, dependiendo la disponibilidad de los equipos.
- Es probable que las características de 802.16e se adicionen a las bandas típicas que están reservadas para aplicaciones fijas y nómadas ya que el estándar 802.16 es menos propenso a las interferencias multicamino.

3.3.3. Regulación

- La elección del estándar también depende del país donde se quiera implementar el mismo. Algunos entes reguladores asignan tipos de servicio específico que se puedan ofrecer en una banda del espectro de frecuencias.
- En Europa, Centro y Sur América trabajan con el espectro licenciado de 3.5 GHz que permite dar servicios nómadas y fijos, evitando la adopción del estándar

802.16e, que es un apoyo para los servicios móviles, no obstante las licencias del espectro de frecuencias no son asignadas típicamente al uso particular de una tecnología.

3.3.4. Disponibilidad de productos

Gracias a la temprana penetración en el mercado los productos 802.16-2004 en las bandas licenciadas exenta de licencias, se tiene un gran stock de productos de donde podemos seleccionar el que se ajuste a los requerimientos del diseño. En el caso de que se haya elegido el estándar 802.16-2004 y se requiere migrar hacia 802.16e, los pasos a seguir se los determina a continuación.

3.4. PASOS PARA EMIGRAR AL ESTÁNDAR 802.16e

Un aspecto importante que se debe resaltar para poder elegir con un criterio acertado entre los estándares 802.16-2004 y 802.16e es mira los estándares a futuro, sus aplicaciones y acogida del mercado que tendrán como se lo muestra en la figura 3.10.

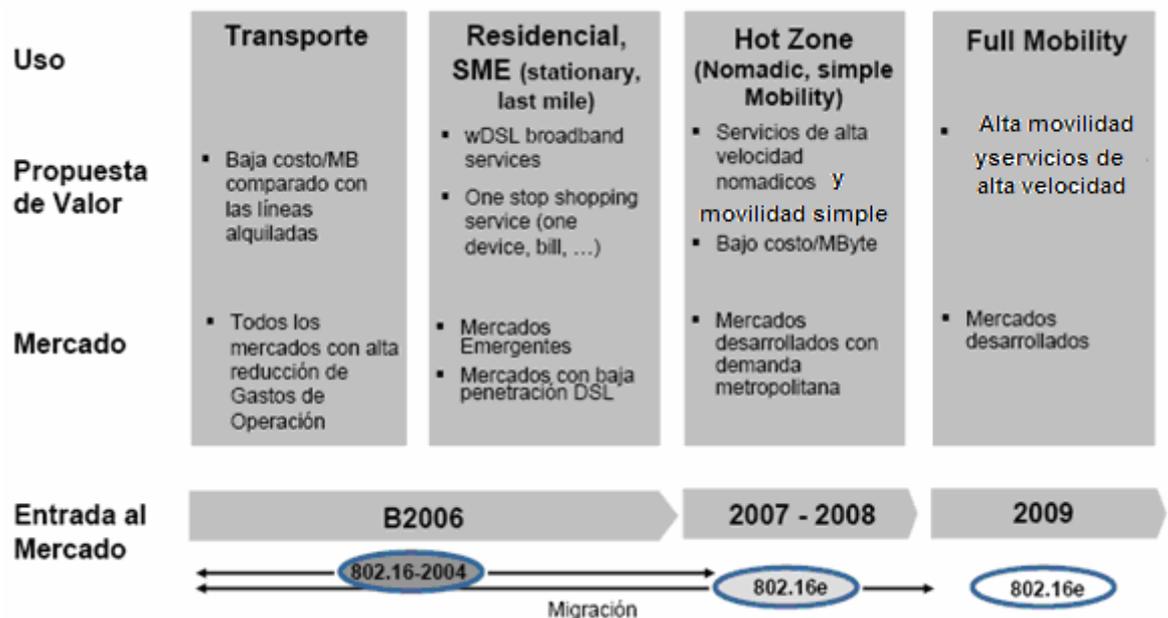


Figura. 3.10. WiMAX para todo uso en el futuro y en la actualidad

Los operadores que quieren migrar fácilmente y con un costo mínimo de una red con el estándar 802.16-2004 a una red con el estándar 802.16e tendrán varias opciones las mismas que se las determinan a continuación:

3.4.1. Cobertura de la Red

- En áreas donde el operador de la red quiere adicionar accesos móviles y portátiles, una cobertura de la red bajo el estándar 802.16-2004 con el estándar 802.16e puede ser desarrollada si los recursos del espectro están disponibles.
- Esto permite ofrecer al operador de la red los dos tipos de acceso fijo y móvil en la misma área de cobertura, pero el usuario obligatoriamente debe tener dos CPE's si desean acceder a las dos redes bajo los dos estándares 802.16-2004 y 802.16e.

3.4.1.1. CPE's 'dualmode'

- Los operadores que se quieren cambiar al estándar 802.16e pueden trabajar con los CPE's en 'dualmode', para poder trabajar con 802.16-2004 y 802.16e. Inicialmente el operador trabajara con 802.16-2004 para la BSR y CPE's.
- Una vez que los productos de 802.16e salgan al mercado, los CPE's serán 'dualmode'. Al momento de que todos los subscriptores tengan CPE's 'dualmode' intercambiara 802.16-2004 con 802.16e. automáticamente cambia al modo de operar.

3.4.1.2. Actualización del software de la BSR

La actualización del software de la estación de radio base se relaciona con el doble modo de trabajo de los CPE's. En éste caso, en lugar de reemplazar la BSR el operador puede realizar una actualización del software que sea aplicable para 802.16e.

3.4.1.3. “Dualmode’ de la estación de Radio Base (BSR)

Si los CPE’s soportan solo un modo de trabajo y se planea un cambio gradual a 802.16e, puede ser instalado el dualmode de la BSR. En lugares donde la cobertura de la red no es efectiva o al operador le falta requerimientos del espectro, el dualmode de la BSR soporta las dos formas que opera WiMAX, y eventualmente cambiar completamente a 802.16e cuando todos los CPE’s sean actualizados.

Los operadores que quieran brindar servicios con características de movilidad y portabilidad a sus suscriptores, tienen que cambiarse a 802.16e. Si el operador de la red no requiere de características de movilidad y portabilidad, ya que brinda servicios fijos y nómadas a sus suscriptores debería mantenerse trabajando con el estándar 802.16-2004.

3.5. ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR Y JUSTIFICACIÓN

Basándose en los puntos anteriores como son el rendimiento, servicio, tipo de mercado, espectro, regulación y equipos, se ha analizado todas las ventajas y desventajas y se decidió usar el estándar 802.16-2004. A esto le sumamos el hecho que trabaja en las bandas exentas de licenciadas, la facilidad de encontrar los equipos en el mercado, el aspecto económico y al mercado que esta dirigido éste diseño.

Un punto importante al momento de elegir el estándar fue el rendimiento de cada estándar; debido a que el estándar 802.16e brinda servicios móviles, requiere licencia para brindar éste tipo de servicio, el tener la licencia del uso de la frecuencia es muy costoso.

En éste proyecto se trabajara en la banda exenta de licencia de 5.8 GHz, para brindar servicios a usuarios residenciales y empresariales que son nuestros usuarios potenciales. Además el costo seria demasiado alto al usar una banda licenciada, por estas razones y las antes mencionadas se optó por trabajar con el estándar 802.16-2004.

3.6. PLANIFICACIÓN DE FRECUENCIAS

La planeación de frecuencias es una de las más importantes consideraciones en la implementación de redes inalámbrica PMP. El espectro es un recurso valioso que debe administrarse para aprovechar al máximo la reutilización dentro del área de operaciones. [33]

Un canal radioeléctrico es la banda de frecuencia ocupada por una onda radioeléctrica modulada, teniendo en cuenta el ancho de banda y la frecuencia de la portadora de la onda modulada (según la UIT-R).

Es conveniente optimizar la utilización del espectro radioeléctrico, lo que equivale a encontrar métodos que permitan transmitir el máximo de información sobre el trayecto donde se éste realizando el diseño de la red inalámbrica, con la banda más estrecha posible y con interferencias aceptables.

Por la necesidad de dar un servicio óptimo a los suscriptores el ancho de banda es mayor de lo necesario para transmitir la señal. Esto se realiza ya que se debe tomar en cuenta el efecto que puede causar las interferencias entre canales.

3.6.1. Número de canales necesarios para la transmisión bilateral de una señal

Se necesita mínimo dos canales para transmitir bilateralmente una señal sobre un sector determinado. Para evitar las interferencias que son producidas por diferentes factores de las antenas, se utiliza el plan a dos frecuencias, teniendo un uso optimo del espectro, es de suma importancia el uso de antenas de gran calidad para poder gozar de estos beneficios.

Las antenas crean campos electromagnéticos radiados. La polarización en una determinada dirección se define como la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. La polarización

⁸⁵ [33] Universidad Nacional de Rasario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, ingeniería Electrónica, TEMA Radio enlaces Planes de Frecuencia, 30 de julio del 2006

puede ser lineal, circular y elíptica. La polarización lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical, $+45^\circ$, -45°). La polarización circular o elíptica puede ser a derecha o izquierda (*dextrógiras o levógiras*)⁸⁶, según el sentido de giro del campo (observado alejándose desde la antena)⁸⁷ [34].

Se llama diagrama copolar al diagrama de radiación con la polarización deseada y diagrama contra polar al diagrama de radiación con la polarización contraria.

3.6.2. Organización de un plan de frecuencias o de una disposición de canales radioeléctricos

Para poder garantizar el funcionamiento óptimo de una red de transmisión sobre la recepción por acoplamiento en una misma estación, es necesario agrupar y separar los canales de recepción y transmisión por filtrado. Una configuración de éste tipo la podemos ver en la figura 3.11.

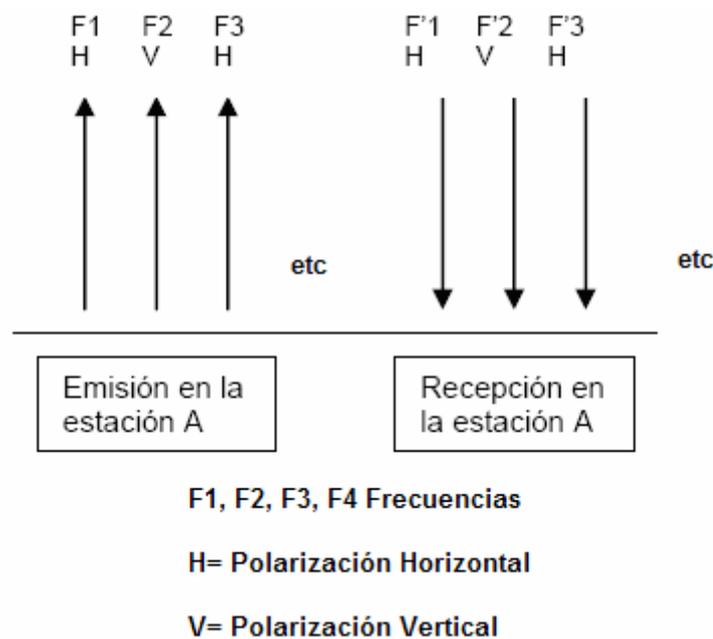


Figura. 3.11. Configuración de canales en una estación

⁸⁶ Dícese de lo que gira en el mismo sentido que las agujas del reloj en contraposición al sentido levógiro.

⁸⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Dextr%C3%B3gira>

Los canales 1, 2, 3, ..., n constituyen las semibandas bajas. Los canales 1', 2', 3', ..., n' constituyen la semibandas altas. Funciona de la siguiente manera, cada estación emite a una semibanda y recibe a la otra. En la estación siguiente, la situación se invierte. La elección de las polarizaciones respectivas de las semibandas influye sobre la infraestructura (antenas, guías de onda). Se presenta dos casos figura 3.12

- Si la polarización de F_n y $F_{n'}$ son las mismas, la Tx y Rx tienen lugar sobre un mismo acceso de la antena para un par de canales dado. Al hacer esto se crea un acceso dedicado a los canales de rango par y otro para el rango impar. Una sola antena con doble acceso y dos guías de onda son suficientes para conectar la antena a los equipos.
- Para los radio enlaces de alta capacidad, a veces es indispensable recurrir a planes de frecuencia donde la polarización de los canales F_n y $F_{n'}$ son diferentes.

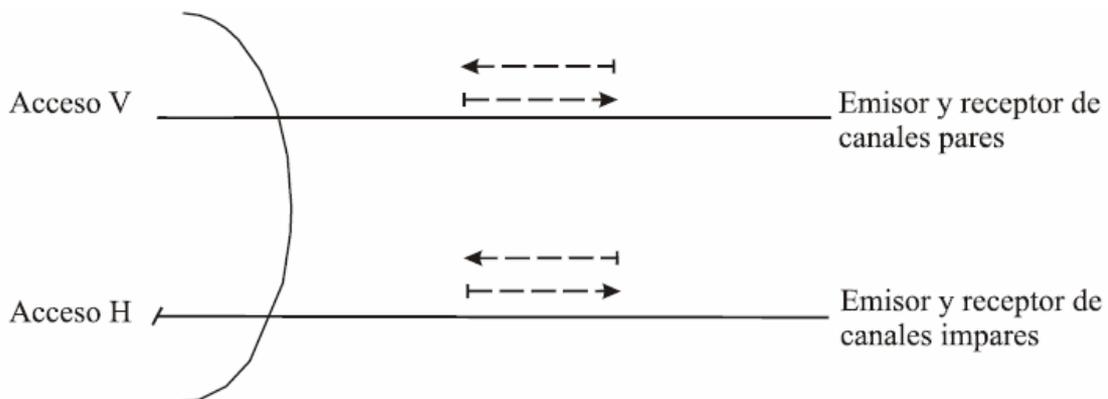


Figura. 3.12. Uso de los polarizadores

En el caso siguiente cada guía de onda lleva un solo sentido de transmisión. Es necesario utilizar dos antenas y cuatro guías de onda por estación y por dirección como se lo muestra en la figura 3.13.



Figura. 3.13. Uso de dos antenas

3.7. PRINCIPALES PLANES DE FRECUENCIA

Para una modulación, multiplexación y un tipo de señales determinadas, se puede calcular el espacio mínimo entre canales adyacentes, tomando en cuenta las interferencias que resultan de la presencia de transmisores y receptores funcionando sobre diferentes canales que ocupa el plan de frecuencia.

3.7.1. Planes de frecuencia de Radio enlaces Analógicos

El espaciamiento mínimo depende del ancho del espectro de la señal modulada, de las posibilidades de filtrado y de la sensibilidad de las señales a las interferencias. Se puede obtener excelentes resultados alternando las polarizaciones de las señales emitidas sobre un salto dado, si el canal 1 se emite en polarización horizontal, el canal 2 se emite en polarización vertical, etc.

3.7.2. Planes de frecuencias comunes a los Radio enlaces digitales

Según el tipo de modulación, se puede proponer varios modelos de funcionamiento ligados esencialmente a las propiedades de resistencia a la interferencia de las modulaciones digitales. Al realizar las investigaciones de planes de frecuencia se trata de

tener el máximo de la eficiencia espectral y por lo tanto el máximo de canales radioeléctricos. Se tiende a utilizar:

- Plan de canales adyacentes alternados en polarización, con más o menos solapamientos de los espectros. Éste particular se encuentra en las bandas de 2 a 7 GHz donde las transmisiones digitales a 34 Mbps usan una modulación 4 PSK, en la que el ancho teórico del espectro es 17 MHz y el paso entre dos canales adyacentes es de 14 MHz.

3.7.3. Comparación de bandas de frecuencia con los servicios especiales

Algunas bandas de frecuencia utilizadas para los radio enlaces, son compartidas con los servicios especiales (servicio fijo satelital). Esto se da en las bandas de 4 a 6, 11 a 14 y 20 a 30 GHz. Partiendo de esto se determina las restricciones al uso de radio enlaces terrestres. Se puede mencionar como puntos sobresalientes las siguientes restricciones:

- Según la recomendación 406 de la UIT-R, se protege la órbita de los satélites *geoestacionarios*⁸⁸ para evitar la interferencia en la recepción de las estaciones especiales en las órbitas.
- Según el informe 382 y la recomendación 359 de la UIT-R es necesario definir una zona de coordinación entre la estación terrestre y el radio enlace, para evitar interferencia del tipo estación terrestre hacia la estación de radio enlace, o viceversa.

3.8. UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS SOBRE UN TERRITORIO

Todos los radio enlaces del mismo tipo dentro de una misma zona geográfica deben funcionar en la misma banda y son susceptibles a interferencias. Para evitar perturbaciones entre un radio enlace todos los enlaces que funcionen en la misma banda, utilicen exactamente los mismos canales.

⁸⁸ Una órbita geoestacionaria es una órbita sincrónica con la rotación de la Tierra, a 35.900 km por encima del ecuador terrestre.

Los problemas de interferencia se resuelven empleando antenas con características de directividad alta y jugando con la polarización respectiva de los saltos que se perturban. Por tanto bajo ciertas condiciones angulares ligadas a la calidad de las antenas, los enlaces con el mismo plan de frecuencias, pueden cruzar en una estación común ambos.

3.9. REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS

El concepto de reutilización de frecuencias tiene su origen en las comunicaciones móviles. Dicho concepto lo propuso por primera vez en 1947 un ingeniero de los laboratorios Bell, Douglas H. Ring. Hasta entonces las transmisiones móviles se realizaban con la máxima potencia para proporcionar un área de cobertura lo más extensa posible.

La utilización de antenas omnidireccionales en la estación de radio base da lugar a múltiples interferencias en las celdas vecinas, las cuales pueden evitarse empleando frecuencias distintas. Dado que se desaprovecha capacidad de tráfico, suelen emplearse técnicas de reutilización de frecuencia para volver a utilizar el espectro en celdas suficientemente alejadas de forma similar a como se realiza en los sistemas de telefonía móvil celular.

Adicionalmente, en el interior de una misma celda también se emplea sectorización tanto para aumentar la directividad de las antenas como para independizar el tráfico de un grupo de usuarios. Las configuraciones habituales consisten en 4 sectores por celda utilizando antenas con un ancho de haz de 90 grados.

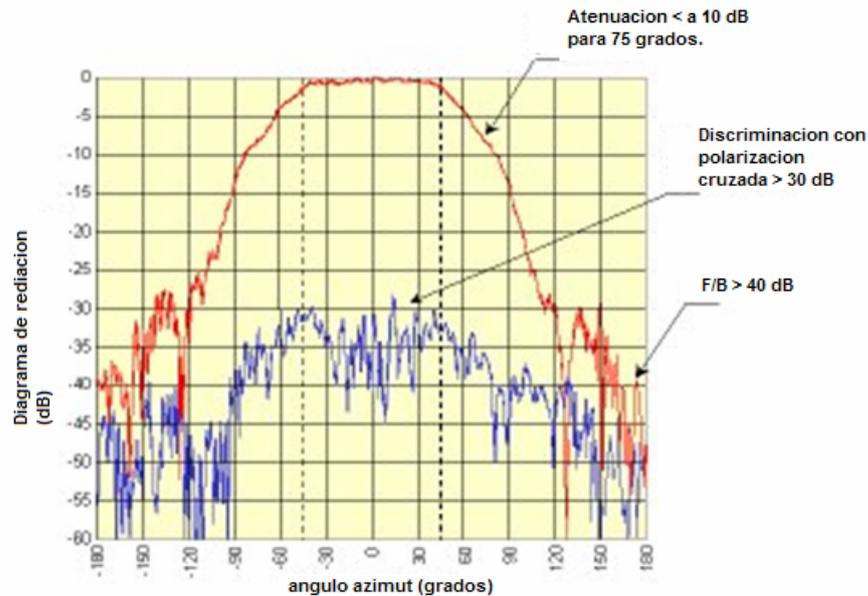


Figura. 3.14. Diagrama de radiación de una antena de 90 grados

El diagrama de radiación de una antena sectorial de 90 grados típica se muestra en la figura 3.14 (*curva de color rojo*). En esta gráfica se puede observar que la radiación se mantiene prácticamente constante desde -45 hasta 45 grados con una caída bastante suave fuera de la región de trabajo.

En la figura 3.15 se observa que existen celdas de dos tipos (A y B) uniformemente distribuidas a lo largo de toda la zona de cobertura. Las celdas de tipo A trabajan a frecuencias F1 y F3, mientras que las celdas de tipo B trabajan a frecuencias F2 y F4. A un lado de cada celda de tipo A existe una celda de tipo B para evitar interferencias, y a su vez, la orientación de los sectores en las celdas de tipo A situadas diagonalmente es distinta por idéntico motivo. En este esquema de planificación con polarización vertical únicamente, la reutilización de frecuencias que se consigue es del 100 %.

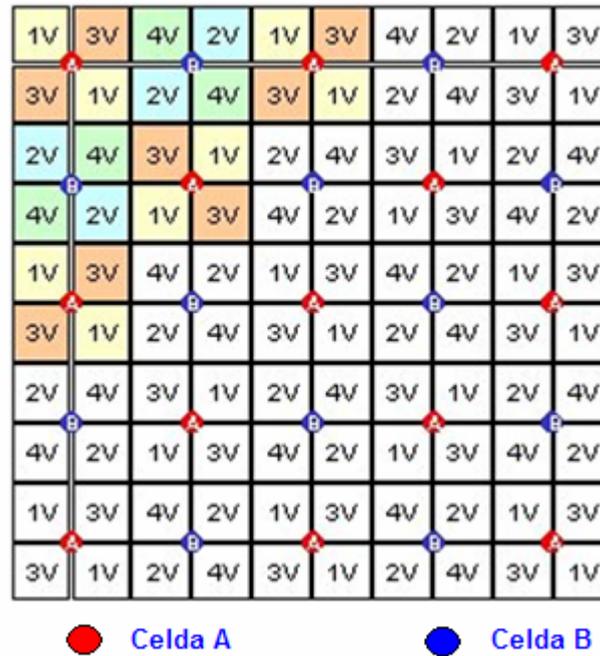


Figura. 3.15. Panificación con 4 frecuencias, 1 polarización y sectores de 90 grados

Un esquema de planificación alternativo sería el mostrado en la figura 3.16. En éste caso, se emplean polarizaciones vertical y horizontal en cada uno de los sectores de las celdas. Inicialmente se utiliza polarización vertical dado que proporciona menores pérdidas de propagación y, posteriormente, para completar el exceso de tráfico se utilizan enlaces con polarización horizontal. La reutilización de frecuencias es ahora del 200 %, por lo que el sistema de la figura 3.16 es el doble de eficiente que el de la figura 3.15. Adicionalmente, en algunos sectores con mayores niveles de tráfico es posible aumentar la sectorización. En la figura 3.16 se muestra esquemáticamente el modo de realizar una sectorización de 30 grados en uno de los sectores de la celda de tipo

- Ventajas:
 - Las terminales necesitan menos potencia.
 - Aumenta la capacidad del sistema.

- Desventajas:
 - El costo por cada celda.
 - Handover⁸⁹ [34]

La relación con el tamaño del cluster y la relación C/I en el borde de la celda es una característica de la reutilización de frecuencia. Se debe realizar una polarización vertical, que en la práctica es mucho mejor que la polarización horizontal.

3.10. PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA WiMAX⁹⁰

A la hora de realizar la planificación y despliegue de un sistema inalámbrico existen varios factores que deben tenerse en cuenta: zona geográfica y orografía⁹¹ del terreno, densidad de abonados y consumo de tráfico, calidad de servicio requerida, balance de potencias del enlace radio, tamaño y número de celdas, emplazamiento de estaciones base, reutilización de frecuencias, coste del sistema, etc. A continuación pasaremos a comentarlos más en detalle.

Las telecomunicaciones establecen un vínculo entre proveedor y el subscriptor, en donde el primero satisface las demandas del segundo, otorgando además de asesoramiento técnico, comercialización y mantenimiento para el uso de los servicios. El operador debe mantenerse un paso adelante del usuario, para que en el momento de que el usuario haga una petición el operador éste preparado para enviar un equipo capaz y listo para funcionar a pleno rendimiento. No pueden existir disculpas por parte del operador y proveedor si por una mala planificación un usuario queda insatisfecho.

⁸⁹ Proceso que permite el mantenimiento de la conexión cuando cambia el punto de acceso a la red debido al movimiento del terminal.

⁹⁰ [34] <http://www.radioptica.com/Radio/planificacion.asp>

⁹¹ La orografía es la altura media de la tierra, medida en metros geopotenciales, sobre cierto dominio

El diseño del sistema WiMAX está dirigido a la zona comercial de la ciudad de Quito, los servicios se encaminaran a usuarios que requieren *transmisión alta de información* en grandes cantidades. Después de realizar el reconocimiento total de la ciudad, se puede concluir que los sectores apropiados para brindar el servicio WiMAX son: La Patria, La Amazonas, La Colón, La Paz, La Pradera, Mariana de Jesús, La Pradera, Cruz Tobar, Rumipamba, Republica, Bellavista, El Batán, Benalcazár, Ñaquito y La Carolina.

Esta zona comercial de la ciudad de Quito está diseñada por una gran cantidad de edificios de gran altura, estas características favorece y perjudica la propagación de la señal hacia los subscriptores, el estándar 802.16-2004 con el que se va a trabajar permita implementar el servicio con características de propagación LOS y NLOS.

Aplicar una red inalámbrica en la zona comercial de la ciudad de Quito dentro de las zonas antes mencionadas, es de gran beneficio por los servicios que esta red brinda y su rápido despliegue, este sistema no requiere de medios físicos entre la estación de radio base y las terminales, agilitando la implementación de la red que dará inicio al funcionamiento del sistema.

3.10.1. Proceso de planificación del sistema WiMAX

El proceso de planificación empieza por determinar una estrategia organizada para el desarrollo del sistema, es decir se debe cumplir con los objetivos estratégicos planteados, con medios disponibles y la tecnología futura. Después de haber definido la estrategia a seguir, el análisis se centra en la planificación estructural, definiendo planes del desarrollo del sistema (planes técnicos). La planificación finaliza con la definición del mantenimiento y explotación del sistema diseñado.

3.10.2. Calidad de servicio

La calidad de servicio o fiabilidad suele medirse por medio del porcentaje de tiempo que el sistema funciona correctamente. Valores típicos oscilan entre el 99,9 % y el 99,999 %. Adicionalmente, para aumentar éste porcentaje pueden emplearse técnicas de *diversidad*. Las técnicas de diversidad pueden realizarse en el dominio espacial, frecuencia o temporal y consisten en proporcionar rutas distintas para transmitir y recibir información redundante. La idea se basa en que ahora es necesario que ocurra un desvanecimiento de la señal simultáneamente en todas las posibles rutas para cortar el enlace. De éste modo, suponiendo que disponemos de dos rutas diferentes con una fiabilidad o calidad de servicio del 99,9 %, la calidad resultante empleando diversidad llegaría hasta el 99,9999 %.

3.10.3. Balance de potencias

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

Los parámetros de calidad que se utilizan en el balance de potencias son la relación portadora a ruido (CNR *Carrier to Noise Ratio*), los niveles de distorsión de tercer orden (CTB, *Composite Triple Beat*) y la relación portadora a interferencia (CIR, *Carrier to Interference Ratio*).

Por otro lado, el nivel de distorsión acumulado a lo largo del sistema debe mantenerse en unos niveles aceptables para realizar la desmodulación en el receptor correctamente.

3.10.4. Cálculo de interferencias

A pesar de los esquemas de sectorización, reutilización de frecuencias y distintas polarizaciones que se emplean en los sistemas inalámbricos punto a multipunto, todavía es necesario un análisis cuidadoso del sistema para evitar en lo posible las interferencias cocanal y de canal adyacente. Un factor importante en el cálculo de la interferencia lo constituye la selectividad que posee el receptor frente a las modulaciones de los canales de frecuencia adyacentes. En la tabla 3.6 se presentan estos valores para las modulaciones 4 QAM, 16 QAM y 64 QAM.

Lógicamente, conforme los canales se encuentran más alejados la selectividad es más elevada. El caso peor se tiene con la modulación 64 QAM, donde el nivel de interferencia sería 2 dB superior a la potencia de canal adyacente.

Tabla. 3.6. Selectividad de canal adyacente para diversas modulaciones digitales.

Canal adyacente	4 QAM	16 QAM	64 QAM
Primero	10 dBc	4 dBc	-2 dBc
Segundo	20 dBc	14 dBc	8 dBc
Tercero	30 dBc	24 dBc	18 dBc

3.10.5. Terminología y elementos en la red WiMAX

Conocer los elementos y terminología dentro de una red WiMAX es de suma importancia para poder determinar con claridad todos los parámetros del diseño, entre los que tenemos:

- Transreceptor (TRx)
- Sector
- Celda
- Cluster
- Modos de transmisión
- Clutter

3.10.5.1. Transreceptor

Un transreceptor es la unión de un transmisor (Tx) y un receptor (Rx). El Tx en el enlace de bajada (DL) es mayor que en el enlace de subida (UL), por esta razón debe implementarse diversidad. La diversidad de espacio es mejor que la diversidad de polarización, la diversidad de polarización permite tener un menor impacto ambiental. La diversidad de espacio permite equilibrar la diferencia entre UL y DL.

3.10.5.2. Sector

El fin de la sectorización es optimizar el espectro radioeléctrico, el parámetro principal de la sectorización es conocer de cuánto espectro dispongo. Entre cada sector existen bandas de guarda, las mismas que no permiten que exista interferencia entre bandas. Cuando se divide un sector del espectro en 3 partes se puede usar antenas con lóbulos de 65° y se garantiza un servicio igual al que otorga una antena con un lóbulo de 120° .

3.10.5.3. Cluster y Clutter

- Es un arreglo de celdas para poder dar un servicio de alta capacidad de cobertura.
- Al momento de cubrir un área geográfica en particular, la señal se propagaría de manera diferente sobre los diferentes tipos de clusters. Cada clutter tiene distintas características como se menciona a continuación:

Clutter densamente urbano:

- Tiene una densidad típica de edificios de un 50% o superior.
- Incluye áreas construidas con varios tipos de edificios de varias alturas, pero muy juntos unos con otros.
- Dificulta la visualización de la calle.
- No hay vegetación.

Clutter urbano:

- La densidad de los edificios está sobre el 30%.
- Las áreas pueden ser agrupadas fácilmente.
- La mayoría de edificios son de vivienda.
- Puede haber presencia esporádica de edificios de mayor altura.
- Presencia aislada de vegetación

Clutter suburbano:

- La densidad de edificios es menor al 30%.
- Las construcciones están dentro del perímetro urbano.
- Las construcciones se pueden distinguir fácilmente.
- La mayoría de los edificios son de tipo residencial.
- Mayor presencia de vegetación.

Clutter Ex Urbano y/o residencial:

- Construcciones fuera del área urbana.
- Presencia continua de árboles.

3.10.6. Conceptos generales

La planificación es la forma, camino o metodología empleada para poder llevar acabo un proyecto. El propósito principal de la planificación es poder llegar al cumplimiento de objetivo con la mínima interferencia producida por diversas circunstancias que están fuera del alcance como por ejemplo catástrofe natural, cambios en la política interior o exterior, influencia de determinadas inversiones económicas extranjeras, etc. que pueden retrasar o detener su logro.

Sin embargo, la dedicación a realizar una planificación resulta más rentable y técnicamente fiable en muchos aspectos que un funcionamiento basado en criterios personales momentáneos.

El control dentro de la planificación es la toma de decisiones, la cual se basa en la información sobre la situación actual, para actuar sobre el desarrollo futuro del proceso para el cumplimiento del objetivo. El seguimiento por su parte, es el proceso de obtener información para poder relajar el control.

3.10.7. Plazos de planificación

Los plazos en la planificación vienen dados por periodos de tiempo, en los cuales se determina las actividades correspondientes dependiendo del organismo que realice la planificación. Entre los diferentes plazos tenemos:

- Largo plazo: comprende un periodo de 20 años generalmente, se emplea para la adquisición de equipos.
- Medio plazo: abarca de 5 a 15 años.
- Corto plazo: comprende un periodo de dos años.

En el caso del diseño del sistema WiMAX, el plazo adecuado es el mediano (5-15 años), debido a la instalación de equipos y su planificación sobre una zona determinada.

3.11. ESTRATEGIA DE PLANIFICACIÓN DEL SISTEMA WiMAX

En el Ecuador de acuerdo a información entregada por SENATEL, existen varios operadores de Telecomunicaciones interesados en la concesión del último segmento de la banda licenciada de 3.4 a 3.6 GHz, entre los cuales podemos citar:

- Pacifictel.
- ETAPA Telecom.
- ETAPA.

- Movistar.

En la banda exenta de licencia no existe por el momento ningún operador trabajando en la banda de 2.4 y 5.8 GHz. La implementación en las bandas libres será en un futuro cercano la elección acertada debida a las grandes ventajas que éste presenta y ya que el mercado de las telecomunicaciones está sin ser explotado a un 100%.

3.11.1. Objetivos

En el transcurso del desarrollo de éste proyecto se han determinado puntos clave que se deben establecer dentro de éste proyecto:

- Realizar la instalación inmediata del sistema WiMAX en la zona comercial de la ciudad de Quito, con una demanda inicial de usuarios y su respectiva proyección a mediano plazo (*5 a 15 años*).
- Promocionar e integrar servicios (*valor agregado*) nuevos de telecomunicaciones, con tarifas asequibles a los subscriptores. Cubrir la zona en su totalidad, aumentando la tasa de penetración.
- Aumentar el número de celdas del sistema WiMAX y la capacidad en cada una de las celdas, conforme las características de los equipos a usarse en las bandas libres (2.4 y 5.8 GHz) lo permitan.

3.11.2. Etapas

Par poder cumplir con los objetivos planteados anteriormente se de cumplir con las siguientes etapas:

- Estudio del mercado y estudio demográfico identificando las necesidades.

- Diseño técnico detallado para cada zona dentro del sector comercial de Quito, dependiendo del número de usuarios y tomando en cuenta el tráfico en las horas pico.
- Instalación del sistema WiMAX en lugares específicos seleccionados para el diseño dependiendo de la morfología de la zona.
- Inicio de la operación del sistema.
- Integración de usuarios iniciales con tarifas iniciales.
- Ampliación de los servicios del sistema dependiendo del crecimiento del tráfico, número de usuarios y de la expansión física a nuevos sectores dentro de la zona comercial de la ciudad de Quito.
- Disminución en las tarifas conforme el número de usuarios vaya en aumento.

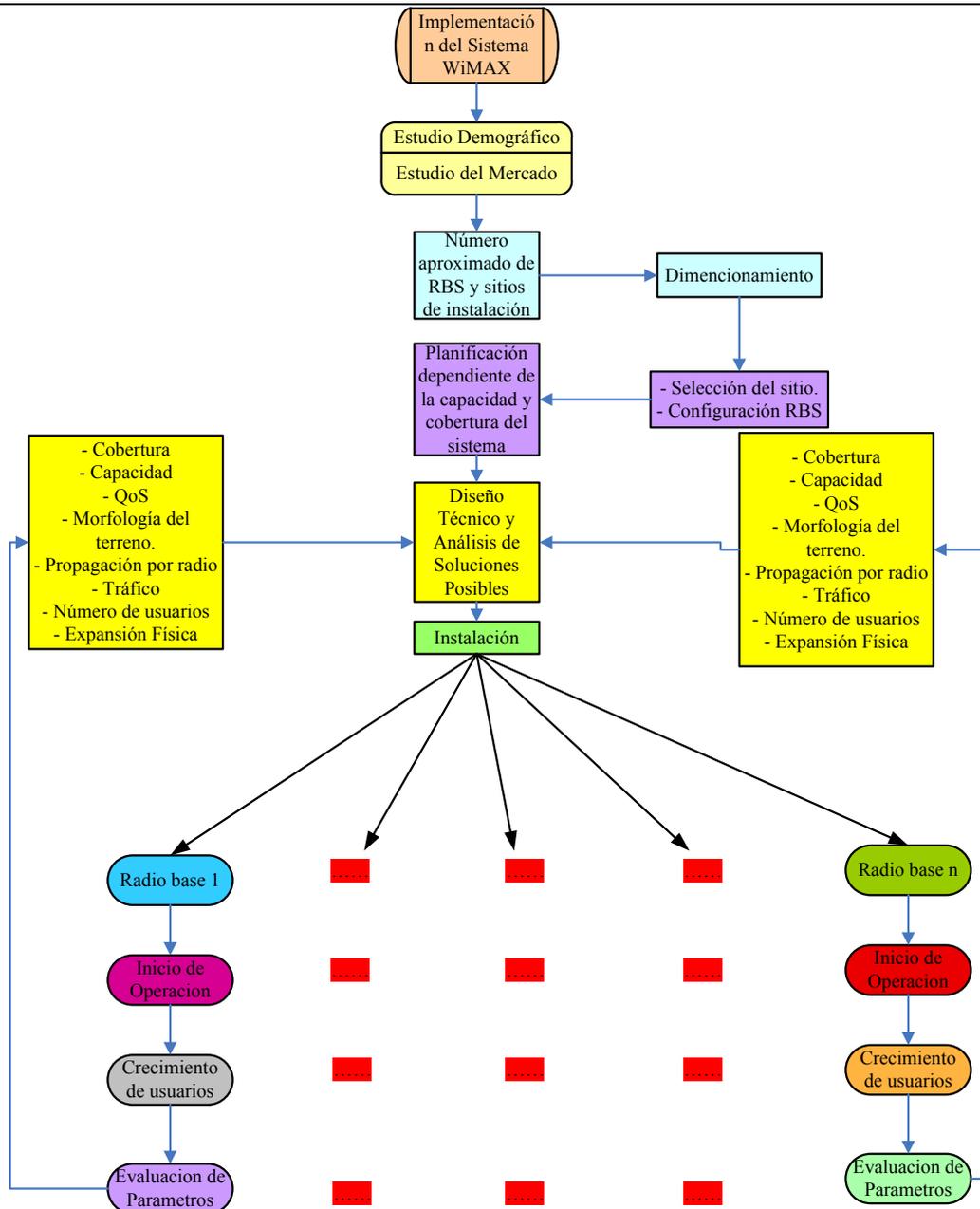
3.11.3. Plan estratégico

Éste plan estratégico se lo sigue de acuerdo a los objetivos planteados y las etapas que hay que seguir para poder lograr el cumplimiento del proyecto.

Introducción: En la banda exenta de licencia no existe por el momento ningún operador usando la banda de 2.4 y 5.8 GHz. La implementación en las bandas libres será en un futuro cercano debido a las grandes ventajas que éste presenta y debido al mercado de las telecomunicaciones que está sin ser explotado a un 100%.

Objetivos:

- o instalación inmediata del sistema WiMAX
- o Integración de nuevos servicios
- o Aumento de la tasa de penetración.
- o Tarifas asequibles



3.12. PLANIFICACIÓN ESTRUCTURAL

En éste punto se determina la configuración básica del sistema WiMAX y los criterios que se deben tomar en cuenta para el buen funcionamiento del mismo. El resultado de está planificación se recoge en los planes de desarrollo, donde se detallan:

- Estructura.
- Equipos a instalar en cada punto estratégico del sistema.

3.12.1. Usuarios Potenciales

Para poder identificar las necesidades de los posibles subscriptores, se tiene que analizar su forma de vida laboral, los servicios que requieren, las necesidades de cada cliente en particular. Con el sistema WiMAX, no vamos a dirigir hacia un mercado específico, éste mercado es netamente comercial, ya que los requerimientos que éste mercado exige van de acuerdo a las características básicas del sistema WiMAX, el mercado a quien nos vamos a dirigir son:

- Bancos.
- Empresas medianas.
- Empresas grandes.
- Hoteles.
- Aeropuertos.
- Universidades, entre otros.

Al hacer un reconocimiento de la zona comercial de Quito, se obtuvo información necesaria de los posibles clientes. En el “ANEXO 1-Usuarios Potenciales” contiene una lista con: nombre, dirección, altura de los edificios, número de pisos de cada uno. El número total de usuarios potenciales es de 135.

3.12.2. Proyección de la demanda

La planificación de las redes se basa directamente en la distribución de abonados con una proyección al futuro. Para poder realizar una proyección real del tráfico, se debe tener una previsión confiable.

Un estudio de la posible demanda de los abonados es la herramienta necesaria que nos permite calcular las previsiones del tráfico, que muchas veces lleva al uso de modelos cronológicos que resultan poco confiables debido a:

- Una economía fluctuante, con periodos de auge y depresión.
- Cambios sociales que desvían las tendencias.
- Evolución de las telecomunicaciones en un proceso que resulta discontinuo.

Estos inconvenientes que se pueden presentar se los puede solucionar aplicando un modelos *económicos*⁹². Esos modelos económicos no siempre resultan los más adecuados, debido a la gran cantidad de ecuaciones y la complejidad de las mismas, la escasez de datos de partida y la diversidad de niveles geográficos de demanda.

Para poder dar una solución se determina una estrategia a seguir cuya relación está en función del presente y del futuro. La estrategia puede ser:

- **Determinista:** esta estrategia determina una relación causal completa entre el presente y el futuro. Las estrategias presentes determinan en gran cantidad los resultados futuros.
- **Sistemática:** se basa en considerar que la evolución se produce por medio de leyes y principios que siguen reglas estrictas, ordenadas y conocidas.
- **Sintomática:** se basa en la existencia de síntomas visibles reales en ese momento, estos permiten tener una idea de la evolución del futuro.

⁹² Parte de la economía que aplica técnicas matemáticas y estadísticas al análisis de las teorías económicas y a la solución de los problemas económicos mediante modelos.

Ya que no se cuenta con modelos específicos que determinen la previsión de la demanda de abonados, se debe tomar en consideración dos o más tipos de modelo de provisión posible.

3.12.2.1. Evolución Cronológica de la Demanda

Si se analiza el tráfico en un nodo de la red a lo largo del tiempo, se observa que existe un crecimiento porcentual progresivo. Éste crecimiento no es lineal, debido a que en el desarrollo de una red se presentan diferentes fases y etapas las mismas que dependen del lugar de implementación, las mismas que tienen marcadas diferencias. Las tres etapas fundamentales en la vida de una red son:

1. Fase de arranque.
2. Fase de crecimiento y acelerado.
3. Fase de saturación.

Fase de arranque: El crecimiento es muy lento.

Fase de crecimiento rápido: los sectores donde se brinda el servicio exigen una mayor calidad de servicio. Los sectores residenciales y privados consideran el uso de los servicios, esto va relacionado con su estatus de vida. En esta fase se afianza el sistema implementado, por lo que hay que realizar un estudio minucioso de las previsiones.

Fase de saturación: cuando el sistema implementado tiene una aceptación total en el sector privado se puede decir que el sistema ha alcanzado la fase de saturación.

El tiempo que dure en cumplir el sistema las tres fases depende del nivel de desarrollo del país en donde se éste implementando el sistema. Por tanto para un país desarrollado económicamente el tiempo que le tome llegar a una fase de saturación será rápido; para un país que está llegando a completar su fase de desarrollo el tiempo será mayor pero no tendrá una gran diferencia; mientras que para un país en vías de desarrollo como el Ecuador, la fase de arranque es rápida pero la fase de saturación se prevé a largo

plazo; para un país de escaso desarrollo por recursos insuficientes, el crecimiento de cada fase es lento.

3.12.2.2. Segmentación del Mercado

El mercado se está segmentado dependiendo del sector y las necesidades del sector privado y público, por estos factores y otros se debe realizar en la zona comercial de la ciudad de Quito un estudio de mercado minucioso para determinar las necesidades de cada usuario potencial.

3.12.2.3. Localización de la Demanda

La proyección de la demanda se la realiza después de haber recopilado información demográfica de las zonas en donde se va a instalar el sistema, se debe tener en cuenta de cada zona el estándar de vida, número de empresas, crecimiento y determinar la demanda de los potenciales usuarios del sistema.

Para realizar un análisis que nos permita tener datos reales fiables y confiables, se debe dividir la zona comercial de la ciudad de Quito, en zonas administrativas menores. Se debe dividir las zonas en relación al servicio y otras por zonas administrativas, estableciendo proyecciones para cada zona.

3.12.2.4. Modelo Matemático

Basándonos en la evolución cronológica de la demanda, el crecimiento es de forma exponencial, por lo que se utilizara un método de la tasa de *crecimiento exponencial* para la proyección de la demanda inicial. La fórmula que se usara es la siguiente:

$$Q_n = Q_0(1 + \tau)^n \quad [3.1]$$

en donde :

Q_0 = Cantidad inicial de usuarios potenciales.

Q_n = Cantidad de usuarios potenciales luego de n años

n = Número de años.

τ = Tasa de crecimiento promedio acumulativa anual (si esta dada en años).

En donde la tasa de crecimiento está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau = \left(\frac{Q_n}{Q_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad [3.2]$$

El diseño inicialmente se lo realizara para el 35% de los usuarios potenciales que estén usando el sistema WiMAX (ANEXO 1-Usuarios Potenciales) bajo el estándar 802.16-2004 por cuestiones de publicidad no todos los usuarios se encuentran informados de la existencia del sistema y de los beneficios que éste brindara a los subscriptores que usen WiMAX. Con el paso de tiempo y la publicidad que se difunda dentro de la zona que se está cubriendo la demanda inicial aumentara y se podrá cubrir un 81% del número de usuarios potenciales de la zona comercial de la ciudad de Quito, tomando un crecimiento anual del 5.75%, valor aceptable en sistemas de telecomunicaciones inalámbricos, donde la tasa de penetración es baja.

La totalidad de los usuarios no es cubierta, ya que estos usuarios potenciales se encuentran dentro del área de cobertura de las celdas y formarán parte de las celdas adyacentes en el futuro.

La proyección de la demanda se la realiza para 15 años, que corresponde al mediano plazo, como se lo muestra en el literal 3.9.7.

$$\text{Por tanto: } \begin{cases} Q_0 = 47 \text{ usuarios} \\ n = 15 \text{ años} \\ \tau = 5.75\% \end{cases}$$

Esto deja como resultado al transcurrir los 15 años una cantidad de usuarios potenciales $Q_n = 109$ usuarios. Plasmando los datos en una gráfica el resultado es el siguiente. Figura 3.18.

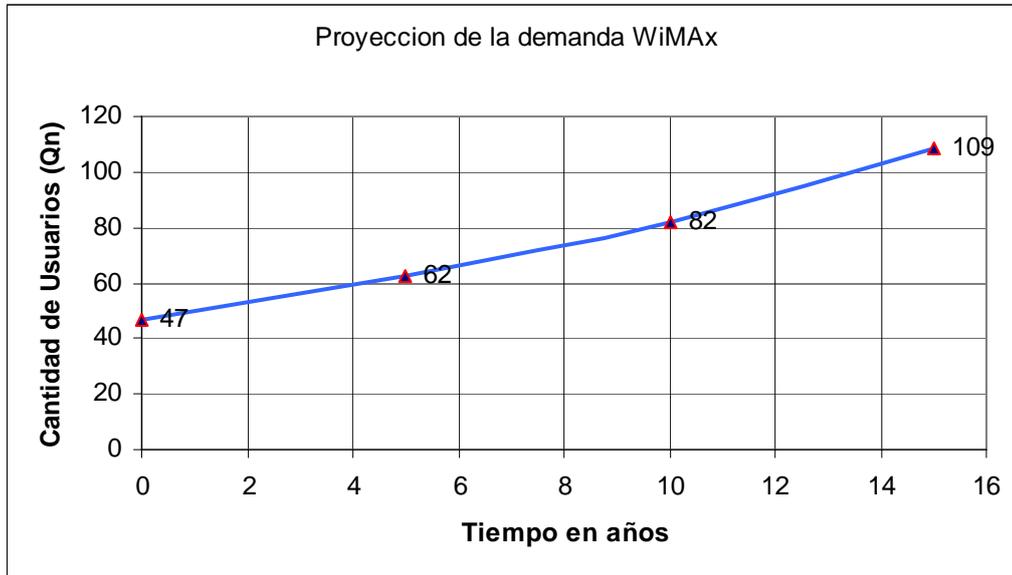


Figura. 3.18. Curva exponencial de la demanda para WiMAX

3.12.3. Banda de frecuencia

Como ya lo determina el CONATEL y se lo explico en numerales anteriores el plan de frecuencias para las bandas libres de 2.4 a 2.483 GHz y 5.15-5,25 GHz, 5.25-5.35 GHz, 5.725-5,825 GHz y 5.725 a 5.825 GHz se las puede atribuir para la explotación del sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004, estas bandas son de uso libre, no requieren licencia.

La banda escogida para el diseño en la zona comercial de la ciudad de Quito, es la banda de 5.75 a 5.825 GHz ya que está banda permite realizar una mejor distribución de sub-bandas, además se puede contar con una variedad de equipos que trabajan en esta frecuencia.

3.12.4. Radio de la celda

El tamaño máximo de celda se encuentra directamente relacionado con la calidad de servicio exigida y puede calcularse por medio del balance de potencias. El tamaño de celda puede variar dentro de la zona de cobertura debido al tipo de antena utilizado, a su altura, a las pérdidas por vegetación, al esquema de modulación empleado.

En el caso del estándar 802.16-2004 que trabaja con la banda exenta de licencia de 5.725 a 5.825 (con frecuencia central de 5.8 GHz) los radios de cobertura varían dependiendo de la zona, para zonas urbanas, rurales y semirurales, los radios típicos de celda oscilan entre 4.5 Km a 7.5 Km NLOS y 28 Km LOS.

No obstante, el tipo de área (urbana, suburbana o rural) condiciona enormemente el tamaño de celda por cuestiones de tráfico. A pesar de que los distintos abonados pueden disponer de un nivel de señal suficiente, el ancho de banda disponible es un recurso compartido. De éste modo, en el caso de zonas con alta densidad de usuarios o grandes consumos de ancho de banda (edificios de empresas), no se puede garantizar una cierta calidad de servicio y es necesario reducir el radio de las celdas para garantizar la confiabilidad del sistema WiMAX, el diseño se lo hará con los valores más altos posibles determinados por la UIT-R (99.99%). Por tanto el valor máximo del radio para el diseño de la celda es de 4.5 Km.

3.12.5. Ubicación de las Radio Bases

En la figura 3.19 se encuentran las características de la celda que se va a diseñarse.

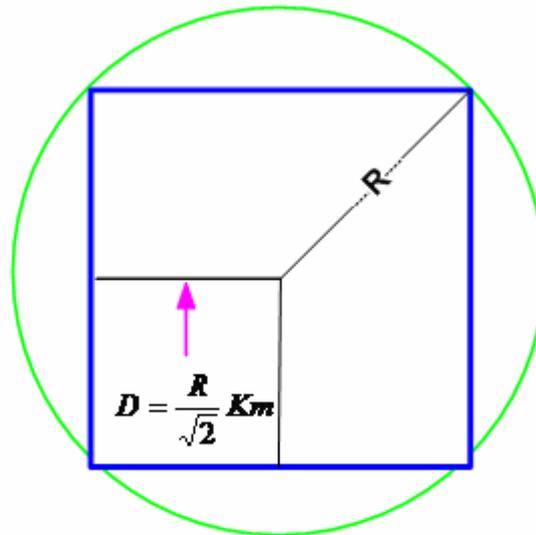


Figura. 3.19. Diagrama de la posición de la celda

En donde: R = Longitud de radio de las celdas.

D = Distancia Mínima entre estaciones Base

$$D = \frac{R}{\sqrt{2}} \text{ Km} \quad [3.3]$$

Para poder escoger los lugares de emplazamiento de las radios bases, se necesita cumplir con los siguientes requerimientos:

- Línea de vista con casi todos los usuarios, específicamente con los que estén ubicados a mayor distancia de la radio base. Para el caso del sistema WiMAX con el estándar 802.16-2004 no es necesario tener línea de vista.

El primer requisito LOS es de importancia, para lo que se debe realizar una inspección en la zona comercial de la ciudad de Quito. Un punto a favor que se tiene con el sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004 es la característica de dar cobertura sin necesidad de línea de vista NLOS. Para poder cerciorarnos de que existe línea de vista con la mayoría de los usuarios se recurrió a tomar fotografías desde la estación de radio base ubicada en el MOP y con la ayuda del software “Radio Mobile” se verificó las características de los edificios en la zona comercial de la ciudad de Quito, éste software

nos permite verificar gráficamente la mejor posición de la estación de radio base. Los cinco edificios con mayor altura se los nombra en la tabla 3.7 respecto a los demás, se los determino después de hacer la debida inspección de los sitios y con la ayuda del software “Google Earth” se determino sus coordenadas Geográficas.

Tabla. 3.7. Edificaciones de mayor altura

NOMBRE	DIRECCIÓN	ALTURA
Hotel Alameda Plaza	Av. 12 de Octubre y Francisco Salazar	77m
Banco de Prestamos	Av. 12 de Octubre y Francisco Salazar	76m
Corporación Financiera Nacional	Reina Victoria y Av. Patria	76m
COFIEC	Av. Patria y Av. Río Amazonas	72m
Ministerio de Obras Públicas	Juan León Mera y la Niña	71

Después de realizar la debida inspección de los edificios más altos dentro de la zona comercial de la ciudad de Quito, pruebas de cobertura, perfil del terreno, línea de vista en diferentes puntos de la zona, se obtuvo los siguientes resultados con la ayuda del software “Radio Mobile”. Los resultados son los siguientes:

3.12.5.1. Radio Base en el COFIEC

Al colocar la estación de radio base en el COFIEC el área de cobertura desde éste punto es la que se muestra en la figura 3.20 y 3.21 respectivamente, las características técnicas que se calcularon y obtuvieron de los equipos se la indica en la tabla 3.8. Además el perfil del terreno se lo realizo respecto al punto más lejano (Corte Suprema de Justicia) respecto a la estación de radio base en el COFIEC se lo puede ver en la figura 3.22.



Figura. 3.20. Área de cobertura con la estación de radio base en COFIEC

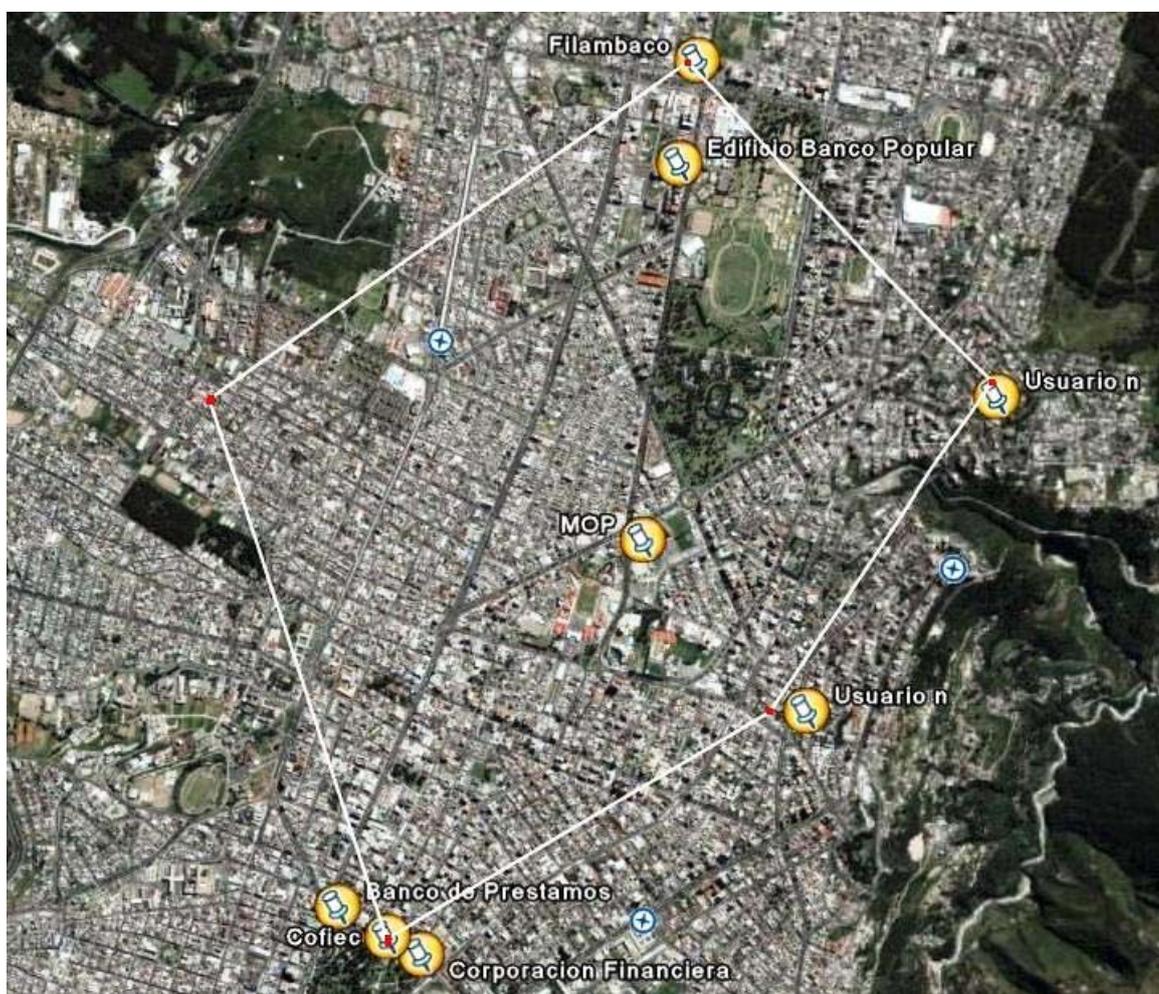


Figura. 3.21. Área de cobertura con la estación de radio base en COFIEC

Estas gráficas nos indican que con el estándar 802.16-2004 se puede cubrir la zona frontal desde el COFIEC hasta el Corte Suprema de Justicia, esto sucede ya que se usa una antena sectorial, por tanto para las zonas laterales respecto al COFIEC la potencia de transmisión es menor, por lo tanto la confiabilidad del sistema no es óptima. Éste análisis se lo realizó basándonos en los datos técnicos de la tabla 3.8.

Tabla. 3.8. Datos de propagación COFIEC Corte Suprema de Justicia

Select from Radiosys.dat	
System name	Mini UHF
Transmit power (Watt)	5 (dBm) 37
Receiver threshold (μV)	0,75 (dBm) -109,5
Line loss (dB)	10,8 (Cable+cavities+connectors)
Antenna type	corner.ant View
Antenna gain (dBi)	13 (dBd) 10,85
Antenna height (m)	30 (Above ground)
Additional cable loss (dB/m)	5,4 (If antenna height differs)
Add to radiosys.dat	Remove from radiosys.dat

El perfil del terreno entre estos dos puntos (COFIEC y Corte Suprema de Justicia) es el siguiente:



Figura. 3.22. Perfil entre el COFIEC y la Corte Suprema de Justicia



Figura. 3.25 Área de cobertura con una antena omnidireccional en el MOP

El perfil entre el MOP y el COFIEC se lo muestra en la figura 3.26.

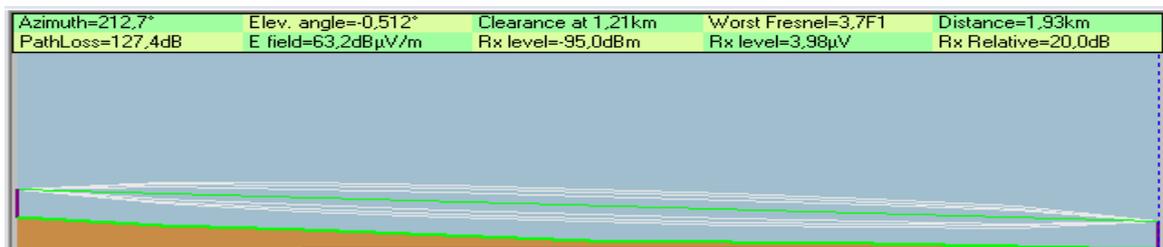


Figura. 3.26. Perfil entre MOP y COFIEC

Perfil entre MOP y Corte Suprema de Justicia en la figura 3.27.



Figura. 3.27. Perfil entre MOP y la Corte Suprema de Justicia

La línea de vista desde el MOP hacia la Corte Suprema de Justicia y el COFIEC se lo muestra en al figura 3.28 y figura 3.29 respectivamente:

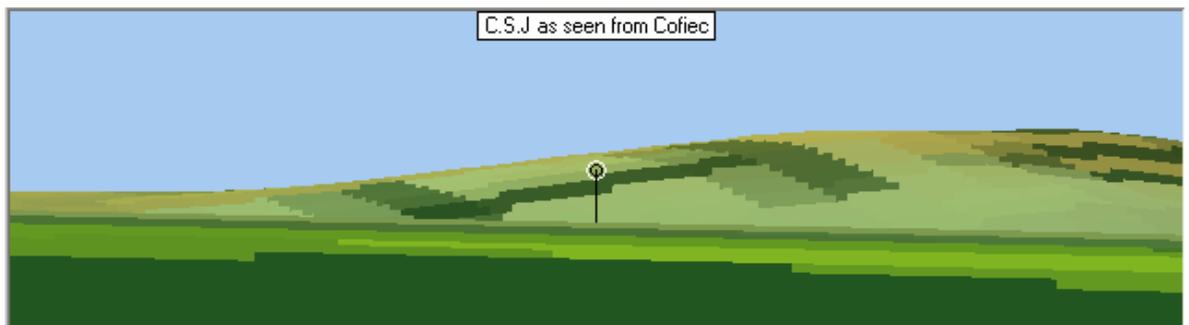


Figura. 3.28. Línea de vista desde el MOP al Corte Suprema de Justicia



Figura. 3.29. Línea de vista desde el MOP al COFIEC

Después de haber hecho el respectivo análisis, determinando el mejor lugar físicamente hablando, el edificio del Ministerio de Obras Públicas es el apropiado, debido a

su ubicación física dentro de la zona comercial de la ciudad de Quito, éste edificio es ligeramente de menor altura respecto a las otras edificaciones, sin embargo es céntrico para todos los usuarios potenciales dentro de la zona, permitiendo tener una cobertura con alta confiabilidad, además nos permite ahorrar potencia y dinero. Gracias a que éste estándar 802.16-2004 trabaja con modulación OFDM no necesita línea de vista para tener cobertura con todos los usuarios potenciales, por tanto el hecho de que éste edificio dentro de esta zona no sea el de mayor altura no limita los beneficios que se podrá brindar desde éste punto físico.

Además gracias a la herramienta “*Radio Mobile*”, que se facilitó al momento de confirmar los puntos de posible enlace, dando a conocer parámetros tales como altura de las antenas necesaria para que no exista interferencia, ganancia de las antenas, pérdidas de potencia por diferentes factores y potencia de transmisión, estos factores son de suma importancia al momento del diseño ya que facilitan los cálculos del sistema. En la tabla 3.9 se determina las coordenadas exactas del lugar donde se ubicará la estación de radio base.

Tabla. 3.9. Estación de radio base seleccionada

Emplazamiento de la Radio Base	Dirección	Altura del edificio (m)	Altura sobre el nivel del mar	Coordenadas geográficas
Ministerio de Obras Públicas	Juan León Mera y La Nina	71	2766	00°10'42,92" S 78°29'11,35" W

3.12.6. Área de Cobertura

Después del análisis realizado en la sección anterior, se trabajará con una sola celda según la figura 3.19. Esta celda estará dividida en cuatro sectores, cada uno de estos está dividido a su vez en tres regiones más. Las principales regiones son (A1, B1, C1, D1), estas regiones son las que se encuentran más cercanas a las radio bases. Las demás regiones se encuentran en la periferia (A1', B1', C1', D1'). En la figura 3.30 muestra el área que se va a cubrir con el sistema con un alcance de 4.5 Km.

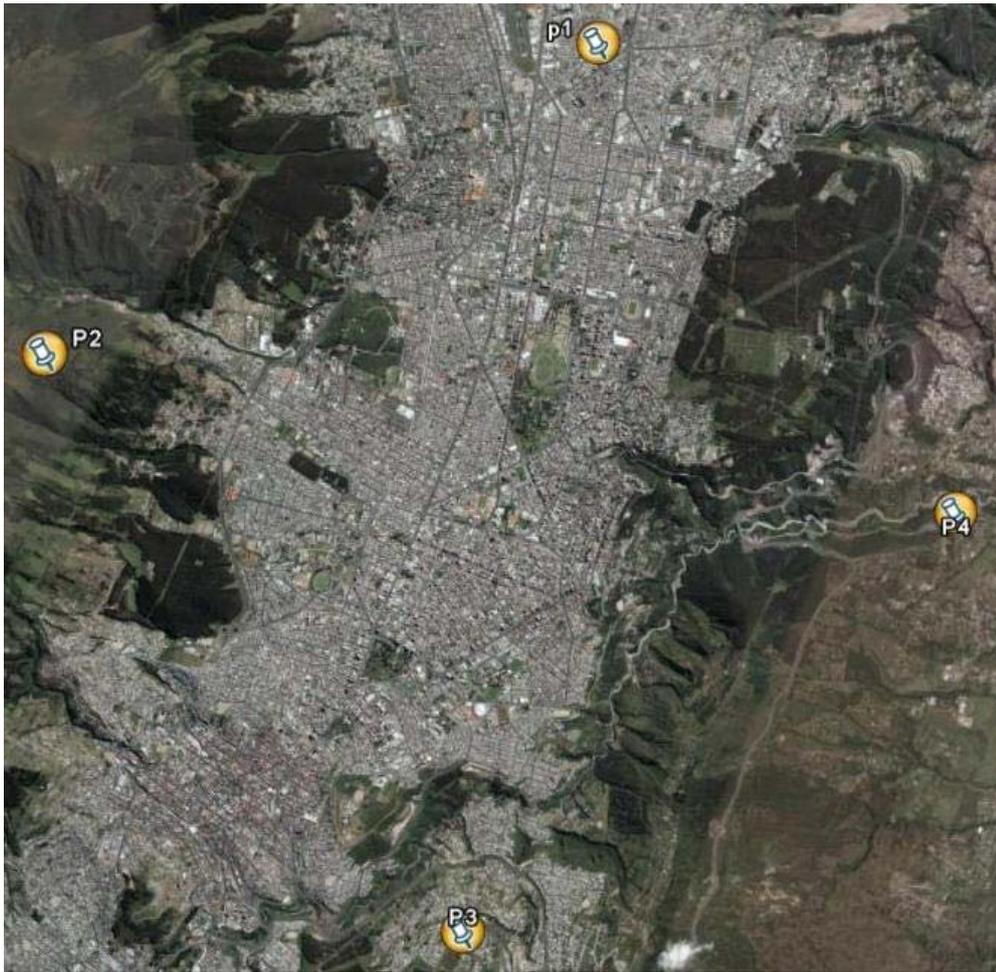


Figura. 3.30. Área de cobertura con un radio de 4.5 Km

En la figura 3.31 se muestran dos celdas en el caso de que se quiera expandir el servicio, todas las áreas (E) que se encuentren fuera de las celdas diseñadas, no podrán ser parte de la cobertura del sistema WiMAX, esto se debe a que debemos garantizar la confiabilidad del servicio deseada, para una correcta operación del sistema, aunque en estas zonas se presenten los requisitos de LOS o NLOS.

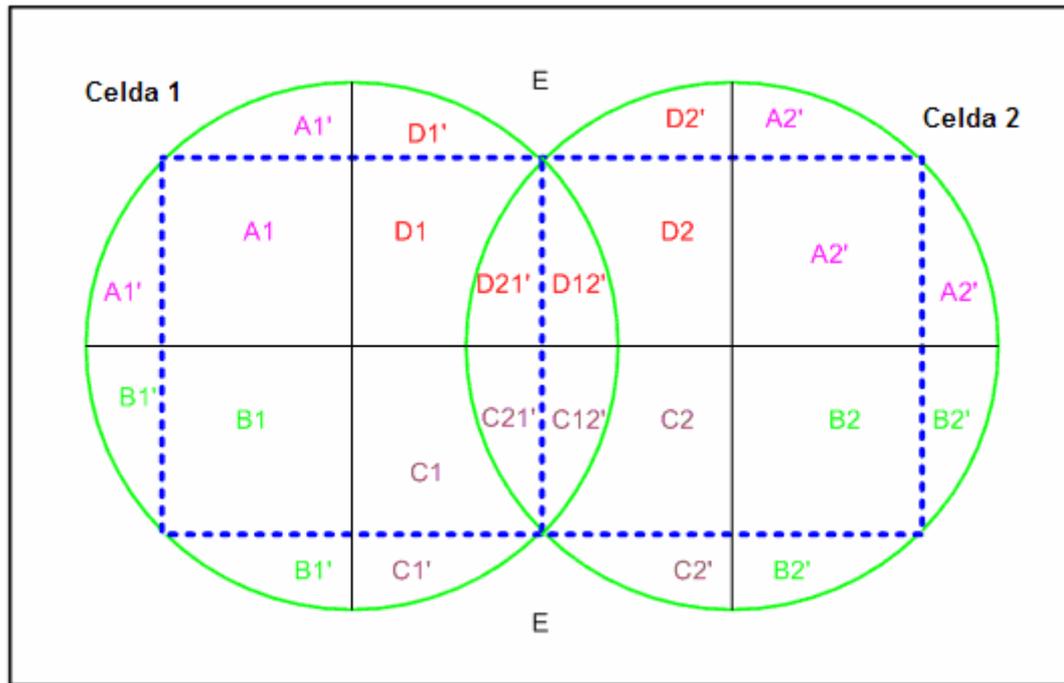


Figura. 3.31. Área de cobertura de las celdas en la zona comercial

3.12.7. Análisis de los enlaces de Microondas

3.12.7.1. Balance del Sistema

Para realizar el balance del sistema es necesario comprender que es la *ganancia del sistema*. La ganancia del sistema es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y la potencia de entrada mínima requerida por un receptor. La ganancia del sistema deba ser mayor o igual a la suma de todas las ganancias y pérdidas incurridas por una señal a propagarse de un transmisor a un receptor. En si es la perdida total del sistema de radio. Se usa para calcular la confiabilidad de un sistema. Matemáticamente se lo puede expresar de la siguiente manera:⁹³[35]

$$G_s = P_t - C_{\min} \geq F_m + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r \quad [3.4]$$

Donde en la tabla 3.10 se define cada variable y tenemos:

⁹³ WAYNE, Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Carrier to Interference Ratio.

Tabla. 3.10. Parámetros de la ganancia del sistema

	G_s	Ganancia del sistema (dB).
	P_t	Potencia de salida del transmisor.
	C_{min}	Potencia mínima de entrada al receptor para determinado objetivo de calidad (dBm).
Ganancias	A_t	Ganancia de la antena de transmisión (dB) en relación con un radiador isotropico.
	A_r	Ganancia de la antena de recepción (dB) en relación con un radiador isotropico.
Pérdidas	L_p	Pérdidas en trayectoria en espacio libre entre las antenas (dB).
	L_f	Perdida en alimentador de la guía de onda (dB) entre la red de distribución (<i>red combinadora de canales o separadora de canales</i>) y la antena receptiva.
	L_b	Perdida total por acoplamiento o por ramificación (dB) en los circuladores, filtros y red de distribución, entre la salida de un transmisor o la entrada de un receptor y su línea de onda de alimentación respectiva.
	F_m	Margen de desvanecimiento para determinado objetivo de confiabilidad.

Pérdidas en la trayectoria del espacio libre

Son las pérdidas que incurren por una onda electromagnética al propagarse en línea recta através del vacío, sin energías de absorción o reflexión debidas a objetivos cercanos. Las pérdidas en la trayectoria en espacio libre dependen de la frecuencia, y aumenta con la distancia. La ecuación para determinar estas pérdidas es la siguiente:

$$L_p = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f D}{c} \right)^2 \quad [3.5]$$

La tabla 3.11 determina cada parámetro:

Tabla. 3.11. Parámetros de las pérdidas en la trayectoria

L_p	Pérdidas en la trayectoria en espacio libre (adimensional)
D	Distancia (metros).
f	Frecuencia (hertz)
l	Longitud de onda (metros)
c	velocidad de la luz en espacio libre (3x10 ⁸ m/s)

Al pasar a dB se obtiene:

$$L_{p(dB)} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D \quad [3.6]$$

Cuando la frecuencia está en MHz y la distancia en Km,

$$L_{p(dB)} = 32.24 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(Km)} \quad [3.7]$$

Cuando la frecuencia está en GHz y la distancia en Km,

$$L_{p(dB)} = 92.4 + 20 \log f_{(GHz)} + 20 \log D_{(Km)} \quad [3.8]$$

Margen de desvanecimiento

El margen de desvanecimiento permite tomar en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, así por ejemplo la propagación por múltiples trayectorias (*pérdidas por múltiples trayectorias*) y la sensibilidad del terreno. Estas características son causa de condiciones atmosféricas temporales y anormales que alteran las pérdidas en la trayectoria en espacio libre y, por lo general, son perjudiciales para la eficiencia del sistema. El margen de desvanecimiento depende de la confiabilidad del sistema. Matemáticamente se lo puede representar así:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad [3.9]$$

Los parámetros son determinados en la tabla 3.12.

Tabla. 3.12. Parámetros del margen de desvanecimiento

Fm	Margen de desvanecimiento (dB)
D	Distancia en Km
f	Frecuencia GHz
R	Confiabilidad en decimales (es decir, 99.99%=0.999 de confiabilidad)
1-R	Objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 Km en un sentido
A	Factor de aspereza
	4 sobre agua o un terreno muy liso
	1 sobre un terreno promedio
	0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso
B	factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual
	1 para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses
	0.5 para áreas calidas o húmedas
	0.25 para áreas continentales promedio
	0.125 para áreas secas o muy montañosas

Umbral del receptor

Los parámetros de mayor importancia que se deben tomar en cuenta en un sistema de comunicaciones microondas son la potencia mínima de portadora de banda ancha (C_{\min}) a la entrada del receptor que produzca una salida útil de banda base se llama umbral de receptor, o a veces sensibilidad del receptor. El umbral del receptor depende de la potencia del ruido de banda ancha presente en la entrada de un receptor, el ruido introducido dentro del receptor y de la sensibilidad del detector de banda base al ruido. Antes de poder calcular C_{\min} , se debe determinar la potencia del ruido en la entrada, está potencia es:

$$N = K.T.B \quad [3.10]$$

Los parámetros en la tabla 3.13.

Tabla. 3.13. Parámetros del Umbral del receptor

N	Potencia del Ruido (watts)
K	Constante de Boltzman (1.38×10^{-23})
T	Temperatura equivalente del ruido del receptor 290 kelvins
B	Ancho de banda del ruido (hertz)

La ecuación final nos queda:

$$N_{(dBm)} = -174dBm + 10 \log B \quad [3.11]$$

Portadora a Ruido contra Señal a Ruido

Otro parámetro de importancia en la determinación de la ganancia del sistema es la relación portadora a ruido C/N. Donde C es la portadora de banda ancha y N es la potencia de ruido de banda ancha.

En resumen, C/N es una relación de señal a ruido de predetección, antes del desmodulador de FM. La relación de potencia de señal a ruido (S/N) es una relación postdetección.

Factor de Ruido e Índice de Ruido

El factor de ruido (F) y el índice de ruido (NF) son cifras de merito para indicar cuanto se deteriora la relación de señal a ruido cuando una señal pasa por un circuito una serie de circuitos. El factor de ruido no es más que una relación de señal a ruido en la entrada entre la correspondiente en la salida. En otras palabras, es una relación de relaciones, que se expresa como sigue:

$$F = \frac{\text{Relacion de señal a ruido en la entrada}}{\text{relacion de señal a ruido en la salida}} \text{ (a dim ensional)} \quad [3.12]$$

$$NF = 10 \log F (dB)$$

Análisis del perfil de la trayectoria

Para realizar el análisis se debe tomar en cuenta el radio de curvatura (k) y la línea de vista. El perfil es un corte a través de un plano transversal con relación al terreno que une la estación de radio base y la estación Terminal, incluyendo las edificaciones sobre las cuales se encuentran situadas las estaciones antes mencionadas. El dibujo del perfil se lo realiza a escala tanto para la altura como para la distancia. Los datos utilizados son obtenidos de cartas topográficas o mapas digitalizados, en éste estudio se contó con la herramienta del software *Google Earth*.

Por la refracción producida en la atmósfera terrestre (*refracción gradual*) el haz transmitido no viaja en línea recta sino que se produce una curvatura. Para facilitar el cálculo se hace una corrección de la trayectoria del haz.

Existen dos métodos para corregir el haz transmitido, la primera es asumir que el haz se transmite en forma de línea recta (Tx-Rx) y se hace la corrección de la curvatura de la tierra. La segunda forma es considerando la tierra plana (línea recta) y realizar la corrección del haz.

Para realizar el perfil se usa la siguiente expresión para la corrección de la altura:

$$hx = \left(\frac{d * x - x^2}{2 * K * a} \right) * 10^{-3} (m) \quad [3.13]$$

Los parámetros se muestran en la tabla 3.14.

Tabla. 3.14. Parámetros de la corrección de la altura

hx	Altura de corrección (m)
d	Distancia del enlace (m)
x	Distancia desde un sitio de referencia (Tx o RX) al punto de interés (m)
K	Constante de radio de la tierra (K=4/3 atmósfera estándar)
a	Radio efectivo de la tierra (a=6370Km)

Otros de los parámetros a considerara es la primera *zona de Fresnel*⁹⁴, la cual debe estar despejada o libre de obstáculos para tener un buen enlace. El radio de la primera zona de Fresnel se lo puede calcula con la siguiente expresión:

$$rF1 = \sqrt{\frac{\lambda * d1 * d2}{d}} [m] \quad [3.14]$$

Los parámetros de la fórmula en la tabla 3.15.

Tabla. 3.15. Parámetros de la fórmula 3.14

rF1	Radio de la primera zona de Fresnel	
rF1	Longitud de onda de la señal transmitida (m)	
	$\lambda = \frac{c}{f}$	
	c	Velocidad de la Luz 3×10^8 (m/s)
	f	Frecuencia de operación (Hz)
d1	Distancia desde el punto de referencia hasta el sitio de interés (m)	
d2	Distancia desde el sitio de interés hasta el punto opuesto de referencia (m)	
d	Distancia total del enlace	

⁹⁴ La primera zona del frente de onda es conocida como primera zona de fresnel y la misma contribuye con la mayor parte de la energía al punto de recepción.

Para un valor de $k=4/3$, la primera zona de Fresnel debe estar despejada totalmente y para $k=2/3$ un 80% aproximadamente. Todos estos datos calculados se cargaron en el software Radio Mobile, para que nos de todas las características de los enlaces con los diferentes usuarios.

Los cálculos que se realizo para estos enlaces se los hicieron basándonos en la siguiente gráfica 3.32.

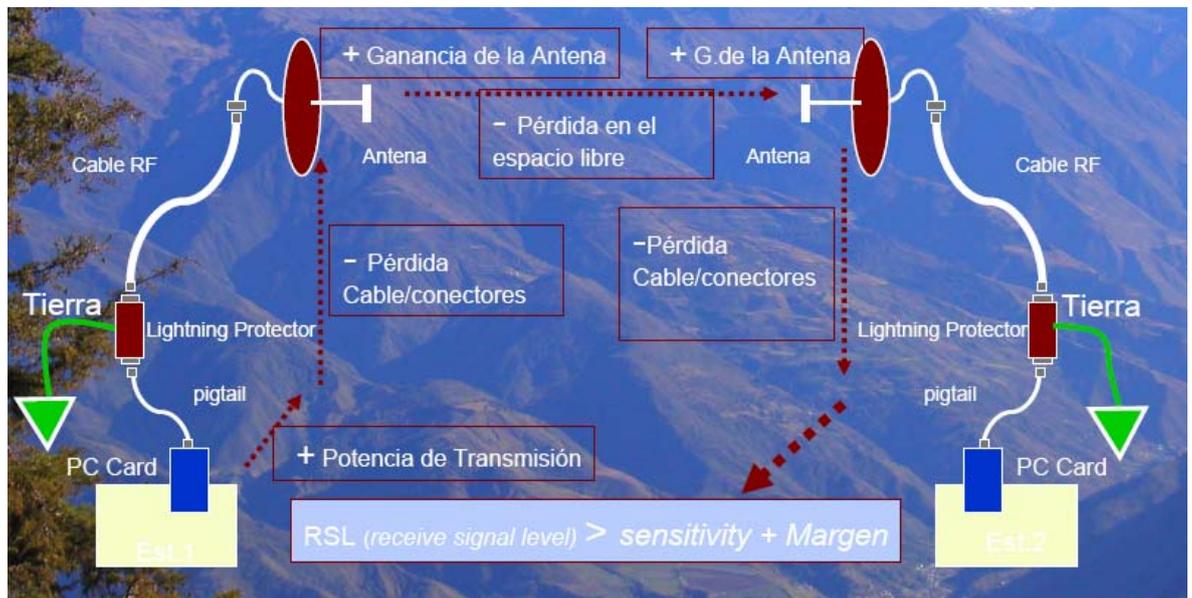


Figura. 3.32. Ganancias y pérdidas de un sistema

Uno ejemplos de cálculos tenemos a continuación:

Tengo que calcular la ganancia del sistema para poder calcula el nivel de ruido y calcular la potencia mínima de transmisión para poder lograr una portadora a ruido igual a 24 dB, con un ancho de banda de 10 MHz. Para esto se realizo lo siguiente: Para el enlace de mayor distancia, entre los puntos desde el COFIEC hasta el Corte Suprema de Justicia tenemos:

$$G_s = P_t - C_{\min} \geq F_m + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r$$

$$L_p(\text{dB}) = 32,4 + 20 \log(5800) + 20 \log(3.9)$$

$$L_p(\text{dB}) = 119.5 \text{dB}$$

$$F_m(\text{dB}) = 30 \log(3.9) + 10 \log(6 * 1 * 1 * 5.8) - 10 \log(1 - 0,9999) - 70$$

$$F_m(\text{dB}) = 3.1 \text{dB}$$

$$A_t = A_r = 25 \text{dB}$$

$$L_f = 10.8 \text{dB}$$

$$L_b = 4 \text{dB}$$

$$G_s(\text{dB}) = 87.4 \text{dB}$$

$$N(\text{dBm}) = -174 \text{dBm} + 10 \log(10^6) = -104 \text{dBm}$$

$$C/N = 24 \text{dB} \text{ para un receptor con un ancho de banda de } 10 \text{MHz}$$

$$C_{\min} = C/N + N = 24 \text{dB} + (-104 \text{dBm}) = -80 \text{dBm}$$

$$P_{t_{\min}} = G_s + C_{\min} = 87.4 - 80 = 7.4 \text{dBm}$$

Para el enlace entre el MOP y Corte Suprema de Justicia tenemos:

$$G_s = P_t - C_{\min} \geq F_m + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r$$

$$L_p(\text{dB}) = 32,4 + 20 \log(5800) + 20 \log(1.97)$$

$$L_p(\text{dB}) = 113.5 \text{dB}$$

$$F_m(\text{dB}) = 30 \log(1.97) + 10 \log(6 * 1 * 1 * 5.8) - 10 \log(1 - 0,9999) - 70$$

$$F_m(\text{dB}) = -5.75 \text{dB}$$

$$A_t = A_r = 25 \text{dB}$$

$$L_b = 4 \text{dB}$$

$$L_f = 10.8 \text{dB}$$

$$G_s(\text{dB}) = 72.55 \text{dB}$$

$$N(\text{dBm}) = -174 \text{dBm} + 10 \log(10^6) = -104 \text{dBm}$$

$$C/N = 24 \text{dB} \text{ para un receptor con un ancho de banda de } 10 \text{MHz}$$

$$C_{\min} = C/N + N = 24 \text{dB} + (-104 \text{dBm}) = -80 \text{dBm}$$

$$P_{t_{\min}} = G_s + C_{\min} = 72.55 - 80 = -7.45 \text{dBm}$$

Para poder calcular la potencia mínima para cualquier otro enlace dentro de la zona de cobertura se tiene que medir la distancia entre el MOP y en usuario que requiere el servicio. Si un circuito fuera perfecto y no agregara más ruido a la señal, la relación de señal a ruido sería igual a la de la entrada. Para un circuito perfecto y sin ruido, el factor de ruido es 1 y el índice de ruido es 0.

3.13. SELECCIÓN DEL EQUIPO

Para es sistema WiMAX existe diversas empresas y numerosos equipos que pueden usarse. Estos fabricantes a nivel mundial cuentan con tecnología de punta lo que permite proveer equipos a todo tipo de usuario en los mercados de alta competencia y exigencia. En la tabla 3.16. se muestra los fabricantes de los equipos WiMAX.

Tabla. 3.16. Fabricantes de WiMAX y sus productos

	MERCADOS
AIRSPAN	Fabricante de BSR, BSDU, IP Edge Router y proporciona el software de manejo de la red Netspan EMS
FUJITSU	Fabricantes de WiMAX CPE's y estaciones radio base fijas y móviles.
INTEL	WiMAX, CPE's y estaciones radio base fijas y móviles.
RUNCOM	Fabricantes de WiMAX, CPE's y estaciones de radio base fijas y móviles.
SEQUANS	Fabricantes de WiMAX, CPE's y estaciones de radio base fijas y móviles.
SI-WAVE	Fabricantes de WiMAX, CPE's y estaciones de radio base móviles.
TELECIS	Fabricantes de WiMAX, CPE's fijos y móviles y estaciones radio base Pico.
WAVESAT	Fabricantes de WiMAX, CPE's y estaciones radio base fijas y móviles.

Al seleccionar un fabricante u otro, se debe seguir ciertos pasos los mismos que facilitaran la elección:

- Convocar a una presentación de ofertas, con los requerimientos específicos que necesita el sistema WiMAX.
- Conocer las características técnicas de cada equipo.
- Estudiar la propuesta económica de cada fabricante.
- Seleccionar uno o varios fabricantes, basándose en los dos puntos anteriores.
- Negociar la forma de financiamiento con los fabricantes seleccionados.

- Elección de los equipos a ser instalados en el sistema WiMAX.

Para el diseño del sistema WiMAX, se busco datos técnicos de algunos fabricantes. Los equipos que mejor prestaciones técnicas ofrezcan al diseño del sistema WiMAX son las empresas: Fijitsu, Intel, Telesis y Si-Wave y Airspan, éste último se considero para el diseño debido a sus bajos costos y la existencia de los equipos en el mercado.

Otros requisitos técnicos de suma importancia que deben tener los equipos a ser usados son: deben operar en la banda de frecuencia seleccionada (5.8 GHz como frecuencia central), tener la posibilidad de utilizar antenas sectoriales (180°, 90°, 60°, 45°, etc.) y antenas omnidireccional de 360°, ofrecer la interconexión de la estación de radio base a la red de transporte mediante interfaces estandarizados, ofrecer interfaces necesarias para servicios a los usuarios, capacidad de transportación de información de acuerdo al volumen de tráfico a intercambiarse.

Las características principales de los equipos seleccionados se encuentran en el ANEXO 2-Equipos.

3.14. ESTUDIO DEL TRÁFICO

Un dato clave dentro de la planificación del sistema WiMAX es la previsión de la demanda, éste dato permite determinar la capacidad de los equipos que se debe instalar. Para poder hacer un análisis completo del dimensionamiento se requiere las previsiones del tráfico del sistema. Con estas previsiones se puede tener una idea clara del ancho de banda y de los sectores necesarios en cada celda del sistema WiMAX, además de algunos parámetros extras.

Para que el diseño del sistema WiMAX se simplifique se asumirá un comportamiento estable de los usuarios, se trabajara con un número de personas por piso en cada edificación (20 *personas*) para edificaciones con más de 10 pisos, 15 personas para edificaciones con menos de 10 pisos y entre 5 y 8 personas por piso para usuarios cuyas edificaciones tengan menos de 5 pisos.

El tráfico descendente (*Base-Termina*) o ascendente (*Terminal-Base*), por cada sector se lo va a calcular con las siguientes expresiones:

$$\text{Total Ascendente} = 0.81 * \left[\begin{array}{l} \sum \frac{\text{Flujo Ascendente}}{\text{Usuarios Potenciales (Internet)}} + \sum \text{Trafico (Datos)} + \\ \sum \text{Traficos (Vos sobre IP)} + \frac{\text{Flujos ascendentes}}{\text{Sector (Servidor Web)}} + \\ \text{Trafico PBX} + \text{Trafico (Videoconferencia)} \end{array} \right] \quad [3.15]$$

$$\text{Total Descendente} = 0.81 * \left[\begin{array}{l} \sum \frac{\text{Flujo Descendente}}{\text{Usuarios Potenciales (Internet)}} + \sum \text{Trafico (Datos)} + \\ \sum \text{Traficos (Vos sobre IP)} + \frac{\text{Flujos Descendentes}}{\text{Sector (Servidor Web)}} + \\ \text{Trafico PBX} + \text{Trafico (Videoconferencia)} \end{array} \right]$$

Nota: El valor constante de 0.81 representa el 81% de los usuarios potenciales del literal 3.11.2.4.

Se parte con un número de 47 usuarios potenciales, de los cuales 22 usuarios tienen edificaciones de más de 10 pisos, 13 menos de 10 pisos y más de 5 y 12 usuarios menos de 5 pisos. Asumiendo de que por piso cada empresa tiene 15, 10 y 8 trabajadores respectivamente, se tendría **556 utilitarios** aproximadamente por los 47 usuarios.

Partiendo de estos datos se realiza el análisis del tráfico en los siguientes puntos.

3.14.1. Tráfico Para el acceso a la red Internet

Para poder dimensionar el tráfico se asumirá que el 80 % de las personas que forman parte de una empresa o usuario que estén recibiendo beneficios del sistema WiMAX

tendrán acceso a la red Internet y que el 10% de las conexiones dedicadas a éste acceso serán ocupadas simultáneamente con una velocidad de 512 Kbps para el flujo de bajada.

Si se compara la cantidad de información que un usuario sube a la red de Internet con la información que se encuentra en la misma, nos damos cuenta que la información que se envía desde la PC es pequeña, por está razón se tendrá una velocidad de 128 Kbps para el flujo de subida.

Por ejemplo:

Flujo descendente total/usuarios potenciales

Tráfico = $0.80 * 0.1 * \text{numero total de personas por cada usuario potencial} * 512 \text{ Kbps}$

Tráfico = $0.80 * 0.1 * 556 * 512 \text{Kbps} = 22.77 \text{Mbps}$

Flujo ascendente total/Usuaraiio Potencial

Tráfico = $0.80 * 0.1 * \text{numero total de personas por cada usuario potencial} * 128 \text{ Kbps}$

Tráfico = $0.8 * 0.1 * 556 * 128 \text{Kbps} = 5.70 \text{Mbps}$

3.14.2. Tráfico para transmisión de datos

Se asume que un 30% de los usuarios potenciales necesitan tener enlaces para la transmisión de datos. Los enlaces para éste servicio varían según las necesidades de cada usuario, así tenemos enlaces de 64, 128, 256, 512, 1024 y 2048 Kbps.

El enlace de datos es simétrico, esto quiere decir que la misma velocidad que se emplea para el flujo de bajada será para el flujo de subida.

Por ejemplo:

Tráfico total por cada usuario potencia

Tráfico = $0.3 * \text{velocidad de enlace (64, 128, 256, 512, 1024, 2048 Kbps)}$

Tráfico = $0.3 * 256\text{Kbps} = 0.077\text{Mbps}$

3.14.3. Tráfico para Voz sobre IP

Para éste tipo de tráfico se asume que el 70% de los empleados de cada usuario potencia utiliza éste servici. Se tendrá una velocidad dúplex de 128 Kbps.

Por ejemplo:

Tráfico total por cada usuario potencia

Tráfico = $0.70 * 0.1 * \text{numero total de personas por cada usuario potencia} * 64\text{Kbps}$

Tráfico = $0,70 * 0.1 * 556 * 64\text{Kbps} = 2.49\text{Mbps}$

3.14.4. Tráfico de Videoconferencias

Para éste tráfico se asumirá que el 40% de los usuarios potencialmente tendrán éste servicio, garantizando el 20% de las conexiones dedicadas a éste tipo de tráfico en la hora más cargada. La velocidad de transmisión será de 512 Kbps dúplex

Tráfico total por cada sector

Tráfico = $0.4 * 0.2 * \text{numero total de usuarios potenciales en cada sector} * 256 \text{ Kbps}$

Tráfico = $0.4 * 0.2 * 556 * 256\text{Kbps} = 11.38\text{Mbps}$

3.14.5. Análisis de los resultados del Tráfico

Para la celda del Ministerio de Obras Públicas (MOP) que abarca toda la zona comercial de la ciudad de Quito se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.17.

Tabla. 3.17. Resultado del tráfico de las celdas

Celda (MOP)	
	Mbps
Ascendente (UL)	19.97
Descendente(DL)	36.79

La capacidad que maneja el equipo seleccionado MicroMaX de Airspan es de 13.1 a 65 Mbps por cada sector, esto depende de la configuración que se haga al equipo, en nuestro caso la configuración será de una cobertura de 360°, es decir una antena externa omnidireccional.

3.15. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Uno de los aspectos más interesantes en diseño de redes es el dimensionado de equipos y elementos de interconexión para que el sistema WiMAX pueda operar en la zona comercial de la ciudad de Quito.

El objetivo del dimensionado es determinar el número de circuitos necesarios para satisfacer la demanda de llamadas en condiciones de calidad para los usuarios y costos para el operador, esto se lo hace basándose en datos obtenidos por los estudios de la sectorización, tráfico, reutilización de frecuencias y otros.

La estructura final de nuestro sistema inalámbrico de banda ancha se lo muestra en la figura 3.33.

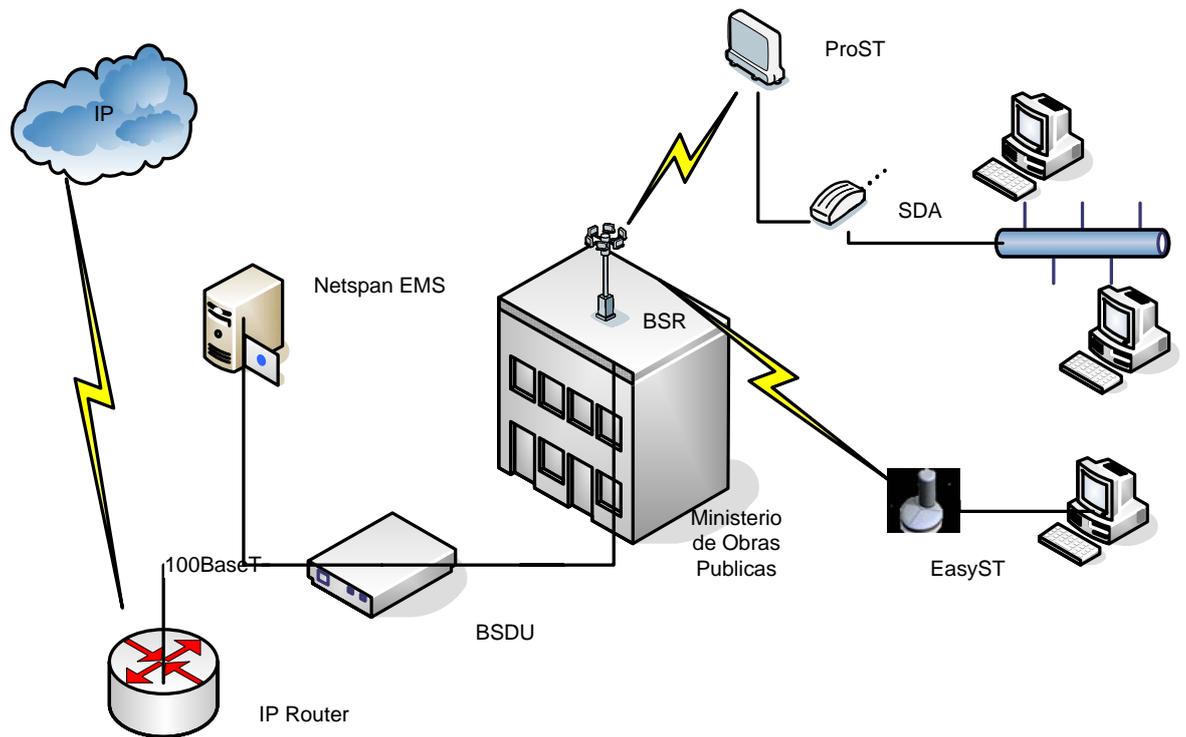


Figura. 3.33. Diagrama final del sistema WiMAX

Cada elemento de nuestro sistema se lo va a ir detallando a continuación con sus respectivas características técnicas. Los equipos con los que estamos trabajando operan tanto en bandas licenciadas como exenta de licencias.

De los servicios que se va a proveer a los usuarios antes mencionados, MicroMAX permite tener múltiples aplicaciones por ejemplo, para el caso de que el usuario solo necesite acceso a Internet, el subscriptor solo necesita abrir su correo electrónico WEB browser y en ese instante ya está conectado, sin embargo si el usuario prioriza un tipo de servicio “El WEB browsin”, éste servicio será de mejor calidad respecto a otro. La arquitectura para brindar éste tipo de servicio se lo muestra en la figura 3.34.

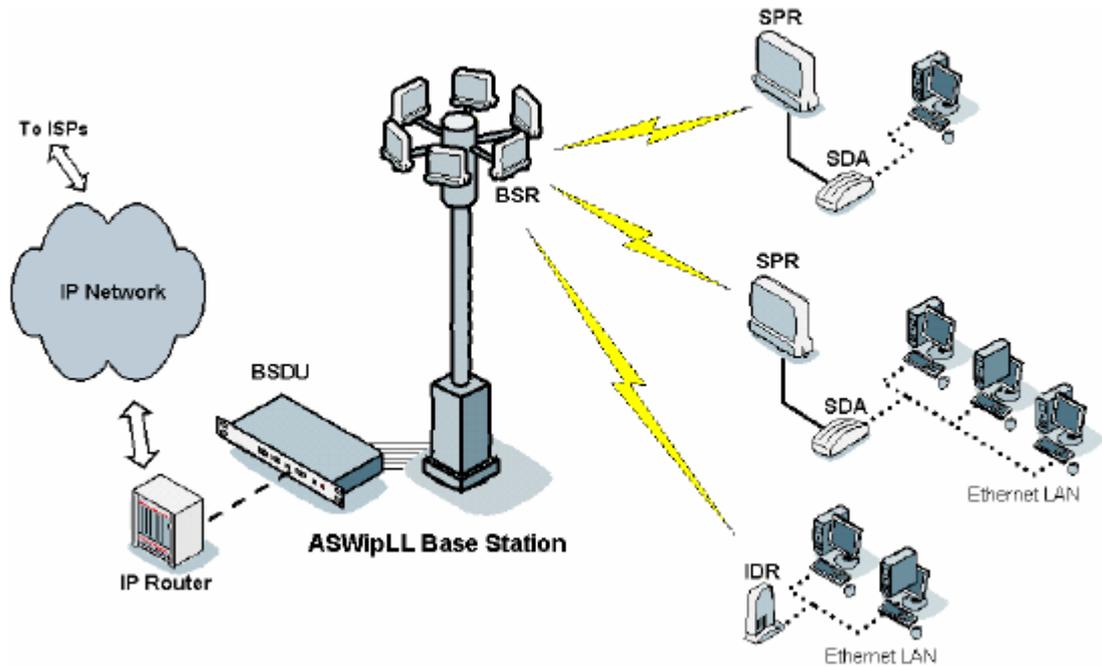


Figura. 3.34. Aplicación típica para un acceso de Internet de alta velocidad

En el supuesto que el usuario requiera servicio de VoIP, la infraestructura de la red es flexible para migrar de una red que proporciona un servicio de solo datos a una red que proporciona VoIP y datos al mismo tiempo. Esto se hace posible gracias a la interoperabilidad entre IP a PSTN (Switch de Red de teléfonos Públicos). Éste servicio se lo detalla en la figura 3.35. En la tabla 3.18 se determina el número máximo de llamadas para éste servicio.

Tabla. 3.18 Llamadas simultaneas de VoIP

Codec	Intervalo (ms)	# de llamadas simultaneas
G.711 (64 Kbps)	20	10
	40	15
G.729 (8 Kbps)	20	14
	40	28
G.723.1 (5.3 Kbps)	30	22
	60	42

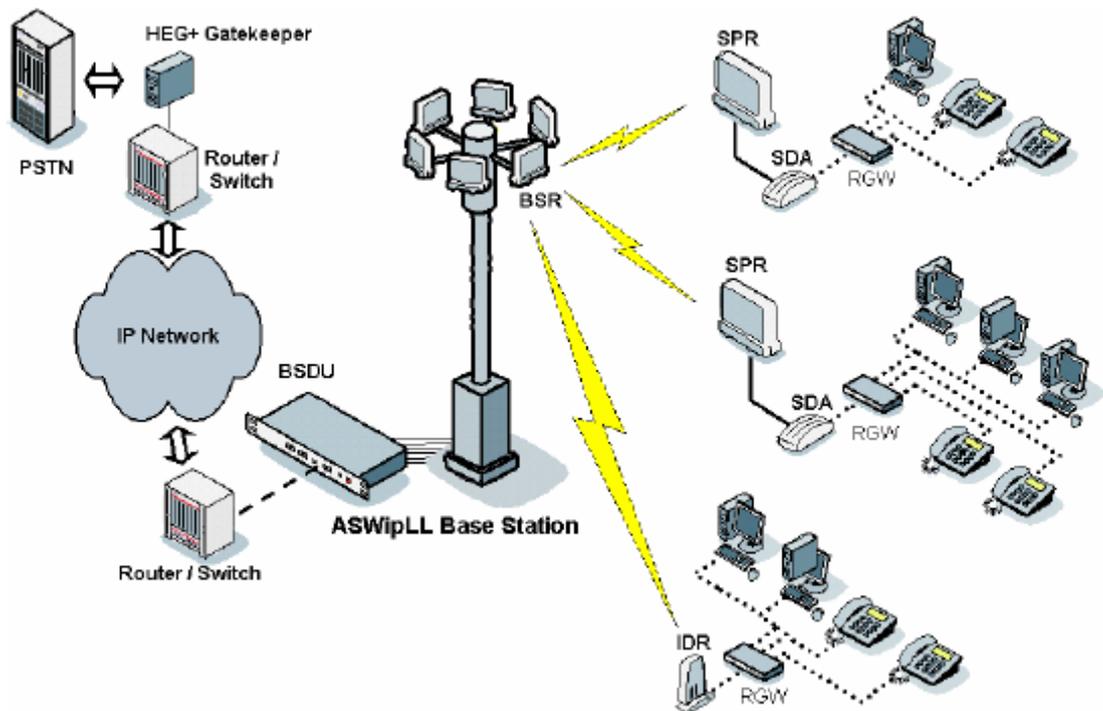


Figura. 3.35. Aplicación para el servicio de VoI

3.15.1. Distribución IP

Para poder hacer direccionamiento IP en nuestro sistema WiMAX, nuestros equipos realizan la distribución basándose en la capa 3 del modelo OSI. El tráfico es distribuido según los algoritmos, tablas de distribución y consideraciones de distribución. La distribución y segmentación de la red es fácil y lógica, se asigna una dirección IP diferente a cada subred. Por tanto todos los usuarios LAN tienen direcciones IP que pertenecen a la misma subred IP. El usuario que tiene la dirección IP por defecto del router es el ProST.

3.15.2. Calidad de Servicio

La calidad de servicio (QoS) es de suma importancia para todos los operadores, esto les permite garantizar una alta eficiencia en los servicios prestados (voz, video y datos).

La QoS es similar para la BSR y para los equipos del usuario (ProST, EasyST, SPR, SDA's), la QoS se basa en los siguientes ítems:

- Tipo de Red
 - IP: todos los paquetes.
 - Todos los paquetes excepto el que esta encima.
- Protocolo de transporte.
 - TCP.
 - UDP.
 - ICMP.
- Aplicación: esta basado en el protocolo de transporte
- Dirección IP: los paquetes vienen desde una dirección específica IP.

En la figura 3.36 se puede ver el concepto de QoS, en donde las aplicaciones requieren más fuentes de red que otras.

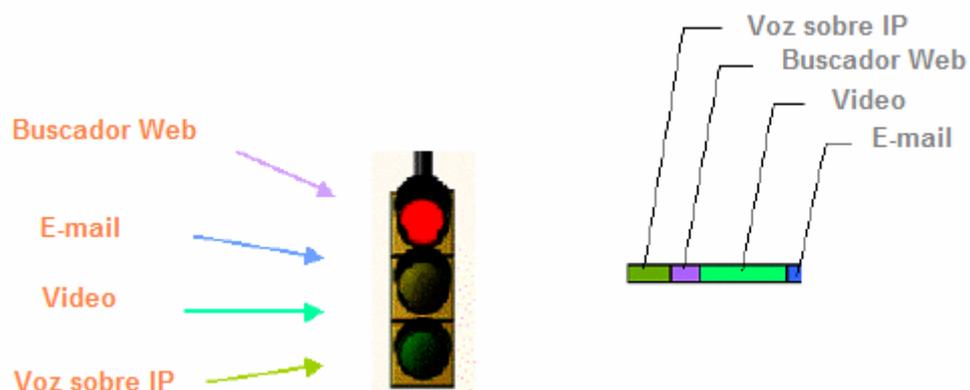


Figura. 3.36. Concepto de QoS

3.15.3. Seguridad

La seguridad es un punto muy importante en nuestra red inalámbrica de banda ancha WiMAX, se da seguridad a nivel de casi todas las capas de modelo OSI. En la figura 3.37 se muestra el tipo de seguridad por capa.

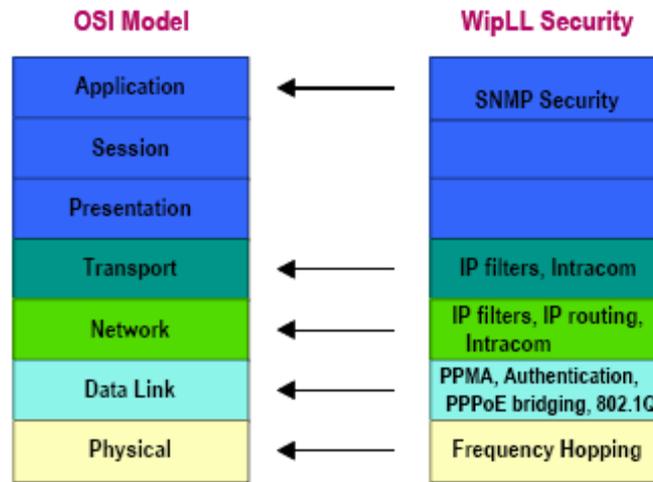


Figura. 3.37. Futuros sistemas de seguridades para las capas del modelo OSI

3.15.4. Estación de radio base en el Ministerio de Obras Públicas (MOP)

La estación de radio base es la interfaz entre el usuario y el proveedor del servicio, éste enlace es inalámbrico, la celda del Ministerio de Obras Públicas provee servicio a más de 500 suscriptores, la celda de cobertura es de 360°, a éste servicio se lo conoce como enlace inalámbrico de ultima milla. La BSR es ubicada típicamente en un poste como se muestra en la figura 3.38, pero puede ser montado sobre una pared, tomando en cuenta la mejor posición de recepción con los usuarios potenciales de la zona comercial de la ciudad de Quito.



Figura. 3.38. BSR sobre un poste

La BSR es una estación de radio base completa, esta estación de radio base tiene un diseño de capacidad altamente modular, esto quiere decir que está compuesto de dos componentes la Estación de Radio Base outdoor (BSR) y la Unidad de la Estación de radio base de Distribución (BSDU).

- La Estación de Radio Base (BSR) en el MOP posee una antena omnidireccional, cuya ganancia es de 25 (dB) y tiene una cobertura de 360°.
- La antena omnidireccional está conectada a la BSR, esta antena maneja un canal de 10 MHz para el sector único de la celda del MOP. en el caso de que el número de suscriptores aumente y el usuario que desee tener el servicio éste fuera de la zona de cobertura, es posible ampliar la cobertura utilizando BSR's progresivamente de acuerdo a la necesidad de la demanda, en éste caso se asignará un canal de 10 MHz a cada BSR's.
- Éste equipo utiliza una modulación TDD y un acceso al medio por OFDM, lo que permite tener una velocidad de transmisión de 13.1 a 65 Mbps full duplex, esto quiere decir tanto para el flujo de bajada como para el de subida de información.
- Permite operar con voz sobre IP, además permite supervisar las llamadas de VoIP, habilitando la interfaz de radio.
- La potencia de transmisión de la antena en la celda será de 44 dBm o 25 W.
- Permite incorporar un Switch si es necesario a la BSDU.

3.15.5. Unidad de Distribución de la Estación de radio base Interna (BSDU)

El BSDU es un switch implementado a la estación de radio base, formado por múltiples BRS's. El BSDU está conectado al IP Router por una interfaz 100Base-T éste equipo debe estar instalado "indoor" en el edificio del Banco Central del Ecuador

- La BSDU en el caso de que la demanda sea mayor permite ampliar la cobertura progresivamente, permite instalar 7 BRS's para tener la cobertura deseada, éste equipo estará ubicado en Banco Central del Ecuador por razones después mencionadas.
- Permite distribuir la información que se está transportando desde el IP Edge Router CISCO 3200 Wireless para los usuarios por medio de fibra óptica hacia la BSR y de ahí al usuario final.
- Permite controlar el tráfico de información hacia la BSR, la potencia de las radio base y la sincronización de las BRS para el uso de una fuente externa GPS.

3.15.6. Antena GPS

Esta antena esta conectada al BSDU, esta compuesto por un receptor GPS y una antena que recibe las señales de reloj satelital, la figura 3.39 muestra la antena GPS



Figura. 3.39. Sistema de Posicionamiento Global

3.15.7. Equipos de los Usuarios CPE's

Dependiendo de la configuración los CPE's utilizados son los siguientes:

3.15.7.1. ProST Subscriber Station Description

Es un dispositivo que transmite y recibe tráfico de la estación de radio base BSR, el ProST provee a los usuarios de los servicios que se esta prestando con el sistema WiMAX (voz, video y datos). La figura 3.40 muestra el equipo ProST.



Figura. 3.40. ProST

3.15.8. IP Edge Router CISCO 3200 Wireless

El IP Edge Router CISCO 3200 Wireless tiene asignado para cada red o subred una diferente IP. Al puerto de la BSR que hace de interfaz entre el usuario (aire), debe ser asignada una dirección IP de la subred. El operador puede elegir entre dos formas de interconectar el puerto:

No Económicas: Las direcciones IP asignadas para las subredes son fijas, el rango de estas es por ejemplo de 192.168.0.0 a 192.168.255.255. Esta es una subred clase C para todas las BSRs.

Económicas: Las IP son de usuarios definidos. Esto aumenta la flexibilidad del sistema, permitiendo el uso eficiente de las direcciones IP para los usuarios de la red, esto permite evitar la necesidad de cambios en las direcciones IP en redes preexistentes. Un usuario con una dirección IP privada para el rango de 192.168.0.0 no necesita cambiar las direcciones IP en la red cuando se instale otra BSR para ampliar el sistema. La dirección de

la subred es 254.255.255.252, por consiguiente provee cuatro direcciones IP, en donde solo dos direcciones pueden ser usadas para los dispositivos del sistema WiMAX como lo muestra la tabla 3.19.

Tabla. 3.19. Direcciones IP

Para el lado de BSR	Para el lado de ProsT o EasyST
192.168.x.1	192.168.x.2

En donde x es el número indicador de los equipos del usuario con la BSR. En el caso de que el Banco Central requiera un servicio de datos y en el COFIEC requieran un servicio de VoIP la estructura de la subred es la siguiente:

Para la BSR la dirección IP es 192.168.x.1 y para los equipos de los usuarios es de 192.168.x.2. El IP Edge Router CISCO 3200 wireless requiere entradas estáticas en las diferentes tablas para las futuras redes remotas (70.xx.xx.xx y 80.xx.xx.xx). El diseño para el Banco Central y para el COFIEC se muestra en la figura 3.41.

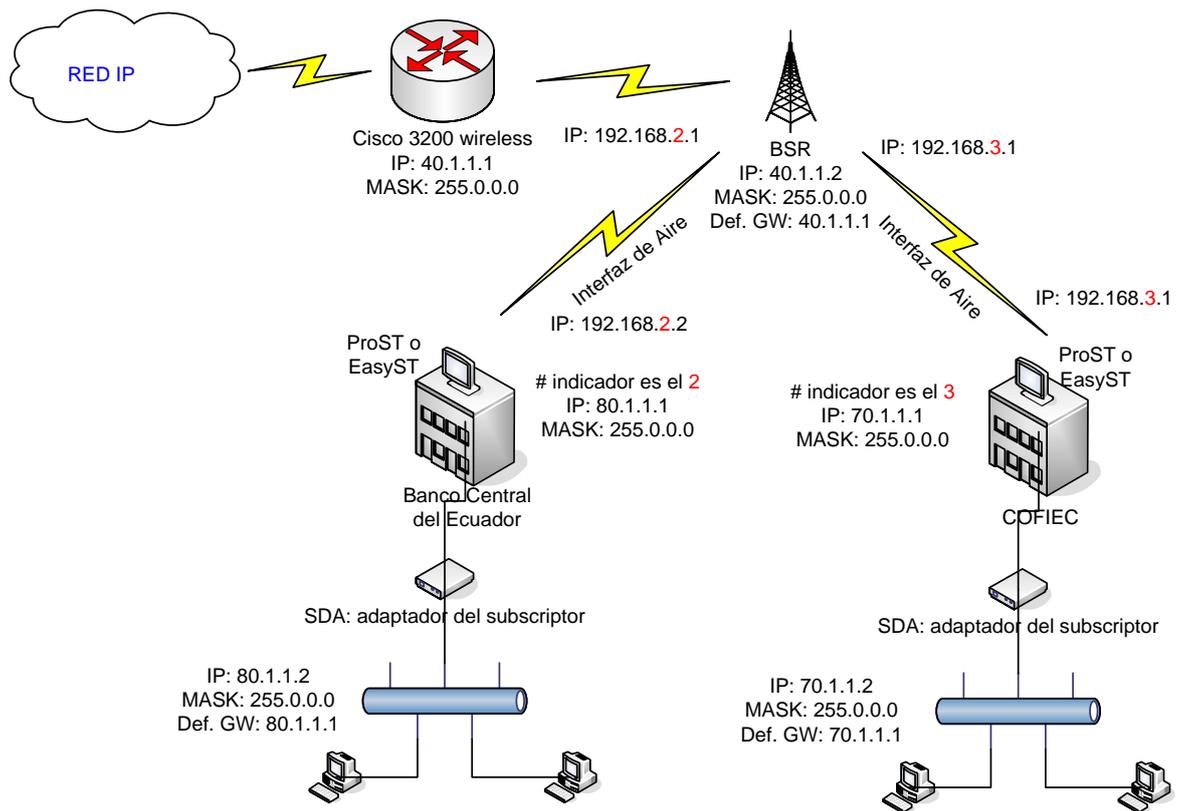


Figura. 3.41. Configuración de una subred IP

- Éste equipo permite configurar por medio de direcciones IP los diferentes tipos de servicio dependiendo el usuario, esto se lo hace por medio de sub redes.
- El IP Ege Router 3800 CISCO estará conectado a la red SDH por medio de fibra óptica para poder tener contacto con las redes externas nacionales e internacionales de Telecomunicaciones y así cada usuario podrá tener contacto con el mundo exterior por medio de los servicios que se les éste brindando.

3.15.9. Software de administración de la red Netspan ISP

- El equipo de administración de servicios Netspan ISP, el BSDU y el IP Edge Router CISCO 3200 Wireless estarán ubicados en el Banco Central del Ecuador. Desde el cual se podrá controlar la estación de radio base y las estaciones

terminales de los subscriptores Decidí escoger éste lugar por la excelente infraestructura y seguridad.

- Éste servidor Netspan está conectado al IP Edge Router, el cual funciona bajo una plataforma PC, haciendo uso de una base de datos SQL, en donde se puede acceder por medio de Microsoft Internet Explorer.
- El Netspan deberá proveer entre otros las siguientes facilidades:
 - Control de los parámetros de transmisión entre dos puntos de la red.
 - Control de conexión entre elementos de los diferentes nodos previstos.
 - Proceso de configuración y reconfiguración de la red.
 - Registro de direcciones IP y control de todos los elementos de la red.
 - Control de los canales de servicios y de manejo de la red.
 - Control de incidentes de operación de la red.
 - Restauración de fallas de la red.
 - Medidas de tráfico en las diferentes vías de la red.
 - Provisión de las rutas de mantenimiento de la red y sus elementos.
 - Control local y remoto de la red.

El servicio que se está brindando es hasta el usuario, éste determina la forma de distribuir el servicio a todos los usuario internos de la empresa por diferentes medios (WLAN, Fibra, ADSL, etc.). Por está razón no se necesita de otros equipos para llegar al usuario como lo serian un Easy ST y un ProST. Los mismos que prestan diferentes tipos de servicio dependiendo de las necesidades del usuario.

3.16. INFORME TÉCNICO

Los datos del diseño del sistema WiMAX en la zona comercia de la ciudad de Quito se presentan a continuación:

Tabla. 3.20. Datos generales del Diseño

DATOS GENERALES DE LA ESTACIÓN DE RADIO BASE	VALOR
Banda de frecuencia	3.4-3.6 GHz; 5.8 GHz y las bandas que se adicionen a WiMAX
Radio de la celda	5 Km
Potencia de Tx (Estación de radio base o Estación Terminal)	27 dBm
Potencia de Rx (Estación de radio base o Estación Terminal)	(-)115 dBm (1/16)
	(-) 100 dBm (1/1)
Modulación	64 QAM, 16 QAM, QAM, BPSK
Potencia de Transmisión por sector	25 W o 44 dBm
Técnica de Acceso	OFDM en el futuro SOFDm
Técnica Dúplex	FDD+TDD
Altura de las torres (Estación de radio base)	15 m

Tabla. 3.21. Celda del Ministerio de Obras Públicas MOP

Concepto	Valor
Ancho del canal	10 MHz
Número de canales	2 (UL/DL)
Capacidad por Canal	3.5 F1, 3.5 F2, 3.5 T1, 3.5 T2, 5.8 T
Ganancia de la antena (BSR)	25 dB
Angulo de Cobertura	360
Tráfico Total Ascendente	27.42 Mbps
Tráfico Total Descendente	41.04 Mbps
Usuarios Potenciales	135
Usuarios Iniciales	47
Usuarios Proyectados Finales	109
Polarización	Horizontal
Confiabilidad mínima	99.99%

Tabla. 3.22. Características Técnicas de los CPE's

Equipos EasyST y ProST			
		EasyST	ProST
Múltiple Acceso Esquemático RF		OFDM en el futuro SOFDMA	OFDM en el futuro SOFDMA
Bandas de frecuencia		3.4-3.6 GHz, 5.8 GHz	3.4-3.6 GHz, 5.8 GHz
Ancho de canal		1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 10 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 10 MHz
Método de Duplexación		FDD-TDD	FDD-TDD
IP		IPv4 + IPv6	IPv4 + IPv6
Modulación		64 QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Velocidad		3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T
Potencia de TX		+24dBm	Up to +23dBm
Sensibilidad Rx		-98 dBm	-98 dBm
Opciones de interfaz de Red		10/100bT Ethernet, 802.11g WiFi,	10/100bT Ethernet, 802.11g WiFi,
Potencia	Voltaje	90-264V AC, 6 V DC	(-)48V DC nominal, 90-264 vAC
	Consumo de potencia	6-8W	10W

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD Y ECONÓMICO

4.1. PLANIFICACIÓN ECONÓMICA

Los objetivos de esta etapa son ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionaron los capítulos anteriores, elaborar los cuadros analíticos y antecedentes adicionales para la evaluación del proyecto y evaluar los antecedentes anteriores para determinar su rentabilidad.

La sistematización de la información financiera consiste en identificar y ordenar todos los ítems de inversiones, costos e ingresos que puedan deducirse de los estudios previos.

Este capítulo comienza con la determinación de los costos totales y de la inversión inicial, cuya base son los estudios de ingeniería, ya que estos dependen de la tecnología, que para el caso del presente estudio se refiere a tecnología inalámbrica, la cual permitirá brindar servicios de telecomunicaciones como lo son voz, video y datos. Debido a que los recursos humanos, financieros y materiales son limitados para la instalación, debido al bajo presupuesto, el mantenimiento del sistema WiMAX exige que varios proyectos estén coordinados entre si junto con los recursos antes mencionados. La programación de la inversión requiere a su vez una estructura de acciones como son:

- Elaboración de un calendario de inversiones.
- Cuantificación del capital anual a invertir.
- Estimación de equipo y mano de obra que se prevé van a ser necesarias.
- Programa de contratación de mano de obra.
- Programa de adquisición de equipos.

- Costo y financiamiento del programa completo.

4.2. COSTOS EN EL SISTEMA WIMAX

A continuación se describen los principales costos y gastos que intervienen en la implementación del sistema WiMAX. La tabla 4.1 detalla los costos de los equipos mientras que en la tabla 4.2 se detalla el FOB (*Free on Board - Franco a bordo*) de los equipos, es decir el costo que tendrían si el sistema a implementarse fuera en Estados Unidos. Los costos CIF (cost+insurance+fright) constituyen la suma de los costos FOB, más un seguro y más el transporte de Estados Unidos a Ecuador.

Tabla. 4.1. Costos de los equipos libres de impuestos

COTIZACIÓN DE ELEMENTOS PARA EL PROYECTO DEL SISTEMA WIMAX				
	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR
EQUIPOS EN LA ESTACIÓN BASE	IP ROUTER 3800 CISCO	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
	ANTENA OMNIDIRECCIONAL	1	\$ 1.100,00	\$ 1.100,00
	ESTACIÓN BASE MICROMAX	1	\$ 4.500,00	\$ 4.500,00
	CPE PROS ProST	47	\$ 150,00	\$ 7.050,00
	Torres	1	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
	Plantas de Energía	1	\$ 5.600,00	\$ 5.600,00
HERRAMIENTAS	De Construcción			\$ 20.000,00
	De Instalación			
	De prueba			
ESTACIÓN TERMINAL	Terminaciones de Red Largas	70	6800	\$ 476.000,00
	Terminaciones de Red Medias	140	6000	\$ 840.000,00
	Terminaciones de Radio	50	3400	\$ 170.000,00
	Divisores de Potencia	300	21,5	\$ 6.450,00
TOTAL DE EQUIPOS SIN IMPUESTOS				\$ 1.685.700,00

Tabla. 4.2. Costos FOB de los equipos

Concepto	Descripción			Valor
Costo	FOB			\$ 1.665.700,00
Seguro	I	0,5	% del FOB	\$ 8.328,50
Transporte	F	1	Contenedor	\$ 3.000,00
CIF	FOB+I+F			\$ 1.677.028,50
Concepto	Descripción	Tanto por Ciento	Porcentaje %	Valor
Derechos Arancelarios	A	10	0,1	\$ 167.702,85
IVA	IVA	12	0,12	\$ 201.243,42
Verificadora	V	1	0,01	\$ 16.770,29
Modernización	M	0,05	0,0005	\$ 838,51
Fodin	FD	0,5	0,005	\$ 8.385,14
Corpei	C	0,025	0,00025	\$ 419,26
Gastos Varios	G	0,5	0,005	\$ 8.385,14
TOTAL				\$ 403.744,61
Costo final del Equipo	CIF+A+IVA+V+M+FD+C+G			\$ 2.080.773,11

El valor del seguro representa un 0.5% (*según la aseguradora*) aproximado del costo FOB. El valor del transporte está dado por el número de contenedores a usar, es decir, el volumen físico de los equipos. Como referencia, se tiene que un contenedor de 40 pies cúbicos tiene un valor de \$3000 USD aproximadamente, de acuerdo al volumen de los equipos se necesita un contenedor.

Para calcular el valor total se debe añadir sobre el CIF: derechos arancelarios, IVA, pago a empresa verificadora, impuestos de amortización, FODIN y CORPEI (*Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones*) en las aduanas.

4.2.1. Costos de Instalación

Corresponden a los egresos incurridos en construcciones e instalaciones físicas. Para el sistema WiMAX se incurrirán en los siguientes costos de instalación, los mismos que se detallan en la tabla 4.3.

Tabla. 4.3. Costos de Instalación

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR
Instalación de equipos	2	20000	\$ 40.000,00
Terminaciones de Red Largas	70	6800	\$ 476.000,00
Terminaciones de Red Medias	140	6000	\$ 840.000,00
Terminaciones de Radio	50	3400	\$ 170.000,00
Divisores de Potencia	300	21,5	\$ 6.450,00
TOTAL COSTOS DE INSTALACIÓN			\$ 1 532.450,00

4.2.2. Costos de concesión de servicios

De acuerdo al Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico dado por SENATEL tenemos que:

$$T(\text{US \$}) = K_a * \alpha^3 * \beta^3 * A * (D)^2 \quad [4.1]$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada.

K_a = Factor de ajuste por inflación.

α^3 = Coeficiente de valoración del espectro del Servicio Fijo para enlaces punto- punto, de acuerdo a la Tabla 4.4.

β^3 = Coeficiente de corrección para el Sistema Fijo, enlace punto – punto.

A = Anchura de banda de la frecuencia asignada, en MHz.

D = Distancia en kilómetros entre las estaciones fijas.

$$T(\text{US\$}) = 0.0278 * 0.0237509 * 1 * 5800 * 50^2 = 9573,98 \$$$

Tabla. 4.4. Coeficiente de valoración del espectro aplicable para fines de cálculo de las tarifas del Servicio Fijo, enlaces punto- punto.

<i>Rango de frecuencias; f (frecuencia de operación)</i>	Coeficiente de valoración del espectro α_3
0 GHz <f<= 1 GHz	0.0815313
1 GHz <f<= 5 GHz	0.0323876
5 GHz <f<= 10 GHz	0.0237509
10 GHz <f<= 15 GHz	0.0215917
15 GHz <f<= 20 GHz	0.0194325
20 GHz <f<= 25 GHz	0.0183529
f > 25 GHz	0.0172734

De acuerdo al Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de Frecuencias del espectro radioeléctrico se paga una sola vez por el tiempo de vigencia del título habilitante (5 años) dado por SENATEL tenemos:

$$Dc = T(\text{US \$}) * Tc * Fcf \quad [4.2]$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico en dólares de los Estados Unidos de América correspondiente al Servicio y al Sistema en consideración.

Tc = Tiempo de concesión. Valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema.

Fcf = Factor de concesión de frecuencias (de acuerdo a la Tabla. 4.5).

Dc = Valor Derecho de concesión.

$$Dc = 9573,98 * 180 * 0.0312929 = 53927,61 \$$$

Tabla. 4.5. Factor de Concesión de Frecuencias para los diferentes Servicios en las diferentes Bandas

Servicio	Factor de Concesión de Frecuencias
Fijo y Móvil – (Bajo 30 MHz)	0.021024
Fijo y Móvil – (Sobre 30 MHz VHF 30-300 MHz)	0.022120
Fijo y Móvil – (Sobre 30 MHz UHF 300-512 MHz)	0.028500
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Unidireccional VHF 137 – 300 MHz)	0.0070616
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Unidireccional UHF 300 – 512 MHz)	0.00711968
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Unidireccional UHF 614 – 960 MHz)	0.00710696
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Bidireccional UHF 614 – 960 MHz)	0.00710696
Fijo (Enlaces punto-punto $0 < f <= 1$ GHz)	0.054194
Fijo (Enlaces punto-punto $1 < f <= 5$ GHz)	0.0330652
Fijo (Enlaces punto-punto $5 < f <= 10$ GHz)	0.0312929
Fijo (Enlaces punto-punto $10 < f <= 15$ GHz)	0.0295017
Fijo (Enlaces punto-punto $15 < f <= 20$ GHz)	0.0294794
Fijo (Enlaces punto-punto $20 < f <= 25$ GHz)	0.0290454
Fijo (Enlaces punto-punto $f > 25$ GHz)	0.0290191
Fijo y Móvil por Satélite	0.0555096
Fijo (Enlaces punto-multipunto) (Multiacceso)	0.0477714

4.2.3. Costos de mantenimiento

Para el mantenimiento de los equipos que se van a usar en el sistema WiMAX bajo el estándar IEEE 802.16-2004 se mantendrá un contrato con una empresa cuyo giro de negocio es el mantenimiento de equipos de esta índole, en el cual se establecerá que el servicio cubra un mantenimiento preventivo mensual y cubrirá 30 horas hombre (sin materiales) de trabajos emergentes, cuyo valor anual será del 3.40% del valor del rubro Maquinaria y Equipo. El valor por costos de mantenimiento se detalla año a año en el ANEXO 3-Tabla A3.1-Costos de Mantenimiento.

4.2.4. Gastos de Promoción y Ventas

Lo que se incurra en promoción del proyecto se cargará a las cuentas de gasto, teniendo en cuenta que la promoción en lanzamiento del proyecto (año cero) será de un estimado de \$10.290. A continuación se muestra el detalle de los gastos por publicidad del primer año, en la tabla 4.6.

Tabla. 4.6. Gastos de promoción y ventas

Descripción	Duración	Costo anual \$
Mobiliario Urbano-Reloj	3 meses (segundo trimestre)	360
Valla backlight	3 meses (primer trimestre)	3000
Pautaje en televisión (horario AAA, 7 pautas semanales)	3 meses (primer trimestre)	6720
Material POP		
Trípticos		80
Afiches		60
Esferos		70
TOTAL PUBLICIDAD		10290

Para los años subsiguientes se tomará un estimado del 40% del gasto de publicidad del primer año.

4.3. DETERMINACIÓN DE TARIFAS DEL SISTEMA DE ACCESO WiMAX

La inversión debe distribuirse sobre los distintos niveles de red de manera que entre ellos y la evolución prevista para cada uno, se mantenga en equilibrio. El criterio definido en las estrategias debe centrarse en el ofrecimiento de una cierta calidad de servicio al mayor número de subscriptores.

El estudio de factibilidad iniciará con la determinación de los costos por producto a ofrecer a los usuarios potenciales. Los servicios que brinda WiMAX son los siguientes:

- Acceso a una red Internet.
- Transmisión de datos.
- Voz sobre IP.
- Servidores WEB.
- Videoconferencia.

Para determinar el ingreso de acceso total correspondiente a cada uno de los servicios se determinará un porcentaje del tráfico correspondiente a la relación del tráfico total de cada servicio con el tráfico total del sistema (*% tráfico*). Éstos valores están determinados en cada servicio.

La tarifa de cada acceso a los diferentes servicios será igual al producto del porcentaje del tráfico por el ingreso total anual. En la tabla 4.7 se definen los valores para cada servicio en función del porcentaje de tráfico.

Tabla. 4.7. Porcentajes del tráfico

Servicio	Porcentaje de tráfico
Internet	41.08%
Datos	22.9%
IP	16.00%
Video	3.1%

4.3.1. Tarifas para el acceso a la Red Internet

El ingreso total correspondiente por tarifas de acceso a la red Internet corresponde a un porcentaje de los ingresos anuales netos del sistema WiMAX. El porcentaje es igual a la relación del tráfico total del Internet con el tráfico total del sistema.

$$T_{\text{internet}} = \frac{T_{\text{internet}_T} * (1 + i)}{47 * \# \text{ personas} * 0.85 * (1 + \lambda) * \sum_{a=0}^{n-1} \left(\frac{1 + \lambda}{1 + i} \right)^a} \quad [4.3]$$

En donde:

$T_{internet}$ = Tarifa de acceso a la red Internet por persona anual.

$T_{internet_T}$ = tarifa de acceso a la red Internet total anual.

0.85 = % de personas por usuario potencial que tendrán acceso a Internet.

i = Tasa de interés.

Al aplicar la ecuación 4.3 la tarifa anual de acceso a Internet por punto es de \$ 113.55 y la tarifa mensual es \$ 9.46. El número de personas con el que se provee dar el servicio es de 530 aproximadamente.

4.3.2. Tarifas para la transmisión de Datos

El ingreso total correspondiente por tarifas de transmisión de datos correspondientes a un porcentaje de los ingresos anuales netos del sistema WiMAX. El porcentaje es igual a la relación del tráfico total de transmisión de datos con el tráfico total del sistema.

$$T_{transmission\ Datos(64Kbps)} = \frac{T_{transmission\ de\ datos_T} * (1 + i)}{47 * \left(\sum_{b=1}^6 \%b * 1.8^{b-1} \right) * 0.3(1 + \lambda) * \sum_{a=0}^{n-1} \left(\frac{1 + \lambda}{1 + i} \right)^a}$$

$$T_{transmission\ Datos(128Kbps)} = 1.8^1 * T_{transmission\ Datos(64Kbps)} \quad [4.4]$$

$$T_{transmission\ Datos(256Kbps)} = 1.8^2 * T_{transmission\ Datos(64Kbps)}$$

$$T_{transmission\ Datos(512Kbps)} = 1.8^3 * T_{transmission\ Datos(64Kbps)}$$

$$T_{transmission\ Datos(1024Kbps)} = 1.8^4 * T_{transmission\ Datos(64Kbps)}$$

$$T_{transmission\ Datos(2048Kbps)} = 1.8^5 * T_{transmission\ Datos(64Kbps)}$$

En donde:

Transmisión de Datos = tarifa de transmisión de datos anual por usuario.

Transmisión de Datos_T = tarifa de transmisión de datos total anual.

0.3 = % usuarios potenciales que necesiten enlaces para transmisión de datos.

Aplicando las ecuaciones 4.4 las tarifas de transmisión de datos por usuario se las determina en la tabla 4.8.

Tabla. 4.8. Tarifas para transmisión de Datos

Capacidad (Kbps)	Tarifa anual	Tarifa Mensual
64	\$ 3.034,21	\$ 252,85
128	\$ 5.461,57	\$ 455,13
256	\$ 9.830,83	\$ 819,24
512	\$ 1.695,10	\$ 141,26
1024	\$ 2.100,00	\$ 175,00
2048	\$ 4.580,78	\$ 381,73

4.3.3. Tarifas para voz sobre IP

El ingreso total correspondiente por tarifas de voz sobre IP corresponde un porcentaje del ingreso total netos del sistema WiMAX. El porcentaje es igual a la relación del tráfico total de voz sobre IP con el tráfico total del sistema.

$$T_{\text{vozIP}} = \frac{T_{\text{vozIP}_T} * (1 + i)}{47 * \# \text{ personas} * 0.75 * 0.1 * (1 + \lambda) * \sum_{a=0}^{n-1} \left(\frac{1 + \lambda}{1 + i} \right)^a} \quad [4.5]$$

En donde:

T_{vozIP} = Tarifa de voz sobre IP por persona anual.

T_{internet_T} = tarifa de voz sobre IP total Anual

0.75 = % de personas por usuario potencial que tendrán acceso al servicio

0.1 = % del tráfico por persona

Aplicando la ecuación 4.5 y asumiendo 20 días laborables y 36 minutos de utilización promedio en un día por persona, la tarifa de voz sobre IP por minuto se la determina en la tabla 4.9.

Tabla. 4.9. Tarifas de VoIP

	VoIP
minuto	0,054 \$

El estimado de ventas anuales de los servicios de voz, video y datos con proyección a diez años se lo detalla en el ANEXO 2- Tabla A3.2-Ventas Anuales por servicio de voz, video y datos.

4.3.4. Tarifas para Videoconferencia

El ingreso total correspondiente por tarifas de videoconferencias corresponde a un porcentaje de los ingresos anuales netos del sistema WiMAX por concepto de transmisión de datos de los enlaces de 512, 1024 y 2048 Kbps. Asumiendo que se realiza en promedio una videoconferencia semanal de dos horas de duración, mensualmente se tendrá un total de 8 horas de uso. Dependiendo de la velocidad de transmisión el costo-hora para este servicio se lo obtiene dividiendo la tarifa de transmisión de datos mensual para las ocho horas y multiplicándolo para un factor de 1.2 (*por consideración de un recargo del 20% por alquiler de equipos e instalación*)

$$T_{\text{video}} = \frac{\text{Transmisión de Datos (512, 1024, 2048)Kbps} * 1.2}{8} \quad [4.6]$$

En donde:

$T_{\text{video}} (512, 1024, 2048)$ = tarifa de videoconferencias por usuario por hora.

$T_{\text{datos}} (512, 1024, 2048)$ = tarifa de transmisión de datos total.

Aplicando la ecuación 4.6 la tarifa de videoconferencia por usuario por hora se la indica en la tabla 4.10.

Tabla. 4.10. Tarifas para videoconferencia

Capacidad (Kbps)	Tarifa por hora (\$)
512	221.19
1024	398.15
2048	716.67

El proyecto WiMAX se proyectará en el flujo de caja a diez años, debido a que ese tiempo permite evaluar el rendimiento del proyecto.

Una vez obtenidos los datos de ingresos y egresos, se elaborará el flujo de caja proyectado a diez años (aunque el retorno de la inversión se verá reflejado en menos tiempo).

En el flujo de caja anual se tomarán en cuenta todos los costos y gastos mencionados anteriormente como egresos, mientras que los aportes provenientes del total de los usuarios constituirán los ingresos. El valor unitario de la tarifa a cobrar a cada usuario será constante, sin embargo la suma de las tarifas recaudadas al total de los usuarios aumentará conforme crece el número de usuarios, ya que se ha tomado una tasa de crecimiento anual del 5.75%. El flujo de caja proyectado a 10 años se muestra al detalle en el ANEXO 3-Tabla A3.3-Flujo de Caja.

Para realizar las comparaciones se deben homogenizar los valores en el tiempo, operación que se realiza con el factor de actualización que es la TMAR, tasa mínima aceptable de rendimiento. Es necesario determinar la tasa de descuento de los flujos de caja futuros que permitan expresarlos en términos de valor actual y compararlo con la inversión inicial. La TMAR se calcula de la siguiente manera:

$$\text{TMAR} = \text{Índice inflacionario} + \text{premio al riesgo.}$$

El parámetro de la inflación es importante, ya que a pesar de haber bajado nuestros índices inflacionarios, la inflación con la que se cerró el año 2006 fue del 2.87%⁹⁵ [35], un porcentaje alto en comparación con la inflación que tiene el Estado Americano que es de menos de un dígito (0.5%).

En empresas de telecomunicaciones se estima un premio al riesgo del 18%⁹⁶ [36], más el 2.87% de la inflación, tendremos que nuestra TMAR será de 20.87%.

Una vez obtenida la tasa mínima aceptable de rendimiento (*que será la tasa de descuento*), es necesario calcular el valor presente neto, que es el valor actual de los flujos de caja netos menos la inversión inicial. Se expresa de la siguiente manera:

$$VPN = \frac{C}{(1+i)^n} \quad [4.7]$$

En donde:

C = Valor del ingreso o egreso al tiempo n

VPN = C traído a valor presente ($t=0$)

N = año en el cual existe C

i = tasa de descuento

Luego de obtener los datos necesarios y proyectados, se toman en cuenta, principalmente, tres indicadores que permiten evaluar la factibilidad del proyecto, los cuales son:

- Relación costo/beneficio.
- Valor presente neto (VPN).
- TIR%

De esta manera en la tabla 4.11 se muestra que este proyecto es factible realizarlo debido a que el VAN, TIR, la relación costo-beneficio y el tiempo en el que se puede

⁹⁵ [35] <http://www.bce.fin.ec/>

⁹⁶ [36] http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/srv_index.php

recuperar la inversión son favorables, estos parámetros indican que el proyecto es viable de realizar.

Tabla. 4.11. Evaluación del proyecto

TMAR DEL PROYECTO =		21%	
TIR% =	Tir >TMAR	43,03%	O.K.
VAN =	VAN > 0	1.855.840,41	O.K.
R B/C =	R B/C > 1	1,44	O.K.
Repago =		3,78	AÑOS

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Una red de telecomunicaciones esta compuesta por el sistema de acceso y por el sistema de transporte. Es sistema de acceso esta constituido por todos los elementos que hacen posible la intercomunicación a la red a los diferentes terminales que se están en las localidades de los usuarios. El sistema da acceso tiene la misión de descargar a los equipos del sistema de acceso de la red funciones relativamente sencillas que no requieren de mucha inteligencia, además facilita el acceso a la red, proporcionando un formato adecuado a todos los datos que se reciben para que puedan ser procesados inmediatamente por el administrador de la red.

- El costo y complejidad asociado con la infraestructura telefónica y cableado tradicional ha resultado en un vacío significativo de cobertura de banda ancha en todas las geografías internacionales. Tempranos intentos de usar tecnología inalámbrica para llenar estos vacíos de cobertura han involucrado a un número de soluciones propietarias para acceso de banda ancha inalámbrica que han fragmentado el mercado sin proveer economías de escala significantes. Las tecnologías de banda ancha inalámbrica de alta velocidad basadas en el estándar IEEE 802.16 prometen abrir oportunidades de mercado económicamente viables para operadores, proveedores de servicio de Internet inalámbrico y fabricantes de equipamiento.

- La flexibilidad de la tecnología inalámbrica, combinada con la alta velocidad, escalabilidad, alto alcance y funciones de calidad de servicio del estándar IEEE 802.16-2004 ayudarán a llenar los vacíos de cobertura de banda ancha y alcanzar

cientos de nuevos clientes residenciales y de negocios en todo el Ecuador y especialmente en Quito.

- Gracias al rápido montaje de las instalaciones para esta se puede brindar el servicio inmediatamente, esto permitirá satisfacer las necesidades del usuario rápidamente con un costo menor en comparación a los servicios que necesitan de cableado para llegar hasta el usuario final, además el tiempo de instalación de una red con cables es mayor y su costo superior al de una red WiMAX.
- La demanda para el acceso de la banda ancha inalámbrico ira creciendo rápidamente e involucrándose en la vida cotidiana del usuario, gracias a las aplicaciones que esta brinda. WiMAX bajo 802.16-2004 ha incorporado y reunido todos los requisitos basándose en las necesidades y aplicaciones que el usuario requiere. Estas son bajo costo, rápido despliegue, cobertura y movilidad.
- La tecnología WiMAX representa una oportunidad económica creciente para los proveedores de servicio que operan en las bandas con licencia y las exentas de licencia. WiMAX inicialmente se basarán en la especificación IEEE 802.16-2004, lo que permitirá acceso fijo para uso punto a punto y punto a multipunto. Se espera que se desarrolle un ecosistema de tecnología robusto basado en estándares mundiales para brindar los beneficios duales de interoperabilidad y economía de volumen, esto permitirá un rápido despliegue dentro del sector donde se implemente esta tecnología.
- La versión fija del estándar WiMAX, 802.16-2004, aborda una necesidad particular del mercado, que es la disponibilidad de una solución de bajo costo basada en los estándares que pueda brindar acceso de banda ancha y de voz básicos, video y datos en el Ecuador donde la economía de un servicio inalámbrico fijo no tiene mucha importancia.
- El sistema de transporte de la red de telecomunicaciones esta compuesto por los nodos de conmutación y equipos de transmisión. Los nodos de conmutación reciben los datos de los elementos de acceso, eligiendo el mejor camino para evitar interrupciones

y proporcionar un excelente servicio a los usuarios. Estos equipos pueden ser cables coaxiales, fibra óptica, enlaces de radio o enlaces satelitales.

- En los sistemas de acceso de una red telecomunicaciones existe la posibilidad de utilizar tecnologías con alambre e inalámbricas. El acceso inalámbrico se caracteriza por la carencia de un medio guiado entre la estación base y el usuario, la transmisión o recepción se lo realiza mediante una antena la cual irradia energía electromagnética en el medio, enviando ondas electromagnéticas las cuales serán captadas por otra antena en el lado del receptor.
- Los actuales y nuevos sistemas de acceso requieren de mayor flexibilidad y adaptación debido a los cambios que continuamente se vienen produciendo. La limitación que presentan los sistemas que usan cableado es su poca flexibilidad al momento de adaptarse a los cambios de tecnología, costos, capacidad de extensión, y distribución física. Este no es el caso de los sistemas inalámbricos, el mismo que presenta casi todas las características que permite a un sistema de acceso ser utilizado, es por ello que hoy en día los sistemas de acceso inalámbrico tienen mayor acogida respecto a los sistemas que usan cableado para el acceso de ultima milla.
- WiMAX bajo el estándar IEEE 802.16-2004 es una tecnología que se usa para dar servicio de voz, video y datos en una área metropolitana MAN, este sistema de telecomunicaciones utiliza una arquitectura singular, la que permite tener cobertura sin línea de vista para sus redes, permitiendo a los usuarios tener servicios fijos y móviles.
- El sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004 es sumamente rápido comparado con las comunicaciones a través de módems dial-up, líneas E1/T1, Frame Relay, etc. Además, este sistema puede proveer el servicio requerido rápidamente, en menos de una semana, debido a que sus equipos están configurados para instalarlos y usarlos.
- El sistema WiMAX con el estándar IEEE 802.16-2004 en el Ecuador está asignado en la banda de 3,4 a 3,6 GHz, las operadoras de Telecomunicaciones que poseen licencia para la prestación de servicios en esta banda son ANDINATEL, ECUTEL; TV cable. No existe ninguna empresa que brinde este servicio en las bandas exentas de

licencia por lo que al implementar este sistema en las bandas libres no existirá ningún inconveniente de interferencias o competencia.

- Una red simple del sistema WiMAX se encuentra conformada por múltiples estaciones terminales (provee al usuario el acceso), y una estación base (punto central o de concentración de las estaciones terminales). La estación base conjuntamente con un centro de administración provee de las interfaces necesarias para que exista la conexión del enlace de radio que servirá de transporte o de backbone.
- La antena de la estación base puede tener algunas opciones en sus ángulos de cobertura, por ejemplo de 60°, 90°, 180° y 360° con lo que la zona de cobertura de la celda se divide en 6, 4, 2 y un sector respectivamente.
- El tamaño de las celdas puede variar dependiendo de la topografía como también del número de usuarios destinados a recibir el servicio. Es de suma importancia establecer el área de cobertura, tanto para el operador que brindara el servicio, como para que los cálculos de diseño sean óptimos.
- La propagación en radio depende de la frecuencia. Para frecuencias por encima de los 3 GHz sufren severas atenuaciones causadas por objetos como por ejemplo edificios, vegetación, estas limitaciones de propagación son solucionadas gracias a que WiMAX bajo el estándar 802.16-2004 utiliza modulación OFDM, permitiendo tener una cobertura en condiciones NLOS.
- Se debe tomar en cuenta antes de que el sistema entre en funcionamiento la confiabilidad del sistema, esto se refiere al tiempo que el sistema podrá brindar el servicio sin interferencias el lapso de un año, estas interferencias pueden ser causadas por el clima u otros factores inesperados, este parámetro es de vital importancia al momento de definir la calidad de nuestro servicio y la confianza del usuario en el proveedor.
- Los usuarios potenciales dentro de la zona comercial de la ciudad de Quito son en su mayoría locales comerciales (bancos, empresas medianas y grandes, hoteles y otros) por lo que sus requerimientos y necesidades van de acuerdo con las características de

los posibles usuarios. Una proyección a futuro de estos usuarios forma parte de una adecuada planificación, sin la debida planificación las partes de la red más dependiente del tráfico no se podrían proyectar ni dimensionar adecuadamente. Hay que tomar en cuenta que este servicio si bien se lo está guiando a usuarios comerciales, se lo puede aplicar para una aplicación sin fin de lucro como lo es el dar servicio a la comunidad que tiene en la actualidad un limitado conocimiento de la tecnología y sus aplicaciones.

- Para comunicaciones con una sola vía o enlace común en el caso del espacio libre en las comunicaciones inalámbricas, existe la necesidad de habilitar la doble vía simultánea de intercambio de información entre dos dispositivos, es decir se requiere algún tipo de esquema dúplex. Para el sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004, en un sistema de comunicaciones punto-multipunto existe dos soluciones para permitir la comunicación dúplex en frecuencia y en el tiempo (FDD y TDD).
- La técnica de transmisión FDD se aplica para el estándar 802.16e y TDD se aplica para el estándar 802.16-2004. La técnica de duplexación TDD tiene ventajas sobre FDD, una de ellas es que TDD permite utilizar la mayor parte del espectro.
- El sistema WiMAX gracias a su arquitectura permite intercomunicarse con otras redes que se encuentran en el medio por el IP Edge Router 3800 CISCO, este nos permite por medio de direcciones IP vernos con las redes que se encuentren interconectadas con la nuestra.
- El switch MGK 8850 CISCO es el que se encarga de distribuir la información de acuerdo a las necesidades del usuario y esta ubicado en la estación base. La distribución se la hace por medio de direcciones IP las mismas que son asignadas por el IP Edge Router 3800 CISCO el cual se encarga de enviar la información hacia el switch por el camino que presente menos complicaciones.
- Un proyecto de red robusto se basa en la inspección de sitios, agrupación de estadísticas, y coordinación de uso RF con los proveedores vecinos para resolver directamente problemas de interferencia, estos problemas son analizados en el administrador de la red Netspan ISP. Las soluciones exentas de licencia WiMAX basadas en proyectos de red robustos son equilibradas para convertirse en una solución

segura y flexible para mercados especializados, así se puede dar confiabilidad y seguridad a los usuarios potenciales.

- Uno de los problemas que se presenta al implementar la red inalámbrica de banda ancha son los problemas técnicos inherentes al despliegue de una nueva tecnología inalámbrica y los desafíos económicos relacionados con la oferta de un servicio que deben atraer el interés de los consumidores que ya están familiarizados con los servicios 3G/Wi-Fi. Este problema que se presenta debido a la competencia en servicios, se lo puede solucionar dando a conocer las ventajas tanto económicas como tecnológicas que el sistema de comunicaciones inalámbricas presta al usuario, como son su bajo costo, rápido despliegue, cobertura, confiabilidad, velocidad de transmisión en comparación a Wi-Fi.
- El sistema WiMAX en comparación con sistemas de características similares presenta ventajas significativas en costo, cobertura e instalación y la más importante permite trabajar con bandas exentas de licencia, por lo que el sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004 satisface los requerimientos que se necesitan para el diseño de la red inalámbrica en la zona comercial de la ciudad de Quito, tanto económicos como técnicos.
- Este sistema WiMAX bajo 802.16-2004 no solo puede guiarse a empresas o instituciones grandes que requieren tener acceso a la información de forma inmediata o necesitan comunicarse con el mundo para los negocios, se lo puede implementar para mejorar la calidad de vida de las personas de edad avanzada, ya que el número de personas ancianas va creciendo y son cada vez más numerosas. Este nuevo servicio (medico en casa, compras de supermercado, cine en casa, pasatiempos, etc.) se lo debería explotar, y sumándolo a los ya prestados como voz video y datos este sistema no solo prestaría servicios con el fin de lucro sino con un fin social. De esta manera se estará empezando una lucha a favor de la igualdad social dentro de una sociedad que discrimina a la personas de la tercera edad. Al implementar este tipo de servicios se debe tomar en cuenta que estos deben ser accesibles a cualquier persona sea cual sea su capacidad, tomando en cuenta las limitaciones físicas, cognitivas o sensoriales de los usuarios.

- Una futura empresa que va a brindar servicios de telecomunicaciones a ciudadanos individuales, empresas privadas o Administraciones Públicas, es preciso que tenga un objetivo esencial, que la opinión pública se conciencie y sensibilice de manera definitiva acerca de que la realidad humana es plural y diversa, donde existen colectivos humanos para quienes no es fácilmente accesible la nueva Sociedad de la Información, ni les es tan sencillo poder acercarse o disponer de los medios que hacen posible su participación en ella.

5.2. RECOMENDACIONES

- La homologación es un parámetro que se debe cumplir con los equipos que se conectan a la red de acceso inalámbrico de banda ancha WiMAX, estos equipos deberán cumplir con especificaciones propias del reglamento de homologación y deberán ser revisadas periódicamente debido a su deterioro. No se deberá permitir que se conecten equipos no homologados, ni redes que no tengan autorización del CONATEL con el sistema WiMAX bajo el estándar 802.16-2004, para el Ecuador.
- Es de vital importancia el lugar que se escoja para la ubicación de la estación base, este lugar debe tener las características necesarias para optimizar la cobertura y el costo del sistema inalámbrico WiMAX. De preferencia los lugares más adecuados son los edificios de mayor altura ya que se evita la construcción de grandes torres para la ubicación de las antenas y así un gasto representativo en el financiamiento del proyecto.
- Gracias a que la estación base admite expansión del sistema WiMAX permitirá cubrir un área más extensa, tomando en cuenta el cumplimiento de todos los pasos de planificación del sistema o red. Éste es un trabajo interesante debido a que para cada sector que se incorpore al sistema WiMAX se tendrá que aplicar diferentes criterios a la hora de decidir en la solución más adecuada.
- La red inalámbrica por si sola no podrá ofrecer ninguna clase de servicios a los usuarios, debe conectarse con otras redes de telecomunicaciones públicas o privadas.

Esto puede ser realizado en un siguiente estudio que investigue que clase de servicios son los más necesarios y cuantas empresas deben formar parte de esta conexión.

- Es de suma importancia tener una correcta planificación económica en cualquier sistema de telecomunicaciones, WiMAX bajo el estándar 802.16-2004 es un sistema de acceso que presenta tarifas costosas para el usuario, pero esto será compensado con la calidad de servicio y múltiples beneficios que este sistema presenta. Es conveniente analizar las tarifas con algunos modelos matemáticos y tomar en cuenta otros factores económicos que influyen notablemente, como los son los gastos en publicidad, mantenimiento de los equipos, etc.

- Como con cualquier tecnología nueva o en desarrollo, deben comprenderse diversos factores para asegurar una instalación exitosa. Este documento se ha concentrado en diversos problemas específicos relacionados con las instalaciones exentas de licencia, incluso la interfaz RF y la localización de la infraestructura. La interferencia RF resulta en un ambiente complejo y siempre cambiante que los proveedores de servicio deben respetar y entender, pero no temerle. Las soluciones para resolver la interferencia RF incluyen: correcta proyección de la red, uso de tecnologías de antena avanzadas, instalaciones punto a punto, identificación de mercados apropiados para tecnología WiMAX, filtración, protección, rehusó de frecuencia en el caso que se necesiten y sincronización con otros proveedores. Estas soluciones ayudarán a resolver algunos problemas de interferencia RF.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Can_WiMAX_Address_Your_Applicationsfinal.pdf#search=%22description%20system%20Wimax%20%2Bpdf%22, Descripción del sistema WiMAX.
2. http://www.qualcomm.com/enterprise/pdf/WhyMAX_JBelk.pdf, Standardization and Regulation, Workshop BROADWAN Session 2, Broadband access business models and roadmaps.
3. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/2/28995/01306375.pdf?arnumber=1306375>,
4. http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs_wireless_802.pdf, View Graphs of Wireless
5. http://www.eyeforwireless.com/wimax_report.pdf#search=%22%2Bstandard%20%2BWiMax%20%2Bpdf%22, Estándar WiMAX.
6. http://www.eyeforwireless.com/wimax_report.pdf, Reporte de WiMAX
7. <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7742/34234/01632481.pdf>.
8. <http://www.picochip.com/downloads/WiMAXworld2.pdf>, WiMAX en el Mundo.
9. <http://www.picochip.com/downloads/WiMAXworld1.pdf#search=%22%2Bstack%20%2BWiMax%20%2Bpdf%22>, Protocolos de la pila en WiMAX.
10. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Can_WiMAX_Address_Your_Applications_final.pdf, Aplicaciones y direcciones de WiMAX.
11. <http://www.redes.upv.es/gyurl/curso0506%5Ctema1%5CWireless.pdf>, Redes Inalámbricas WiMAX.
12. http://www.impsat.com/archivos/InfoEnlace_040_espanol.pdf, Enlaces entre redes inalámbricas.
13. http://www.detecon.com/media/pdf/SOD_Broadband_WirelessAccess.pdf, Accesos inalámbricos de banda ancha.
14. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf>, El estándar 802.16e.
15. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2004.pdf>, El estándar 802.16-2004.
16. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/MobileWiMAX_PersonalBroadband.pdf, WiMAX móvil personal de banda ancha.

17. http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Applications_for_802.16-2004_and_802.16e_WiMAX_networks_final.pdf, Aplicaciones para los estándares 802.16-2004 y 802.16e.
18. <http://www.ute.edu.ec/walc2006/track1/dis%5B1%5D.%20radioenlaces-comp.pdf>, Radió enlaces.
19. <http://www.grnet.gr/content/calendar/Siemens.pdf>, Equipos Siemens.
20. <http://www.srtelecom.com/en/products/whitepapers/IEEE80216e-Standard.pdf>, Estándar 802.16.
21. http://www.exo.com.ar/exo/imagenes/training_center/capacitacion/documentos/Temarios/Hardware/Seminario%20Wireless.pdf, Seminario de WiMAX.
22. http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/resoluciones_eqa/conatel_04_001_2006.pdf, Aspectos legales de CONATEL.
23. http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/texto_Cuadro_de_Atribucion.pdf?nomb_grupo=frecuencias&cod_nivel=n1&cod_cont=33, Cuadro de atribuciones de frecuencias por CONATEL.
24. <http://www.conatel.gov.ec/website/baselegal/resoluciones/2006/04-01-CONATEL-2006.pdf>, Resoluciones legales dadas por CONATEL.
25. http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/resoluciones_eqa/RESOLUCION_EQA_155-60.pdf, Resolución EQA155-60.
26. http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/resoluciones_eqa/conatel_15_310_2004.pdf, Resolución de frecuencias CONATEL.
27. http://www.conatel.gov.ec/website/frecuencias/resoluciones_eqa/conatel_19_494_2004.pdf, Resolución de frecuencias.
28. http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/WiMAX%20FINAL%20Spanish.pdf, WiMAX el futuro de las comunicaciones.
29. http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/serv_varios/formularios/Instructivo.pdf, Servicios que puede brindar WiMAX por CONATEL.
30. http://www.conatel.gov.ec/website/servicios/serv_varios/formularios/Instructivo.pdf, Servicios de WiMAX.
31. PROAKIS, J. G., MANOLAKIS, D. G., “Tratamiento Digital de Señales” Prentice Hall.
32. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, “Telecommunication Standardization Sector of ITU G.652”,2003.

33. CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), "Norma EN-50065-1"
34. DIMAT TELECOMUNICACIONES, "Sistema de Onda Portadora Digital Power-Line Carrier System" Barcelona-España.
35. BERNARD, Sklar, "*Digital Communications Fundamentals and Applications*", segunda edición.
36. KAEN, Luís, Trabajo Final Integrador, 2005, 73 paginas.
37. ¹ WAYNE, Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Carrier to Interference Ratio.

ANEXOS

ANEXO 1

LISTA DE USUARIOS POTENCIALES

ANEXO 1 LISTA DE USUARIOS POTENCIALES

#	Usuarios	Dirección	Altura [m]	Pisos
1	Cadatos/Gallup International	Av. Río Amazonas 2374 y Av. Gral. Eloy Alfaro	48	12
2	Ministerio de Agricultura y Ganadería y MICIP	Av. Gral. Eloy Alfaro N30-350 y Av. Río Amazonas	60	15
3	Bellsouth	Av. Da la República y La Pradera	60	15
4	Pucará	Av. De La República 500	48	12
5	Ed. Fórum	Av. De La República 396	60	12
6	Conatel y SNT	Av. Diego de Almagro N31-95 y Alpallana	45	12
7	Petrocomercial	Av. 6 de Diciembre y Alpallana	40	10
8	Transelectric	Av. 6 de Diciembre N26-235 y Av. Francisco de Orellana	44	11
9	Aseta	La Pradera 510	15	3
10	Telerama	Av. Diego de Almagro y Av. Francisco de Orellana	8	1
11	Consejo Nacional de Tránsito y transp. Terrestre	Juan León Mera N26-32 y Santa María	26	8
12	Alcatel	La Pinta 236 y La Rábida	39	9
13	Ecuasanitas	La Rábida N26-71 y La Pinta	25	7
14	Ministerio de Obras Públicas	Juan León Mera N26-220 y la Niña	71	22
15	Petroproducción	Juan León Mera N26-235 y Av. Francisco de Orellana	25	8
16	British Council	Av. Río Amazonas N26-146 y la Niña	11	3
17	Hotel Marriot	Av. Francisco de Orellana 1172 y Av. Río Amazonas	43	8
18	Colegio Militar Eloy Alfaro	Av. Francisco de Orellana 1046 y Av. Río Amazonas	10	3
19	Instituto Técnico Dillon	Nueve de Octubre N28-18 y Berlín	7	2
20	Superintendencia de Telecomunicaciones	Nueve de Octubre N27-75 y Berlín	36	9
21	Izquierda Democrática	Polonia N30-57 y Vancouver	20	5
22	Casa Humbolt	Vancouver E5-54 y Polonia	14	4
23	Banco del Austro	Av. Río Amazonas y Santa María	52	13
24	Banco de Guayaquil	Av. Cristobal Colón y Reina Victoria	67	16
25	Fonde de Solidaridad y FISE	Av. 6 de Diciembre N25-75 y Av. Cristóbal Colón	48	12
26	Antares	Av. 6 de Diciembre y Av. Cristóbal Colón	59	14
27	Hospital Baca Ortiz	Av. Cristobal Colón y Av. 6 de Diciembre	32	8
28	UDLA	Av. Cristóbal Colón E9-241	16	4
29	EMAAP-Q	Av. Mariana d Jesús N31-198 e Italia	28	17
30	Organización de las Naciones Unidas	Av. Río Amazonas 2889 y Av. Mariana de Jesús	52	13
31	Banco del Pacífico	Av. Cristóbal Colón E5-34	44	11

32	Ed. De Compañías Finacieras y de Seguridad	Av. Gonzáles Suárez N27-317 y Muros	48	12
33	Hotel Quito	Av. Gonzáles Suárez N27-142	30	7
34	Edificio Torre (Bismark-Interactive)	Av. 12 de Octubre N26-97 y Abraham Lincoln	52	13
35	Word Trade Center	Av. 12 de Octubre N24-562 y Francisco Salazar	67	16
36	Hotel Alameda Plaza-Expocenturi 2.000	Av. 12 de Octubre N24-593 y Francisco Salazar	77	17
37	Hotel Swissotel Quito	Av. 12 de Octubre 1820 Luis Cordero	60	16
38	Superintendencia de Bancos	Av. 12 de Octubre N24-185	65	17
39	Universidad Salesiana	Av. 12 de Octubre N24-22 e Isabel la Católica	23	5
40	Quto 12 el Girón	Gral. Ignacio de Veintimilla E10-78 y Av. 12 de Octubre	60	15
41	Universidad Católica-Facultad de Medicina	Av. 12 de Octubre y Av. Patria	52	13
42	EPN	Isabel La Católica y Alfredo Mena Caamaño	32	8
43	Embajada Americana	Av. 12 de Octubre y Av. Patria	16	4
44	Clase Ecuador	José Luís Tamayi 1025 y Lizardo García	27	7
45	Colegio Manuela Cañizares	Av. 6 de Diciembre 1764 y Mariscal Foch	16	5
46	Cepsa S.A	Mariscal Foch y Av. 6 de Diciembre	10	2
47	Capacitación Petrolera	Mariscal Foch y Av. 6 de Diciembre	25	8
48	Corporación Financiera Nacional	Reina Victoria N19-51 y Av. Patria	76	22
49	Hotel Hilton Colon	Av. Río Amazonas y Av. Patria	66	12
50	Cofiec	Av. Patria E4-69 y Av. Río Amazonas	72	18
51	Banco Internacional	Av. Patria E4-21 y 9 de Octubre	64	16
52	Mutualista Pichincha	18 de Septiembre y Juan León Mera	44	11
53	Banco de Préstamos	Av. Patria E2-21 y Av. 10 de Agosto	76	19
54	Ministerio de Finanzas y Crédito Público	Av. 10 de Agosto 1661 y Jorge Washington	30	7
55	Proinco S.A	Av. Río Amazonas N21-64 y Robles	57	13
56	Torres de Almagro	Av. Cridtóbal Colón E7-60 y Reina Victoria	67	19
57	Hotel Sebastián	Av. Diego de Almagro N24-416 y Luis Cordero	34	9
58	Comisión Fullbright	Av. Cristóbal Colón 802 y Av. Diego de Almagro	10	3
59	Ave María	Av. Cristóbal Colón 1011 y la Rábida	27	10
60	Flopec	Av. Río Amazonas N24-196 y Luis Cordero	60	14
61	Tame	Av. Río Amazonas N24-256 y Av. Cristóbal Colón	48	11
62	Hotel Río Amazonas Internacional	Luis Cordero E4-75 y Av. Río Amazonas	60	13

63	Arista	Av. Critóbal Colón E4-402 y Juan León Mera	46	10
64	Sevilla	Jerónimo y Juan León Mera	51	11
65	Londres	Av. Río Amazonas 580 y Jerónimo Carrión	58	11
66	Hotel Alameda Real	Av. Río Amazonas N21-164 y Ramón Roca	58	11
67	Superintendencia de Compañías	Ramón Roca y Av. Río Amazonas	58	10
68	Río Amazonas (Filanbanco)	Av. Río Amazonas N21-147 y Ramón Roca	58	12
69	Baxter Ecuador S.A	Av. Río Amazonas N26-117 y Av. Francisco de Orellana	12	3
70	Torrealba	Av. Río Amazonas N26-179 y Av. Francisco de Orellana	46	12
71	Fedex	Av. Río Amazonas 5117 y Santa María	10	1
72	Cooperativa San Francisco de Asís	Av. Cristóbal Colón E6-42 y Reina Victoria	24	8
73	Andinatel	Gral. Ignacio de Veintimilla y Av. Río Amazonas	15	11
74	Colegio Borja 2 Los Andes	9 de Octubre y Gral. Ignacio Veintimilla	15	3
75	Colegio Santo Domingo de Guzmán	Gral. Ignacio de Veintimilla 1128 y Av. Río Amazonas	15	3
76	Centro Financiero	Av. Río Amazonas N39-61 y Alfonso Pererira	47	11
77	Banco del Pichincha	Av. Río Amazonas 4560 y Alfonso Pereira	40	10
78	Banco Amazonas	Av. Río Amazonas N38-42 y Juan Villalengua	48	12
79	ABN AMOR Bank	Av. Río Amazonas N38-70 y Juan Villalengua	32	8
80	SECAP	José Arizaga E3-24 y Jorge Drom	27	8
81	Inteca	Av. 10 de Agosto n37-288 y Juan Villalengua	30	10
82	Union Nacional de Periodistas	Union Nacional de Periodistas E2-32 i Ñaquito	28	7
83	Club de Leones	Av. Naciones Unidas 1204	18	6
84	Filanbanco	Av. Río Amazonas N37-1001 y U. Nacional de Periodistas	55	13
85	Edificio Banco de la Previsora	Av. Naciones Unidas 1084 y Av. Río Amazonas	33	9
86	Puerta del Sol	Av. Naciones Unidas N37-102 y Av. Río Amazonas	52	13
87	Cámara de Construcción de Quito	Juan Sánz e Ñaquito	32	8
88	Colegio de Economistas	Ñaquito N35-37 y Juan Sánz	24	7
89	Colegio de Odontólogos	Ñaquito N35-85 y Juan Sánz	12	3
90	EMAAP	Av. 10 de Agosto y Av. Mariana de Jesús	44	11
91	Ed. Métopoli	Juan Gonzáles e Ignacio San María	39	13
92	Grupo Enlace	Av. Río Amazonas E36-69	48	12
93	Vivaldi	Av. Río Amazonas E36-49	38	12
94	Produbanco	Av. Río Amazonas E35-211	30	8
95	Banco de Machala	Av. Río Amazonas E35-89	48	12

96	Xérox	Av. Río Amazonas E35-17 y Juan Sáenz	45	11
97	Banco Sudamericano	Av. Río Amazonas N33-319 Y Rumipamba	47	11
98	Las Cámaras	Av. Río Amazonas Y Av. De la República	39	13
99	Centro de Exposiciones Quito	Av. Río Amazonas N34-332	16	4
100	Mastercard	Av. Naciones Unidas E7-71 y Av. De los Shyris	32	8
101	Banco Bolibariano	Av. Naciones Unidas E6-99 y Japón	48	12
102	Banco del Pacífico	Av. Naciones Unidas E7-95	32	8
103	Hotel Casino Crowne Plaza	Av. De los Shyris 1757 y Av. Naciones Unidas	38	11
104	City Plaza Center	Av. Naciones Unidas E10-44	45	15
105	City Bank	Av. República N36-230 y Av. Naciones Unidas	20	5
106	Mansión Blanca	Av. República de el Salvador N36-140 y Av. Naciones Unidas	40	12
107	Metropolitan Touring	Av. República de el Salvador N36-84 y Av. Naciones Unidas	40	13
108	Delta	Av. República de el Salvador N35-204	35	10
109	Almirante Colón	Av. República de el Salvador N35-182	36	11
110	Prisma Norte	Av. República de el Salvador N35-140	38	10
111	Tin Tower	Av. República de el Salvador N35-82	48	13
112	Athos	Av. República de el salvador N35-40	35	11
113	Plaza Real	Av. República de el Salvador N34-529 y Portugal	42	14
114	Banco del Pichincha	Portugal y Av. 6 de Diciembre	20	5
115	Petroproducción	Av. 6 de Diciembre N34-290 y Gaspar Cañero	32	11
116	Schlumberger	Irlanda E10-16 y Av. República de el Salvador	32	10
117	Hotel Dann Carlton Quito	Av. República de el Salvador e Irlanda	35	13
118	Embajada de Perú	Av. República de el salvador 495 e Irlanda	27	10
119	Aseguradora del Sur	Av. República de el Salvador N34-211	28	11
120	Torreazul	Av. República de El Salvador N34-183	34	14
121	Dygoil cia. Ltda.	Av. República de El salvador 309	30	12
122	Onix	Av. República de El Salvador N34-10	28	11
123	Instituto de Seguridad Social Policia Nacional	Av. República de El Salvador N39-67 y El Telégrafo	47	11
124	Axios (Conecell)	Av. De los Shyris N41-151 e Isla Floreana	44	10

125	Filanbanco	Av. De los Shyris N42-31 e Isla Tortuga	35	8
126	Riesgos de trabajo IESS	Veracruz y Av. Naciones Unidas	20	5
127	Electro Ecuatoriana	Av. Naciones Unidas y Av. 10 de Agosto	52	13
128	Ramtelecom	Nuñez de la Vela E3-13 y Atahualpa	47	12
129	Corfinsa	Av. Río Amazonas N34-311 y Atahualpa	36	9
130	Embajade de la República de China	Atahualpa E3-62 y Juan Gonzáles	36	9
131	UTE	Burgeois N34-103 y Rumipamba	20	5
132	Banco del Estado	Atahualpa Oe1-109 y Av. 10 de Agosto	38	12
133	Colegio de los Sagrados Corazones de Rumipamba	Atahualpa Oe1-120 y Av. 10 de Agosto	16	4
134	Colegio San Gabriel	Av. América 3541 y Av. Mariana de Jesús	15	3
135	Colegio Pensonado Borja 3 Cavanis	Veracruz y Av. De La república	16	4

ANEXO 2

EQUIPOS WiMAX



Technical and Price Proposal to IMPSAT for an MicroMax System

1) GENERAL DESCRIPTION

Airspan's product range provides a low cost, high-performance point-to-multipoint IP-based Broadband Wireless Access (BWA) solution, provides wireless connectivity designed to deliver high-speed data, voice over IP (VoIP), TDM voice and multimedia services to residential, SoHo (small office/home office), and SME (small to medium enterprises), offers service providers an integrated access solution, providing quick-to-market deployment and low market entry cost for broadband services.

Utilizes the latest radio technology for wireless packet transmission using WiMAX compliant and tested equipment. The product range is/will be tested for compatibility against existing WiMAX technology to ensure full interoperability.

Main Features

- System designed for self-installation of indoor subscriber station (ST) clients
- Software defined radio for full upgradeability of PHY and MAC within MacroMAX and HiperMAX Base stations

- Support for IP services at speeds of up to 10Mbit/s with a channel bandwidth of 3.5MHz in both the uplink and downlink.
- Lowest possible end-to-end packet latency
- Full QoS implementation supporting CIR, MIR and Packet Prioritization in both the up and downlinks
- WiFi integration within EasyST customer premises equipment
- Multi-mode voice services supporting VoIP
- Fully integrated Adaptive Antenna System (AAS) incorporated within HiperMAX Base station architecture
- Support for both Time Division Duplexing (TDD) and Frequency Division Duplexing (FDD) operation
- Full interoperability with integrated **intel** laptop clients

System Architecture

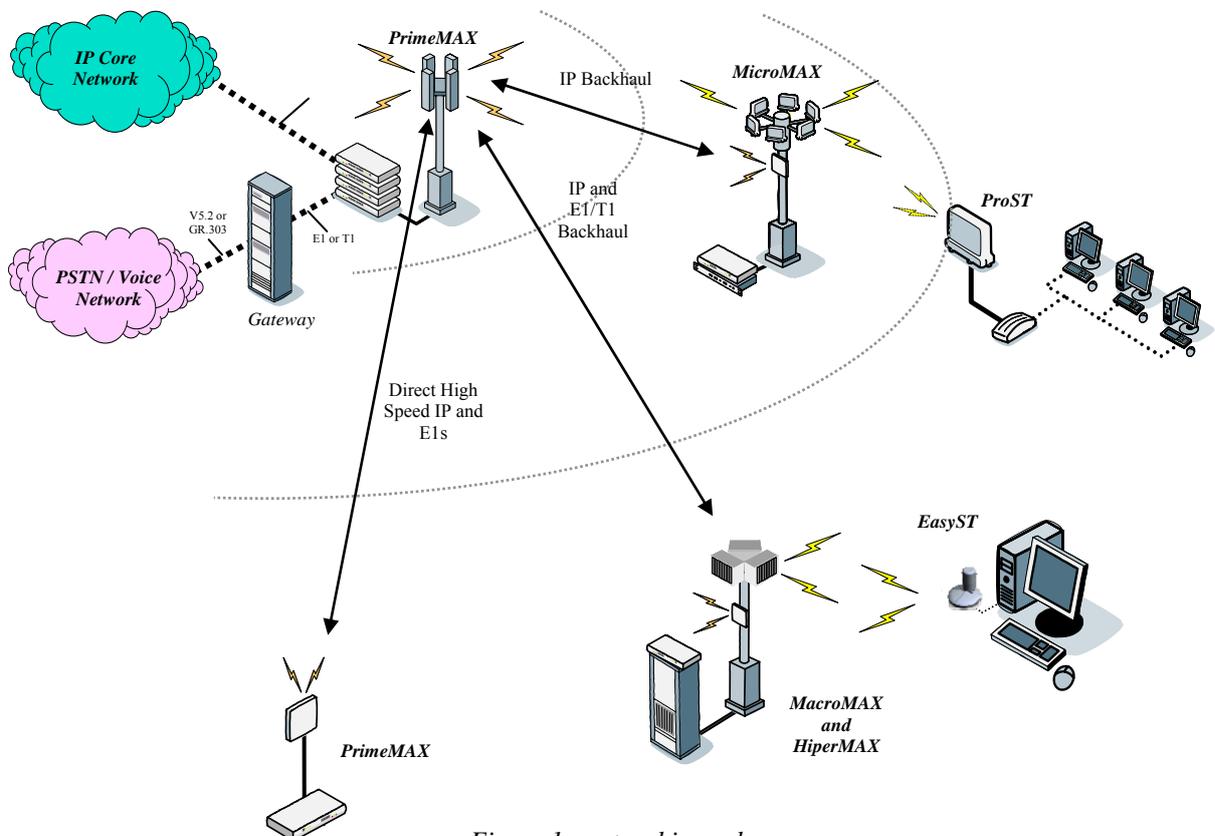


Figure 1: system hierarchy

The system is constructed from the following elements.

Base Station Types:

- **MicroMAX** A stand-alone, highly modular Base station, with integrated antenna, radio and baseband modem.
- **MacroMAX** A highly upgradeable Base station, with indoor radio connected to external antennae via standard RF feeder cable.
- **HiperMAX** A Base station optimized for best link budget and highest capacity/throughput, whilst remaining fully upgradeable. This Base station uses remote masthead radio connected by optical fibre to ensure the highest possible level of performance is achieved.
- **PrimeMAX** Especially suitable for high capacity IP+TDM or IP only **backhaul** and enterprise applications

Subscriber Terminal (ST) Types:

- **EasyST** Indoor operation, end user self-install. Can be deployed with built-in antenna or with separate window mount antenna.
- **ProST** Outdoor operation, professional installation
- **PrimeST (OD)** An all outdoor remote terminal designed for IP only applications
- **PrimeST (SV)** A high power, split version of terminal designed for long reach applications with IP or IP + up to 8 E1/T1 ports. This ST is particularly suitable for backhaul applications.

MicroMAX Base Station Description



- A - Optional external antenna port
- B - Serial port for configuration during installation
- C - 100bT Ethernet, Synchronisation and Power

Figure 12: MicroMAX Base station

Main Features

- Integral Outdoor Baseband / Radio
- Frequencies: **3.5T1**, **3.5F1** and **5.8T1** WiMAX Profiles
- WiMAX 802.16-2004 OFDM 256 FFT
- Transmit speeds of up to 13.1Mbps to 75 Mbps (using 3.5MHz FDD channels)
- Channel sizes at 3.5GHz of 1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz and 10MHz
- Maximum power consumption: 28W
- BS Antenna:
 - ✓ 5.8T1 = **60°** vertical beamwidth with **12dBi** gain
 - ✓ 3.5T1 and F1 = **15°** vertical beamwidth with **18dBi** gain
 - ✓ 3.5T1 and F1 = **60°** vertical beamwidth with **12dBi** gain
 - ✓ Optional N-Type connector for 3rd party antenna
 - ✓ Omnidirectional **25dBi** gain
- Same packaging as WipLL BSR
- Up to 14 Radios per Mast
- Bridge Functionality with full 802.16 QoS / Service Classes
- Up to 100m CAT5 between BSR and BSDU or SDA
- Up to 512 subscribers per MicroMAX BSR

MicroMAX Operation

MicroMAX is a standalone Base station, sharing the same system architecture as our tried-and-tested ASWipLL product line. The Base station is highly modular in design and is constructed from an existing WipLL enclosure. MicroMAX incorporates antenna, radio and baseband modem within a single enclosure, with power, backhaul interfacing, local switching (if necessary) and TDD Tx/Rx synchronisation (if necessary) being provided by a Base station Distribution Unit (BSDU) or Subscriber Data Adaptor (SDA). As a product, MicroMAX is designed to support enterprise, rural and infill applications, particularly in unlicensed spectrum as the Base station radiates within recognized EIRP limits.

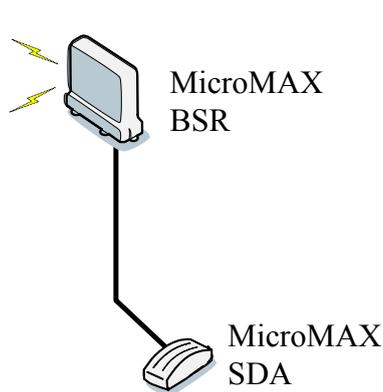


Figure 13: MicroMAX BSR and SDA combination for single sector Base station requirements

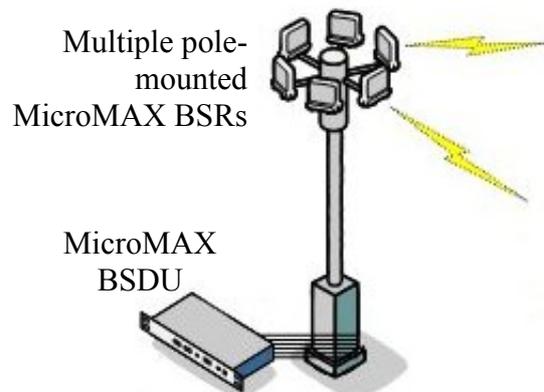


Figure 14: Multiple pole-mounted MicroMAX BSRs connected to a single BSDU

- MicroMAX **BSR** – Base station Radio
- MicroMAX **SDA** – Subscriber Data Adaptor
 - ✓ For single MicroMAX BSR requirements
- MicroMAX **BSDU** – Base station Distribution Unit
 - ✓ Supports up to 7 BRSs
 - ✓ 2 x 1000/100 bT Ethernet ports
 - ✓ 2 x BSDU can be daisy chained to support up to 14 BSRs
 - ✓ Automatic redundancy if one or more BSRs (out of the 7) remains spare
 - ✓ Powered by 3rd party -48v dc supply (with optional redundancy)
 - ✓ 19” rack mounting
- Synchronised Tx/Rx TDD operation between BSRs
 - ✓ Provided by optional GPS antenna

2) EQUIPMENT DESCRIPTION

ProST Subscriber Station Description



Figure 18:ProST

Main Features

- Full Outdoor Non-LOS Deployment
 - ✓ 256 OFDM (and future OFDMA)
- Based on field-proven WipLL SPR mechanics
 - ✓ 4 Years of Deployment and <0.02% returns
- Antenna gain of 15dBi and 18dBi
- Indoor Subscriber Data Adapter
 - ✓ Same as WipLL and AS4020 iST
 - ✓ Provides Power and Interface Termination
 - ✓ Up to 100m between ODU and SDA
 - ✓ CAT5 PoE
- Option of hub or switch with indoor adaptor
- Up to 4 Ports with VLAN port switching
- Integral WiFi AP and VoIP IAD

ProST Operation

The ProST is designed for rapid and simple external operation, to be fitted by trained personnel in less than one hour. This unit is ideal when a specific service level agreement needs to be guaranteed. The ProST will ensure high service availability at enhanced ranges, operating in both LOS and NLOS propagation environments.

2.3) MANAGEMENT OPTION

AS.MAX Management options

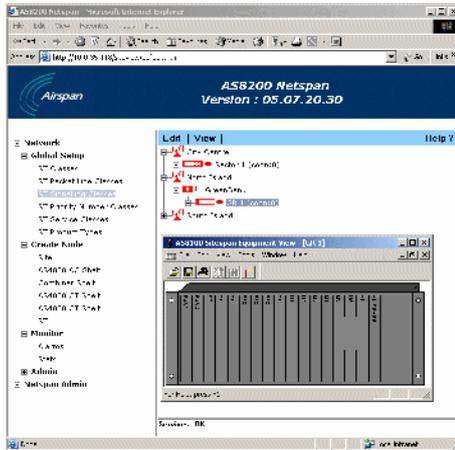
The WiMAX compliant platform supports three management options:

- Local web based client management of individual system components
 - ✓ Used to configure small systems and networks

- Management via third party SNMP management tool
 - ✓ Uses standard WiMAX MIB

- Airspan's Netspan network management server
 - ✓ Already running numerous BWA networks worldwide
 - ✓ Based on platform
 - ✓ Distributed server architecture support
 - ✓ Full system configuration, operation and maintenance via standard web client
 - ✓ SNMP API support
 - ✓ Uses standard WiMAX MIB for all configuration and O&M activities

Netspan NMS Client/Server operation

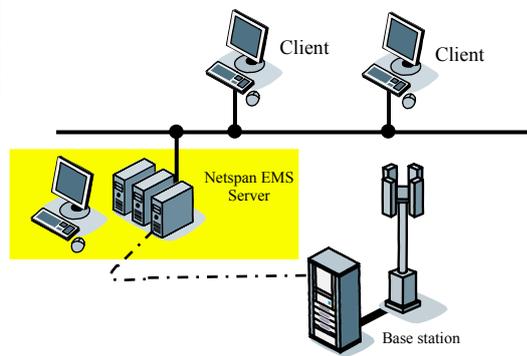


Server

Supports an SQL database for configuration & alarm storage with an option for 3rd party access direct to database via SNMP

Client

Accessed via Internet Explorer or other compatible browser software and connects to the server via IP



ANEXO 3

TARIFAS, VENTAS Y FLUJO DE CAJA

TABLA A3.1						
COSTOS DE MANTENIMIENTO						
MAQUINARIA Y EQUIPO		UNO	DOS	TRES	CUATRO	CINCO
IP ROUTER 3800 CISCO	4,00%	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
ANTENA OMNIDIRECCIONAL	0,00%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ESTACIÓN DE RADIO BASE MICROMAX	4,00%	180,0	180,0	180,0	180,0	180,0
CPE ProST	4,00%	282,0	282,0	282,0	282,0	282,0
TORRES	4,00%	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
PLANTAS DE ENERGÍA	4,00%	224,0	224,0	224,0	224,0	224,0
	SUMA:	6.886,0	6.886,0	6.886,0	6.886,0	6.886,0
MAQUINARIA Y EQUIPO		SEIS	SIETE	OCHO	NUEVE	DIEZ
IP ROUTER 3800 CISCO		6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0	6.000,0
ANTENA OMNIDIRECCIONAL		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ESTACIÓN DE RADIO BASE MICROMAX		180,0	180,0	180,0	180,0	180,0
CPE ProST		282,0	282,0	282,0	282,0	282,0
TORRES		200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
PLANTAS DE ENERGÍA		224,0	224,0	224,0	224,0	224,0
	SUMA	6.886,0	6.886,0	6.886,0	6.886,0	6.886,0

TABLA A3.2					
Ventas Anuales por servicios de voz, video y datos					
CONCEPTO/AÑOS	UNO	DOS	TRES	CUATRO	CINCO
INGRESOS POR VENTAS LOCALES					
INSTALACIÓN INTERNET	\$ 19.740,00	\$ 20.875,05	\$ 22.075,37	\$ 23.344,70	\$ 24.687,02
INTERNET 64 KBPS	\$ 2.160,00	\$ 2.284,20	\$ 2.415,54	\$ 2.554,44	\$ 2.701,32
INTERNET 128 KBPS	\$ 15.000,00	\$ 15.862,50	\$ 16.774,59	\$ 17.739,13	\$ 18.759,13
INTERNET 512 KBPS	\$ 16.800,00	\$ 17.766,00	\$ 18.787,55	\$ 19.867,83	\$ 21.010,23
DATOS 512 KBPS	\$ 406.824,00	\$ 430.216,38	\$ 454.953,82	\$ 481.113,67	\$ 508.777,70
DATOS 1024 KBPS	\$ 680.400,00	\$ 719.523,00	\$ 760.895,57	\$ 804.647,07	\$ 850.914,27
VOZ SOBRE IP	\$ 12.480,00	\$ 13.197,60	\$ 13.956,46	\$ 14.758,96	\$ 15.607,60
VIDEO CONFERENCIAS 512 KBPS	\$ 26.880,00	\$ 28.425,60	\$ 30.060,07	\$ 31.788,53	\$ 33.616,37
ALQUILER DE CPS	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00
TOTAL	\$ 1.219.164,00	\$ 1.287.030,33	\$ 1.358.798,97	\$ 1.434.694,31	\$ 1.514.953,64

TABLA A3.2					
Ventas Anuales por servicios de voz, video y datos					
CONCEPTO/AÑOS	SEIS	SIETE	OCHO	NUEVE	DIEZ
INGRESOS POR VENTAS LOCALES					
INSTALACIÓN INTERNET	\$ 26.106,52	\$ 27.607,65	\$ 29.195,09	\$ 30.873,80	\$ 32.649,05
INTERNET 64 KBPS	\$ 2.856,64	\$ 3.020,90	\$ 3.194,60	\$ 3.378,29	\$ 3.572,54
INTERNET 128 KBPS	\$ 19.837,78	\$ 20.978,46	\$ 22.184,72	\$ 23.460,34	\$ 24.809,31
INTERNET 512 KBPS	\$ 22.218,32	\$ 23.495,87	\$ 24.846,88	\$ 26.275,58	\$ 27.786,42
DATOS 512 KBPS	\$ 538.032,42	\$ 568.969,28	\$ 601.685,02	\$ 636.281,91	\$ 672.868,12
DATOS 1024 KBPS	\$ 899.841,85	\$ 951.582,75	\$ 1.006.298,76	\$ 1.064.160,94	\$ 1.125.350,19
VOZ SOBRE IP	\$ 16.505,04	\$ 17.454,08	\$ 18.457,68	\$ 19.519,00	\$ 20.641,34
VIDEO CONFERENCIAS 512 KBPS	\$ 35.549,31	\$ 37.593,39	\$ 39.755,01	\$ 42.040,93	\$ 44.458,28
ALQUILER DE CPS	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00	\$ 38.880,00
TOTAL	\$ 1.599.827,87	\$ 1.689.582,37	\$ 1.784.497,76	\$ 1.884.870,78	\$ 1.991.015,25

TABLA A.3-3						
Flujo de Caja						
CONCEPTO/AÑOS	CERO	UNO	DOS	TRES	CUATRO	CINCO
+ ingresos de la operación		1219164	1287030,33	1358798,97	1434694,31	1514953,64
- costo de operación		524136,82	61562	61562	71542	71542
- depreciación		174542,674	174542,674	174542,674	174542,674	174542,674
UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACIÓN E IMPUESTOS	0	520484,506	1050925,66	1122694,3	1188609,64	1268868,96
- participación de trabajadores 15% de la utilidad	0	78072,6759	157638,848	168404,145	178291,446	190330,345
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO A LA RENTA	0	442411,83	893286,808	954290,155	1010318,19	1078538,62
- impuesto a la renta 25%	0	110602,958	223321,702	238572,539	252579,549	269634,655
UTILIDAD NETA	0	331808,873	669965,106	715717,616	757738,646	808903,965
+ utilidad venta de activos						
+ depreciación	0	174542,674	174542,674	174542,674	174542,674	174542,674
- valor de la inversión	1763427,61	0	0	0	7050	9400
- capital de trabajo	38371,30027	351,452055	0	0	0	0
+ recuperación del capital de trabajo						
FLUJO DE FONDOS NETOS DEL PROYECTO	-1801798,91	506000,095	844507,78	890260,29	925231,32	974046,639
FLUJO DE FONDOS PURO =(año uno a año diez:)		-1295798,82	844507,78	890260,29	925231,32	974046,639

TABLA A.3-3					
Flujo de Caja					
CONCEPTO/AÑOS	SEIS	SIETE	OCHO	NUEVE	DIEZ
+ ingresos de la operación	1599827,9	1689582,4	1784497,8	1884870,8	3543725,5
- costo de operación	73942	83842	83842	83842	83842
- depreciación	174542,67	174542,67	174542,67	174542,67	174542,67
UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACIÓN E IMPUESTOS	1351343,2	1431197,7	1526113,1	1626486,1	3285340,8
- participación de trabajadores 15% de la utilidad	202701,48	214679,66	228916,96	243972,92	492801,12
UTILIDAD ANTES DEL IMPUESTO A LA RENTA	1148641,7	1216518	1297196,1	1382513,2	2792539,7
- impuesto a la renta 25%	287160,43	304129,51	324299,03	345628,3	698134,93
UTILIDAD NETA	861481,29	912388,53	972897,09	1036884,9	2094404,8
+ utilidad venta de activos					1513987,5
+ depreciación	174542,67	174542,67	174542,67	174542,67	174542,67
- valor de la inversión	0	0	7050	0	1662450
- capital de trabajo	0	0	0	0	0
+ recuperación del capital de trabajo					38722,752
FLUJO DE FONDOS NETOS DEL PROYECTO	1036024	1086931,2	1140389,8	1211427,6	2159207,7
	1036024	1086931,2	1140389,8	1211427,6	2159207,7

GLOSARIO

ACL's	Lista de Control de Acceso
ad-hoc	Tipo de red inalámbrica donde cada estación puede comunicarse con cualquier otra directamente. También conocida como conexión peer to peer.
AES	Estándar de encriptación avanzada.
AP	Punto de Acceso. Dispositivo que sirve de puente entre la red inalámbrica y la red cableada (o una red de distribución también inalámbrica). Puede ser un aparato dedicado o un computador dotado de las respectivas tarjetas de red corriendo el programa apropiado.
ARPU	Ingreso Promedio por Usuario
ARQ	Solicitud de respuesta automática. Mecanismo de corrección de errores.
ARQ	Solicitud de respuesta automática. Mecanismo de corrección de errores.
ATM	Modo Asincrónico de Transmisión. Técnica de transmisión estandarizada por la ITU-T basada en celdas de 53 octetos que contienen la información de enrutamiento. Permite unificar la tecnología de transmisión de voz, datos y video y es la base del estándar B-ISDN.
Bluetooth	Estándar para transmisión inalámbrica a muy corta distancia en la banda de 2,4 GHz.
brecha digital	^[1] Es la diferencia que se establece entre las personas que utilizan las Tecnologías de la Información rutinariamente en su vida diaria y aquéllas que no tienen acceso a las mismas o que, teniéndolo, no saben cómo utilizarlas
BSDU	Unidad de la Estación de radio base de Distribución
BSR	Estación de Radio Base
BWA	Acceso Inalámbrico de Banda ancha.
CA	Corriente Alterna
CALEA	Communications Assistance for Law Enforcement
CCK	En comunicaciones inalámbricas por radio, técnica de modulación que utiliza un conjunto complejo de funciones matemáticas llamadas códigos complementarios para transferir mayor
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código. Método de adjudicación del canal por medio de un código que identifica a cada estación.
CIF	Constituyen la suma de los costos FOB, más un seguro y más el transporte de Estados Unidos a Ecuador
CIR	Carrier to Interference Ratio
CNR	Carrier to Noise Ratio
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
CORPEI	Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones
CPE	Equipo ubicado en la propiedad del usuario.

CSMA/CA	Acceso Múltiple con Sondeo de Portadora y Elusión de Colisión; técnica de control de acceso utilizada principalmente en redes inalámbricas consistente en que cada estación espera un intervalo de tiempo antes de transmitir, luego que percibe que el canal está desocupado.
CTB	Composite Triple Beat
DECT	Estándar ETSI para telefonía sin hilos. Ha sido modificado para permitir también la transmisión de datos. Originalmente solamente para corta distancia, se puede utilizar también como una tecnología de acceso con alcance de varios km. Utilizado en la India y en Brasil para este propósito.
DES	Estándar de Encifrado de Datos. Algoritmo criptográfico diseñado por el National Bureau of Standards para encifrar y descifrar datos.
DFS	Selección Dinámica de Frecuencia. Función que permite una respuesta dinámica a los problemas de interferencia mediante el cambio del canal de operación.
DRS	Dynamic Rate Shifting
DSL	Línea de Abonado Digital
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum, Espectro ensanchado por secuencia pseudoaleatoria
E1	Correspondiente europeo del T1. Se refiere a una tasa de transmisión de 2048 Mbit/s, capaz de acomodar 32 canales PCM de los cuales 30 son para voz y 2 para señalización.
EAP	Protocolo de Autenticación Extensible. Protocolo que soporta múltiples métodos de autenticación.
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
EIRP	Potencia Isotrópica Efectiva Irradiada. en dBm = Potencia a la entrada de la antena [dBm] + Ganancia respecto a una antena isotrópica [dBi]
ESSID cloacking	Service Set Identifier
ETSI	Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones. Cuerpo autónomo que reemplaza al CEPT encargado de escribir los estándares europeos.
FCH	Frame Control Header
FDD	Frequency Division Duplexing
FEC	Corrección de errores en fuente.
FFD	Full Function Device
FHSS	Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia
Firewalls	Elemento de hardware o software utilizado en una red de computadoras para controlar las comunicaciones, permitiéndolas o prohibiéndolas según las políticas de red que haya definido la organización responsable de la red.
FOB	Free on Board - Franco a bordo
FODIN	
FSK	Modulación Binaria de Frecuencia. Técnica de modulación en la cual dos tonos diferentes representan los estados binario "0" ó "1" de la información.
full-duplex	Puede transmitir y recibir información al mismo tiempo
GoS	Grado de Servicio
GPRS	Servicio general de radiocomunicación por paquetes. Mejora de GSM que permite transmitir datos hasta 115 kb/s.

GSM	Estándar para telefonía móvil digital originado en Europa pero difundido en todo el mundo. Es considerado de segunda generación y su camino de evolución hacia la tercera generación es el UMTS.
HCCA	Controlled Channel Access
HCF	Hybrid Coordination Function
hot-spots	Puntos Calientes
HSDPA	Interfaz de aire para telefonía móvil de 3.5 generación que permite datos hasta 14 Mb/s.
HSIA	Acceso a Internet de Alta Velocidad
ICMP	Conjunto de instrucciones de Internet de la capa de red que utilizan los encaminadores y otros equipos en red para detectar la presencia de los demás equipos y compartir información de diagnóstico.
IDC	Tipo de conector donde el aislamiento se perfora durante la inserción.
IEEE	Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas. Organización internacional dedicada al mejoramiento profesional de la especialidad. Entre otras publicaciones, también emite estándares.
IMS	Sistema Multimedia IP
Indoor	Porción interna de un sistema de comunicaciones. Generalmente incluye el módem y a veces la fuente de alimentación.
IP	Número que identifica de manera unívoca una interfaz de red conectada a Internet.
IP PBX	Centralita IP. Dispositivo de la red IP que se encarga de conmutar tráfico telefónico de VoIP.
IPv6	
IR	Espectro Infrarrojo
ISDN	Red Digital de Servicios Integrados.
ISI	Interferencia intersimbólica
ISM	Medico-Científico-Internacional, Grupo de bandas de frecuencia originariamente destinadas a propósitos diferentes a la comunicación que no requieren autorización previa para su uso.
IVA	Impuesto al Valor Agregado
Jitter	Fluctuación. Pequeña variación en el tiempo o en la fase de una señal que puede introducir errores y pérdidas de sincronización en comunicaciones sincrónicas de alta velocidad.
Looks	Enfoques
LOS	Tener Línea de Vista
MAC	Control de Acceso al Medio. Protocolo para control de acceso a un medio según las especificaciones de la IEEE. La subcapa inferior de la capa de enlace de la IEEE, que complementa al protocolo para Control de Enlace Lógico (LLC).
MIMO	Múltiples entradas, múltiples salidas. Técnica para mejorar el rendimiento de un sistema inalámbrico que consiste en utilizar varias antenas en la estación base y en el suscriptor, combinando las señales recibidas con circuitos especiales que permiten extraer la información distribuida entre los diferentes aportes.
MMDS	Servicio de Distribución Multicanal Multipunto.
MODEM	Este término proviene de las palabras Modulador – Demodulador. Equipo que convierte señales digitales en analógicas y viceversa. Los modems se utilizan para enviar datos digitales a través de las redes analógicas como la telefónica (PSTN) o

	en sistemas inalámbricos.
NG-WPAN	Nueva generación de las redes Inalámbricas de Área Personal
NIC	Tarjeta de Red. Tarjeta que permite la conexión de una estación de trabajo a una red.
NLOS	Sin línea de vista. Sistema de radio que no requiere de la existencia de línea de vista entre sus estaciones para operación satisfactoria.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Técnica de transmisión que consiste en utilizar un gran número de subportadoras para transmitir una señal de banda ancha empleando ortogonalidad entre las subportadoras para disminuir la interferencia.
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos
outdoor	Parte de un sistema de comunicaciones expuesta a la intemperie. Generalmente incluye la antena y la sección de RF
PAN	Redes de Área Personal
paths	Múltiples Rutas
PCI	Estándar de bus de 64 bits desarrollado por Intel. para reemplazar al ISA. Soporta la versatilidad del Plug and Play.
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA's	Agenda Personal Digital
PDU	Protocol Data Units
Peer to Peer	Red de pares. Aquella que soporta directamente aplicaciones entre los usuarios sin la mediación de un servidor central. Las más conocidas son las utilizadas para compartir música, programas, películas, etc.
PIB	Producto Interno Bruto
piconets	Redes de corto alcance formada por mínimo 2 y máximo 8 unidades o equipos activos que comparten un canal
PMP	Conexión Punto multi Punto
POS	Espacio Operativo Personal, 10 m alrededor del usuario
POTS	Sistema Telefónico Convencional. Término despectivo para referirse a la telefonía básica, sin ninguna facilidad para servicios especiales.
PSK	Modulación Binaria de Fase. La técnica de en-codificación por modulación de fase empleada por muchos modems.
PSTN's	Red telefónica pública conmutada.
PYMES	Igual a un SME Small and Medium-size Enterprise. PYME Pequeñas y medianas empresas
QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura. Técnica de modulación que utiliza variaciones en la amplitud y de la fase de una portadora sinusoidal para transmitir la información.
QoS	Calidad de Servicio. Mecanismo de priorización de los paquetes que contienen tráfico interactivo (voz y video) respecto a los paquetes de datos.
RC4	Técnica de encriptación asimétrica, está basada en la suposición de que la factorización del producto de dos números primos grandes es computacionalmente difícil.
RFD	Reduced Function Device
RJ11	es una interfaz física usada para conectar redes de teléfono

Roaming	Itinerancia. Situación que se produce cuando una estación móvil se desplaza fuera de su zona de llamada.
Rx	Receptor
Scatternets	Estructura compuesta por varios Piconets
SCSI	Interfaz para sistemas de computación pequeños. Se utiliza principalmente para conexión de CD-ROM.
SDU	Service Date Units
SENATEL	Secretaria Nacional de Telecomunicaciones
SIM	Tarjeta con un circuito integrado que contiene los datos de un suscriptor y la información de facturación y que puede ser transferida de un teléfono a otro utilizada en GSM.
SLA	Acuerdo de nivel de servicio. Garantías que el proveedor ofrece sobre la calidad del servicio que prestará.
SME	Pyme, Pequeñas y Medianas Empresas.
SMS	Servicio que permite la transmisión de mensajes de texto con una longitud máxima de 160 caracteres.
SOFDMA	Escalable OFDM
Softswitch	El Softswitch es el principal dispositivo en la capa de control dentro de una arquitectura NGN (Next Generation Network), encargado de proporcionar el control de llamada (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas, y otros servicios, sobre una red de conmutación de paquetes (IP).
SoHo	Oficina pequeña u oficina en el hogar. Se refiere a los requerimientos de estas oficina en contraposición a los de empresas.
SS	Estación del Abonado
streaming	Transmisión de audio o video en tiempo real sin almacenamiento previo.
SWAP	Shared Wireless Access Protocol
T1	Término norteamericano para una facilidad de portadora digital utilizada para transmitir una señal digital formateada del tipo DS-1 a una velocidad de 1.544 Mbit/s. En Europa se usa una velocidad de 2.048 Mbit/s que se denomina E1.
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Multiplexado por división de tiempo.
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo. Una técnica de transmisión vía satélite en la cual diversas estaciones terrenas tienen acceso al total de la potencia y del ancho de banda del transpondedor, con cada estación transmitiendo secuencialmente y en pequeños trenes de impulsos.
throughput	Una porción de datos transmitidos que contiene información útil y no redundante.
throughput	Rendimiento. Información Útil Transmitida. La porción de los datos transmitidos que contienen información útil y no redundante.
TMAR	Tasa mínima aceptable de rendimiento
Triple Play	integran la telefonía, Internet y la TV.
Tx	Transmisor
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario.
UMTS	Tecnología Móvil de tercera generación que permite transmisión de datos a 2 Mb/s, además de audio y video. Tiene cuatro variantes, todas basadas en CDMA
U-NII	Bandas de frecuencias en 5 GHz asignadas por la FCC para facilitar el acceso a Internet.

USB	Estándar del Bus de Serie Universal
UWB	Transmisión con un ancho de banda que es al menos la cuarta parte de la frecuencia de la portadora, pero a niveles de potencia tan bajos que no debería afectar a otros usuarios de la misma banda de frecuencias.
VoIP	Voz Sobre IP
VPN	Red Privada Virtual construida dentro de un red pública mediante protocolos que reservan su uso a un grupo restringido de usuarios.
WEP	Protocolo de seguridad para redes inalámbricas. Ha sido comprometido y es aconsejable remplazarlo con el WAP.
WiBro	Estándar inalámbrico de banda ancha móvil de Corea del sur establecido en 2006 y alineado con el IEEE 802.16e.
WiFi	Wireless Fidelity. Identificación de los productos que cumplen con el estándar 802.11 y que han sido homologados por la WECA garantizando su interoperabilidad con los de otros fabricantes.
WiMAX	Acceso Inalámbrico por Microondas. Organización de fabricantes de equipos que adhieren al estándar 802.16 que realizará pruebas de compatibilidad y cumplimiento de perfiles específicos.
WiMedia	802.15.3
WISP	Proveedor de acceso a Internet mediante tecnología inalámbrica.
WLAN	Redes Inalámbricas de Área Local
WMAN	Redes Inalámbricas de Área Metropolitana
WWAN	Redes Inalámbricas de Cobertura Mundial
ZigBee	PAN (Personal Area Network) estandarizada por el grupo de trabajo 802.15.4 de la IEEE.

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a

Cordinador de Carrera

Autor

Ing. Gonzalo Olmedo Msc.

Sr. Pablo J.Gamboa V.