

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS, LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES</b>	<b>XVIII</b>
LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES .....	XVIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XXIII
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.1 <i>Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas.</i> .....	1
1.1.2 <i>Espectro de Frecuencias.</i> .....	2
1.1.3 <i>Espectro Radioeléctrico.</i> .....	3
1.1.4 <i>Regulación del Espectro</i> .....	4
1.2 REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA .....	4
1.2.1 <i>Comunicaciones Inalámbricas de Banda Ancha.</i> .....	4
1.3 ESTÁNDARES INALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA .....	5
1.3.1 <i>Estándar IEEE 802.15 – Redes de Área Personal (PAN).</i> .....	6
1.3.2 <i>Estándar IEEE 802.11 – Redes de Área Local (LAN).</i> .....	7
1.3.3 <i>Estándar IEEE 802.16 – Redes de Área Metropolitana (MAN).</i> .....	10
1.3.4 <i>Estándar IEEE 802.20 – Redes de Área Extendida (WAN) .</i> .....	12
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>14</b>
<b>TECNOLOGÍA WIMAX IEEE 802.16.....</b>	<b>14</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.2 WIMAX .....	15
2.2.1 <i>WiMAX Forum.</i> .....	17
2.3 ESTANDARIZACIÓN IEEE 802.16 .....	18
2.3.1 <i>IEEE 802.16 – 2001 .</i> .....	18
2.3.2 <i>IEEE 802.16a.</i> .....	19
2.3.3 <i>IEEE 802.16 – 2004.</i> .....	20
2.3.4 <i>IEEE 802.16e.</i> .....	21
2.4 MODULACIÓN ADAPTATIVA.....	25
2.5 TOPOLOGÍA DE WIMAX .....	25
2.5.1 <i>Topología PTP.</i> .....	25
2.5.2 <i>Topología PMP.</i> .....	26
2.5.3 <i>Backhaul.</i> .....	27
2.5.4 <i>Mesh o Malla.</i> .....	27
2.6 BANDA DE FRECUENCIAS .....	28
2.6.1 <i>Bandas Sin Licencia.</i> .....	28
2.6.2 <i>Bandas Licenciadas.</i> .....	29
2.7 CAPA FÍSICA (PHY) .....	32
2.7.1 <i>WirelessMAN – SC .</i> .....	33
2.7.2 <i>WirelessMAN – Sca .</i> .....	34
2.7.3 <i>WirelessMAN – OFDM (802.16 – 2004).</i> .....	34
2.7.4 <i>WirelessMAN – OFDMA (802.16e)</i> .....	35

2.8	CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC).....	36
2.8.1	Subcapa de Convergencia.....	37
2.8.2	Subcapa de Parte Común.....	38
2.8.3	Subcapa de Seguridad.....	39
2.9	WIMAX EN AMBIENTES LOS Y NLOS.....	40
2.9.1	LOS.....	40
2.9.2	NLOS.....	41
2.10	WIMAX MÓVIL.....	43
2.10.1	Características de WiMAX Móvil.....	44
2.10.2	OFDMA Escalable.....	44
2.10.3	Técnicas de Corrección de Errores.....	49
2.10.4	Antenas inteligentes.....	49
2.10.5	Control de Potencia.....	50
2.10.6	Soporte QoS.....	50
2.10.7	Administración de Movilidad.....	53
2.10.8	Seguridad.....	54
2.11	APLICACIONES.....	54
2.11.1	Backhaul Inalámbrico.....	55
2.11.2	Internet Móvil.....	57
2.11.3	Televisión sobre IP.....	58
2.11.4	Telefonía IP.....	59
2.11.5	Complemento a la Telefonía Celular.....	60
2.11.6	Servicios Inalámbricos Mejor Conectados.....	60
2.12	COMPARACIÓN DE WIMAX MÓVIL FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	61
2.12.1	Wi – Fi.....	61
2.12.2	GSM.....	66
2.12.3	GPRS.....	68
2.12.4	EDGE.....	70
2.12.5	Tecnología 3G.....	71
2.13	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE WIMAX MÓVIL.....	75
2.14	COMPLEMENTARIEDAD DE WIMAX MÓVIL CON WI - FI Y 3G.....	77
2.14.1	WiMAX Móvil & Wi – Fi.....	77
2.14.2	WiMAX Móvil & 3G.....	80
2.15	INTEROPERABILIDAD.....	80
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>82</b>
<b>INTEGRACIÓN DE SERVICIOS.....</b>		<b>82</b>
3.1	INTRODUCCIÓN.....	82
3.2	REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN).....	82
3.2.1	Conmutación de circuitos y de paquetes.....	83
3.2.2	Tendencia IP.....	85
3.2.3	Fenómeno del Internet.....	86
3.2.4	Visiones del concepto de NGN.....	87
3.2.5	Características de una NGN.....	89
3.2.6	Beneficios de una NGN.....	89
3.2.7	Evolución de una NGN.....	90
3.3	ARQUITECTURA DE UNA NGN.....	90

3.3.1	<i>Capa de Servicio</i> .....	91
3.3.2	<i>Capa de Conectividad y Transporte</i> .....	92
3.3.3	<i>Capa de Acceso</i> .....	92
3.3.4	<i>Capa de Gestión</i> .....	92
3.4	COMPONENTES DE LA ARQUITECTURA DE UNA NGN.....	92
3.4.1	<i>Softswitch</i> .....	93
3.5	PROTOCOLOS UTILIZADOS EN UNA NGN.....	94
3.5.1	<i>Protocolo SIP</i> .....	95
3.5.2	<i>RTP Y RTCP para el Transporte de Voz y Video</i> .....	96
3.5.3	<i>Protocolo RSVP</i> .....	97
3.5.4	<i>Protocolo IP</i> .....	97
3.6	SERVICIOS SOPORTADOS POR UNA NGN.....	99
3.6.1	<i>Servicios de Voz</i> .....	99
3.6.2	<i>Servicios de Datos</i> .....	99
3.6.3	<i>Servicios Multimedia</i> .....	99
3.7	VENTAJAS DE UNA NGN SOBRE OTRAS REDES.....	100
3.7.1	<i>Ventajas de una NGN sobre PSTN</i> .....	100
3.7.2	<i>Ventajas de una NGN sobre las Redes IP Tradicionales</i> .....	102
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>105</b>
<b>DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA WIMAX MÓVIL.....</b>		<b>105</b>
4.1	INTRODUCCIÓN.....	106
4.2	ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	107
4.2.1	<i>Requerimientos de Usuarios</i> .....	108
4.2.2	<i>Requerimientos de Aplicaciones</i> .....	109
4.2.3	<i>Requerimientos de Arquitectura</i> .....	110
4.2.4	<i>Requerimientos Regulatorios</i> .....	110
4.3	ARQUITECTURA DE LA RED WIMAX MÓVIL.....	111
4.4	INFRAESTRUCTURA RAN WIMAX.....	112
4.4.1	<i>Estación Base (BS)</i> .....	113
4.4.2	<i>Sistema de Antenas Adaptativo (AAS)</i> .....	118
4.4.3	<i>Controlador de Acceso a WiMAX (WAC)</i> .....	123
4.4.4	<i>Centro de Operación y Mantenimiento (OMC)</i> .....	132
4.4.5	<i>Unidades de Suscriptor</i> .....	136
4.5	INTERCONEXIÓN DE LA RAN WIMAX CON REDES EXTERNAS.....	138
4.6	SEGMENTACIÓN DE TRÁFICO.....	139
4.7	DISEÑO DE CELDAS.....	141
4.7.1	<i>Pérdidas de trayectoria</i> .....	141
4.7.2	<i>Cálculo del presupuesto del enlace (Link Budget)</i> .....	147
4.7.3	<i>Margen de desvanecimiento (FM)</i> .....	148
4.7.4	<i>Confiabilidad (R)</i> .....	150
4.8	UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES.....	152
4.9	TOPOLOGÍA DE LA RED.....	158
4.10	ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LAS ZONAS.....	160
4.10.1	<i>Enlace Central Andinatel – La Academia</i> .....	160
4.10.2	<i>Enlace Central Andinatel – Club Los Chillos</i> .....	163
4.11	ÁREAS DE COBERTURA.....	167
4.11.1	<i>Estación La Academia</i> .....	168
4.11.2	<i>Estación Central Andinatel de Sangolquí</i> .....	168
4.11.3	<i>Estación “Club Los Chillos”</i> .....	169

<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>174</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>174</b>
5.1 INTRODUCCIÓN .....	174
5.2 COSTOS DE LA RED WIMAX MÓVIL .....	174
5.2.1 Costos de los equipos para RAN WiMAX.....	175
5.2.2 Costos de los equipos microondas. ....	177
5.2.3 Costos de las unidades de suscriptor. ....	177
5.2.4 Costo por Software y licencias. ....	178
5.2.5 Costos de infraestructura por obra civil. ....	179
5.2.6 Costos de transportación, instalación y operación. ....	179
5.2.7 Costos por la concesión de título habilitante y por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. ....	180
5.2.8 Costos por pago de sueldos. ....	184
5.2.9 Costos varios e imprevistos. ....	185
5.2.10 Costo total inicial para la implementación del proyecto. ....	185
5.2.11 Costos por venta de equipos de usuario .....	186
5.2.12 Costos por comercialización de servicio.....	186
5.3 FLUJO DE CAJA.....	187
5.4 INDICADORES DE RENTABILIDAD.....	190
5.4.1 VAN.....	190
5.4.2 TIR. ....	192
5.4.3 Relación Costo/Beneficio . ....	193
5.4.4 Período de recuperación de la inversión. ....	194
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>196</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>196</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>201</b>
ANEXO 1 .....	202
REPORTE TÉCNICO DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y PARÁMETROS DE TX/RX DE LAS RADIO BASES.....	202
ANEXO 2.....	204
EMPLAZAMIENTOS DE LAS RADIO BASES .....	204
ANEXO 3.....	208
REPORTE TÉCNICO DE LOS ENLACES MICROONDAS.....	208
ANEXO 4.....	211
DESPLIEGUE DE COBERTURA .....	211
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>214</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

TABLA. 1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	3
TABLA. 1.2. ESTÁNDARES DE LA FAMILIA IEEE 802.16.....	11

### CAPÍTULO 2

TABLA. 2.1. REDES WiMAX vs. REDES CABLEADAS .....	17
TABLA. 2.2. VERSIONES DE LOS ESTÁNDARES PARA WiMAX .....	23
TABLA. 2.3. PERFILES CERTIFICADOS INICIALMENTE.....	31
TABLA. 2.4. PERFILES A CERTIFICAR EN BREVE .....	32
TABLA. 2.5. CAPA FÍSICA (PHY).....	33
TABLA. 2.6. PARÁMETROS PRINCIPALES DE SOFDMA .....	46
TABLA. 2.7. CATEGORÍAS DE QoS Y APLICACIONES DE WiMAX MÓVIL .....	52
TABLA. 2.8. CLASES DE APLICACIONES WiMAX.....	55
TABLA. 2.9. CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR 802.11 .....	63
TABLA. 2.10. ESTÁNDARES COMPLEMENTARIOS AL IEEE 802.11 .....	63
TABLA. 2.11. COMPARACIÓN ENTRE WI-FI Y WiMAX MÓVIL .....	66
TABLA. 2.12. COMPARACIÓN ENTRE GSM Y WiMAX MÓVIL .....	68
TABLA. 2.13. COMPARACIÓN ENTRE GPRS Y WiMAX MÓVIL.....	70
TABLA. 2.14. COMPARACIÓN ENTRE EDGE Y WiMAX MÓVIL .....	71
TABLA. 2.15. COMPARACIÓN ENTRE CDMA2000 Y WiMAX MÓVIL.....	73
TABLA. 2.16. COMPARACIÓN ENTRE UMTS Y WiMAX MÓVIL.....	74

### CAPÍTULO 4

TABLA. 4.1. ANCHO DE BANDA DEL CANAL Y TAMAÑO FFT .....	115
TABLA. 4.2. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE ACUERDO A LA MODULACIÓN Y ANCHO DE BANDA DEL CANAL.....	116
TABLA. 4.3. SENSIBILIDAD DE RECEPCIÓN DE LA BS.....	116
TABLA. 4.4. DIMENSIONES DE LA BS.....	118
TABLA. 4.5. DIMENSIONES DEL WAC .....	127
TABLA. 4.6. DEFINICIÓN DE LOS USOS PARA LOS ESCENARIOS DE MOVILIDAD.....	129
TABLA. 4.7. DISTRIBUCIÓN DE CLIENTES DE ACUERDO A LA VELOCIDAD CONTRATADA.....	141
TABLA. 4.8. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE.....	144
TABLA. 4.9. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS PÉRDIDAS POR DIFRACCIÓN AZOTEA A CALLE .....	145
TABLA. 4.10. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS PÉRDIDAS POR MULTI-PANTALLA.....	146
TABLA. 4.11. RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE LA POTENCIA RECIBIDA EN EL RECEPTOR .....	148
TABLA. 4.12. RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DEL FM .....	149
TABLA. 4.13. RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA.....	151
TABLA. 4.14. RESULTADOS OBTENIDOS DEL CÁLCULO DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA .....	152
TABLA. 4.15. PUNTOS GEOGRÁFICOS DE LAS RADIO BASES ESCOGIDAS .....	154
TABLA. 4.16. PARÁMETROS DE RADIO BASE.....	157
TABLA. 4.17. ALTURA MÍNIMA DE LAS ANTENAS MICROONDAS .....	167

TABLA. 4.18. RANGO DE SEÑAL GENERADA .....	170
--	-----

## CAPÍTULO 5

TABLA. 5.1. COSTOS REFERENCIALES DE LA INFRAESTRUCTURA ALCATEL 9100 EVOLIUM® WiMAX .....	176
TABLA. 5.2. COSTOS REFERENCIALES PARA LOS ENLACES MICROONDAS .....	177
TABLA. 5.3. COSTOS REFERENCIALES DE LAS UNIDADES DE SUSCRIPTOR ZYXEL .....	178
TABLA. 5.4. COSTO REFERENCIAL DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE DE GESTIÓN.....	179
TABLA. 5.5. COSTOS DE INFRAESTRUCTURA POR OBRA CIVIL .....	179
TABLA. 5.6. COSTOS DE TRANSPORTACIÓN, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN .....	180
TABLA. 5.7. COSTO MENSUAL POR EL USO DE FRECUENCIA CON EL EQUIPAMIENTO ALCATEL 9100 EVOLIUM® WiMAX.....	183
TABLA. 5.8. COSTOS REFERENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	185
TABLA. 5.9. COSTOS REFERENCIALES PARA VENTA DE LAS UNIDADES DE SUSCRIPTOR ZYXEL .....	186
TABLA. 5.10. COSTOS ESTIMADOS POR COMERCIALIZACIÓN DE SERVICIO .....	187
TABLA. 5.11. COSTOS ESTIMADOS POR COMERCIALIZACIÓN DE SERVICIO PARA LOS PRÓXIMOS 5 AÑOS .....	187
TABLA. 5.12. FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO WiMAX MÓVIL .....	189
TABLA. 5.13. VALOR ACTUAL NETO DEL PROYECTO WiMAX MÓVIL .....	192
TABLA. 5.14. TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO WiMAX MÓVIL.....	193
TABLA. 5.15. RELACIÓN COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO WiMAX MÓVIL .....	194
TABLA. 5.16. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.....	194

## ANEXOS

TABLA. A1.1. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE LAS RADIO BASES EN EL SECTOR DE SANGOLQUÍ.....	203
TABLA. A3.1. ENLACE MICROONDAS “CENTRAL ANDINATEL DE SANGOLQUÍ – LA ACADEMIA” .....	209
TABLA. A3.2. ENLACE MICROONDAS “CENTRAL ANDINATEL DE SANGOLQUÍ – CLUB LOS CHILLOS” .....	210
TABLA. A4.1. DESPLIEGUE DE COBERTURA EN EL SECTOR DE SANGOLQUÍ.....	212

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

FIGURA. 1.1. POSICIONAMIENTO DE LOS ESTÁNDARES INALÁMBRICOS.....	6
FIGURA. 1.2. RED DE ÁREA PERSONAL (PAN) .....	7
FIGURA. 1.3. RED DE ÁREA LOCAL (LAN).....	8
FIGURA. 1.4. RED DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS (WLAN).....	9
FIGURA. 1.5. RED DE ÁREA METROPOLITANA (MAN) .....	10
FIGURA. 1.6. RED DE ÁREA EXTENDIDA (WAN).....	13

### CAPÍTULO 2

FIGURA. 2.1. LOGOTIPO WiMAX.....	17
FIGURA. 2.2. SISTEMA WiMAX IEEE 802.16 – 2004.....	21
FIGURA. 2.3. SISTEMA WiMAX IEEE 802.16E .....	22
FIGURA. 2.4. ESTÁNDARES IEEE 802.16 - 2004 E IEEE 802.16E .....	24
FIGURA. 2.5. MODULACIÓN ADAPTATIVA .....	25
FIGURA. 2.6. TOPOLOGÍA PTP .....	26
FIGURA. 2.7. TOPOLOGÍA PMP .....	26
FIGURA. 2.8. TOPOLOGÍA BACKHAUL.....	27
FIGURA. 2.9. TOPOLOGÍA MESH O MALLA.....	28
FIGURA. 2.10. BANDAS DE FRECUENCIAS DISPONIBLES PARA WiMAX.....	30
FIGURA. 2.11. TDD .....	30
FIGURA. 2.12. FDD .....	31
FIGURA. 2.13. SISTEMA MONOPORTADORA VS. MULTIPORTADORA.....	34
FIGURA. 2.14. SUBPORTADORA OFDMA .....	35
FIGURA. 2.15. PROPAGACIÓN LOS .....	41
FIGURA. 2.16. PROPAGACIÓN NLOS .....	42
FIGURA. 2.17. UBICACIÓN DE CPE PARA LOS Y NLOS .....	43
FIGURA. 2.18. MODIFICACIONES DE WiMAX MÓVIL FRENTE A WiMAX FIJO .....	43
FIGURA. 2.19. PHY WIRELESSMAN – OFDMA.....	45
FIGURA. 2.20. ESTRUCTURA DE LA TRAMA PARA WiMAX MÓVIL.....	47
FIGURA. 2.21. PROCESO DE HANDOVER .....	53
FIGURA. 2.22. SOPORTE DE HANDOVER .....	54
FIGURA. 2.23. BACKHAUL INALÁMBRICO.....	56
FIGURA. 2.24. INTERNET MÓVIL.....	57
FIGURA. 2.25. TELEVISIÓN SOBRE IP .....	58
FIGURA. 2.26. TELEFONÍA IP .....	59
FIGURA. 2.27. WiMAX COMO BACKHAUL DE LOS OPERADORES MÓVILES CELULARES .....	60
FIGURA. 2.28. SERVICIOS INALÁMBRICOS MEJOR CONECTADOS.....	61
FIGURA. 2.29. LOGOTIPO WI-FI.....	62
FIGURA. 2.30. VELOCIDADES Y ALCANCES DE LOS ESTÁNDARES IEEE 802.11A, B, G .....	62
FIGURA. 2.31. COMPARACIÓN ENTRE 3G Y WiMAX MÓVIL.....	75
FIGURA. 2.32. POSICIONAMIENTO DE WiMAX MÓVIL FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS.....	75
FIGURA. 2.33. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS .....	77
FIGURA. 2.34. ENTORNO WiMAX & WI-FI.....	78
FIGURA. 2.35. WiMAX MÓVIL COMO RED DE TRANSPORTE PARA WI-FI.....	79
FIGURA. 2.36. TERMINAL WiMAX COMPATIBLE CON WI-FI.....	79

FIGURA. 2.37. MODELO COMPLEMENTARIO DE WiMAX MÓVIL CON 3G.....	80
FIGURA. 2.38. COMPLEMENTARIEDAD ENTRE WiMAX, 3G Y WI-FI.....	81

### CAPÍTULO 3

FIGURA. 3.1. RED MULTISERVICIO .....	85
FIGURA. 3.2. MODELOS DE PROVISIÓN DE SERVICIOS .....	86
FIGURA. 3.3. FENÓMENO DEL INTERNET EN EL CONCEPTO NGN .....	87
FIGURA. 3.4. NGN RELACIONADO CON INTERNET .....	88
FIGURA. 3.5. CAPAS DE NGN .....	91
FIGURA. 3.6. LLAMADA SIP .....	96
FIGURA. 3.7. SERVICIOS DE NGN .....	100
FIGURA. 3.8. RED NGN COMPLEMENTADA CON INTERNET .....	104

### CAPÍTULO 4

FIGURA. 4.1. RED WiMAX CON INFRAESTRUCTURA E2E .....	111
FIGURA. 4.2. SOLUCIÓN RAN WiMAX.....	113
FIGURA. 4.3. ESTACIÓN BASE WiMAX .....	113
FIGURA. 4.4. ANTENA DE SINCRONIZACIÓN GPS.....	115
FIGURA. 4.5. INTERFACES DE LA BS .....	117
FIGURA. 4.6. CONEXIÓN DE LAS INTERFACES .....	118
FIGURA. 4.7. ARREGLO DE DIPOLOS PARA ANTENAS INTELIGENTES.....	119
FIGURA. 4.8. ANTENA FORMA DE HAZ ADAPTATIVO .....	120
FIGURA. 4.9. ANTENAS MIMO.....	120
FIGURA. 4.10. PROTOTIPOS DE ANTENA .....	121
FIGURA. 4.11. CONECTORIZACIÓN DE ANTENAS .....	122
FIGURA. 4.12. ESQUEMA DE BSS CON ANTENAS SECTORIALES .....	122
FIGURA. 4.13. WAC EN EL ENTORNO RAN .....	123
FIGURA. 4.14. MÓDULO WAC.....	125
FIGURA. 4.15. SWITCH LAN.....	125
FIGURA. 4.16. SERVIDOR WAC.....	126
FIGURA. 4.17. FUNCIONAMIENTO DEL WAC EN LA RAN.....	126
FIGURA. 4.18. TUNNELING ENTRE HA, WAC Y BSS .....	129
FIGURA. 4.19. MOVILIDAD INTRA - WAC .....	132
FIGURA. 4.20. CENTRO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OMC) .....	133
FIGURA. 4.21. SERVIDOR NETRA 440 .....	133
FIGURA. 4.22. GESTIÓN DE LA RED: CENTRALIZADA Y LOCAL .....	135
FIGURA. 4.23. BLOQUES FUNCIONALES DEL RAN WiMAX .....	136
FIGURA. 4.24. CPE INDOOR - OUTDOOR.....	137
FIGURA. 4.25. TARJETA PCMCIA .....	137
FIGURA. 4.26. CONFIGURACIÓN GENERAL DEL RAN WiMAX.....	138
FIGURA. 4.27. INTERCONEXIÓN DE LA RAN CON REDES EXTERNAS .....	139
FIGURA. 4.28. PARÁMETROS DEL MODELO COST 231 WALFISH - IKEGAMI .....	143
FIGURA. 4.29. ORIENTACIÓN DE LA CALLE CON RESPECTO AL RAYO DIRECTO.....	145
FIGURA. 4.30. ESQUEMA DE PRESUPUESTO DE ENLACE.....	147
FIGURA. 4.31. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS RADIO BASES .....	155
FIGURA. 4.32. SECTORIZACIÓN DE LAS BS .....	158
FIGURA. 4.33. TOPOLOGÍA DE RED PMP.....	159

FIGURA. 4.34. BACKBONE MICROONDAS.....	160
FIGURA. 4.35. UBICACIÓN GEOGRÁFICA CENTRAL ANDINATEL – LA ACADEMIA .....	161
FIGURA. 4.36. DIAGRAMA DEL ENLACE CENTRAL ANDINATEL – LA ACADEMIA .....	161
FIGURA. 4.37. ENLACE CENTRAL ANDINATEL – LA ACADEMIA .....	162
FIGURA. 4.38. UBICACIÓN GEOGRÁFICA CENTRAL ANDINATEL – CLUB LOS CHILLOS .....	164
FIGURA. 4.39. DIAGRAMA DEL ENLACE CENTRAL ANDINATEL – CLUB LOS CHILLOS .....	164
FIGURA. 4.40. ENLACE CENTRAL ANDINATEL – CLUB LOS CHILLOS .....	165
FIGURA. 4.41. ÁREA DE COBERTURA “LA ACADEMIA” .....	168
FIGURA. 4.42. ÁREA DE COBERTURA “CENTRAL ANDINATEL DE SANGOLQUÍ” .....	169
FIGURA. 4.43. ÁREA DE COBERTURA “CLUB LOS CHILLOS” .....	169
FIGURA. 4.44. RELACIÓN VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN – DISTANCIA DESDE LA BS.....	171
FIGURA. 4.45. ÁREA DE COBERTURA EN EL SECTOR DE SANGOLQUÍ .....	172
FIGURA. 4.46. RED WIMAX MÓVIL EN EL SECTOR DE SANGOLQUÍ .....	173

## CAPÍTULO 5

FIGURA. 5.1. FLUJO DE CAJA .....	190
----------------------------------	-----

## ANEXOS

FIGURA. A2.1. ESTACIÓN “LA ACADEMIA” .....	205
FIGURA. A2.2. ESTACIÓN “CENTRAL ANDINATEL DE SANGOLQUÍ” .....	206
FIGURA. A2.3. ESTACIÓN “CLUB LOS CHILLOS” .....	207

## GLOSARIO DE TÉRMINOS, LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

### LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

AAA	Authorization, Authentication, Accounting	Autorización, Autenticación, Administración
AAS	Antenna Adaptive System	Sistema Adaptativo de Antenas
AES	Advanced Encryption Standard	Estándar de Encriptación Avanzada
ARQ	Automatic Repeat ReQuest	Petición de Búsqueda Automática
BER	Bit Error Rate	Tasa de Bits Errados
BS	Base Station	Estación Base
BWA	Broadband Wireless Access	Acceso Inalámbrico de Banda Ancha
CDMA	Code Division Multiplexing Access	Acceso Múltiple Por División de Código
CID	Connection Identifier	Identificador de Conexión
CoS	Class of Service	Clase de Servicio
CPE	Customer Personal Equipment	Equipo Personal de Usuario
DC	Data Carrier	Portadora de Datos
DES	Data Encryption Standard	Estándar de Encriptación de Datos
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Protocolo de Configuración Dinámica de Usuario
DNS	Domain Name Service	Servicio de Dominio de Nombre

DSP	Digital Signal Processor	Procesador Digital de Señales
EAP	Extensible Authentication Protocol	Protocolo de Autenticación Extensiva
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution	Evolución Global Mejorada Para Tasa de Datos
E2E	Extreme To Extreme	Extremo A Extremo
FDD	Frequency Division Duplexion	Duplexión por División de Frecuencia
FEC	Forward Error Correction	Técnica de Corrección de Errores
FFT	Fast Fourier Transform	Transformada Rápida de Fourier
FM	Fading Margin	Margen de Desvanecimiento
FUSC	Fully Used Subchannelization	Subcanalización Usada Completamente
FW	Firewall	Cortafuegos
GPRS	General Packet Radio Service	Servicio General de Paquete por Radio
GPS	Global Positioning System	Sistema de Posicionamiento Global
GRE	Generic Routing Encapsulation	Encapsulación de Ruteo Genérico
GSM	Global System for Mobile Communication	Sistema Global de Comunicaciones Móviles
HA	Home Agent	Agente Local
H-ARQ	Hybrid Automatic Repeat ReQuest	Petición de Búsqueda Automática Híbrida
HSI	High Speed Internet	Internet de Alta Velocidad
IDU-ODU	Indoor-Outdoor	Interior-Exterior

IEEE	Institute of Electrical and Electronic	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IP	Internet Protocol	Protocolo Internet
IPv4	Internet Protocol version 4	Protocolo Internet versión 4
LAN	Local Area Network	Red de Área Local
LMT	Local Management Terminal	Terminal de Administración local
MAC	Medium Access Control	Control de Acceso al Medio
MAN	Metropolitan Area Network	Red de Área Metropolitana
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Múltiple Entrada Múltiple Salida
MIP	Mobile Internet Protocol	Protocolo Internet Móvil
MS	Mobile Station	Estación Móvil
NEM	Network Element Manager	Administrador de Elemento de Red
NGN	Next Generation Network	Red de Próxima Generación
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Multiplexación por Division Orotogonal de Frecuencia
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Acceso Múltiple por División Orotogonal de Frecuencia
OMC	Operation & Maintenance Center	Centro de Operación y Mantenimiento
PAN	Personal Area Network	Red de Área Personal
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association	Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria para Computador Personal

PDU	Protocol Data Unit	Protocolo de Unidad de Datos
PKM	Protocol Key Management	Protocolo de Administración de Claves
PMP	Point Multi Point	Punto Multi Punto
PSTN	Public Switched Telephone Network	Red Conmutada Telefónica Pública
PUSC	Paritally Used Sub-Carrier	Subcanalización Usada Parcialmente
PTP	Point To Point	Punto A punto
QoS	Quality of Service	Calidad de Servicio
R	Reliability	Confiabilidad
RAN	Radio Access Network	Red Acceso Radio
RSVP	Resource ReSerVation Protocol	Protocolo de Reservación de Recursos
RTCP	Real Time Control Protocol	Protocolo de Control en Tiempo Real
RTG	Receive Transition Gap	Brecha de Transición para Recepción
RTP	Real Time Protocol	Protocolo de Tiempo Real
SBC	Session Border Controller	Controlador de Sesión de Frontera
SIP	Session Initiation Protocol	Protocolo de Iniciación de Sesión
SMS	Short Message Service	Servicio de Mensajes Cortos
SOFDMA	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Acceso Múltiple Por División de Frecuencia Ortogonal Escalable
SS	Suscriber Station	Estación Suscriptora
TCP	Transmission Control Protocol	Protocolo de Control de Transmisión

TDD	Time Division Duplexion	Duplexión por División de Tiempo
TTG	Transmit Transition Gap	Brecha de Transición para Transmisión
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Sistema Universal de Comunicaciones Móviles
VLAN	Virtual Local Area Network	Red Virtual de Área Local
VoIP	Voice over IP	Voz Sobre IP
VPN	Virtual Private Network	Red Privada Virtual
WAC	WiMAX Access Controller	Controlador de Acceso a WiMAX
WAN	Wide Area Network	Red de Area Extendida
WEP	Wireless Equivalent Privacy	Privacidad Inalámbrica Equivalente
WiBRO	Wireless Broadband	Banda Ancha Inalámbrica
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Fidelidad Inalámbrica
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Interoperabilidad Mundial Para Acceso Microondas
WISP	Wireless Internet Service Provider	Proveedor Inalámbrico de Servicio de Internet
WLAN	Wireless Local Area Network	Red Inalámbrica de Área Local

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).** Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado, siempre y cuando el alcance no supere los 5,5 km. medidos desde la Central Telefónica.

**AOL (America On Line).** Proveedor estadounidense de medios y servicios de acceso a Internet con sede en Nueva York.

**AP (Access Point).** Dispositivo que interconecta a otros dispositivos de comunicación inalámbrica para formar una red inalámbrica. Recibe la información, la almacena y la transmite entre la WLAN y la LAN.

**ATM (Asynchronous Transfer Mode).** Sistema de transferencia de información de conmutación de paquetes de tamaño fijo con alta carga, utilizados en banda ancha para aprovechar completamente una línea y soporta velocidades de hasta 1,2 GB.

**BPSK (Binary Phase Shift Keying).** Técnica de modulación que emplea solo 2 símbolos, con 1 bit de información cada uno. Es también la que presenta mayor inmunidad al ruido, puesto que la diferencia entre símbolos es máxima ( $180^\circ$ ). Dichos símbolos suelen tener un valor de salto de fase de  $0^\circ$  para el 1 y  $180^\circ$  para el 0. Su velocidad de transmisión es la más baja de las modulaciones de fase.

**Broadcast.** Técnica utilizada para enviar paquetes de datos de manera simultánea a todos los dispositivos de un segmento de red.

**Cable Módem.** Acceso a una señal digital enviada sobre la infraestructura de televisión por cable. Principalmente es utilizada para distribuir el acceso a Internet, tomando ventaja del ancho de banda no utilizada en la red de televisión de cable precisamente.

**CDMA (Code Division Multiplexing Access).** Tecnología que utiliza espectro ensanchado para manejar comunicaciones de radio, asigna un código a cada llamada

(que es conocido por el teléfono celular y por la radio base), y permite la agrupación de múltiples llamadas en una sola frecuencia.

**Check List.** Informe técnico en donde se detalla y concluye la factibilidad de desplegar nuevo equipamiento en base a los datos estudiados en el Site Survey.

**CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones).** Organismo estatal desconcentrado que ejecuta, mediante la regulación y coordinación, la política de Telecomunicaciones, concretamente en la República del Ecuador.

**DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).** Técnica de modulación que genera una forma de señal resultante muy parecida a la del ruido, por lo que a todos los radorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal. Está definido por la IEEE en el estándar 802.11 para redes de área local inalámbricas WLAN.

**E1.** Formato de transmisión digital lleva datos en una tasa de 2,048 Mbps y puede llevar 32 canales de 64 Kbps \* cada uno.

**Ethernet.** Redes que permiten distribuir datos a través de un solo cable por lo que necesitan de un protocolo especial que evite la colisión de los paquetes de datos, ya que se permite el envío de un solo paquete al mismo tiempo, encargándose el protocolo de su reenvío en caso de la colisión de ambos. Se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3.

**Ethernet sobre SDH.** Surge debido a la necesidad cada vez mayor por desplegar LANs Gigabit Ethernet, para lo cual se integran redes SDH, y de esta forma alcanzar mayores distancias que pueden ir entre los 10 y 40 Km.

**Ethernet 10/100 BaseT.** Estándares que ofrecen una velocidad de transmisión de 10/100 Mbps respectivamente.

**Fan Shelf.** Estante y conjunto de ventiladores para evitar el sobrecalentamiento de módulos y equipos internos en una BTS (Base Transceiver Station).

**FEC (Forward Error Correction).** Tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original.

**Frame Relay.** Técnica de comunicación mediante retransmisión de tramas. Consiste en una forma simplificada de tecnología de conmutación de paquetes que transmite una variedad de tamaños de tramas o *frames* para datos, perfecto para la transmisión de grandes cantidades de datos.

**Frequency Hopping.** Es una técnica que combina la multiplexación por división de tiempo y la multiplexación por división de frecuencia, que permite a un usuario utilizar diferentes frecuencias en slots de tiempo diferentes.

**FTP (File Transfer Protocol).** Protocolo de transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP basado en la arquitectura cliente-servidor, de manera que desde un equipo cliente se puede conectar a un servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos propios independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo.

**GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).** Tipo de modulación de fase, similar a MSK. Esto puede ser visualizado en un diagrama I/Q que muestra los componentes real (I) e imaginario (Q) de la señal transmitida.

**Google Earth.** Programa informático que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas conjuntamente con el motor de búsqueda de Google.

**GPS (Global Positioning System).** Tecnología que permite la localización vía satélite de un punto concreto, indicando la posición con alta exactitud.

**Handover.** Sistema utilizado en comunicaciones móviles con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

**Home Networking.** Permite que múltiples computadores puedan compartir archivos, impresoras y conexión a Internet.

**Hotspot.** Zona de cobertura Wi-Fi, en el que uno o varios access point o varios proveen servicios de red a través de un Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico (WISP). Este servicio permite mantenerse conectado a Internet principalmente en lugares públicos.

**iChat.** Programa cliente de mensajería instantánea que se incluye en las últimas versiones del sistema operativo Mac OS X desarrollado por Apple Computers Inc. Una vez establecida la conexión, uno puede comunicarse con otras personas y permite establecer conversaciones de texto, audio y video.

**Instant Messenger.** Programa de mensajería instantánea de America On Line. La popularidad de la herramienta varía, y suele ubicarse en el tercer lugar de uso, después del Windows Live Messenger de Microsoft y del Yahoo! Messenger de Yahoo! respectivamente.

**Internet.** Conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas, que utilizan la familia de protocolos TCP/IP, garantizando que las redes físicas heterogéneas que la componen funcionen como una red lógica única, de alcance mundial.

**ISP (Internet Service Provider).** Compañía dedicada a ofrecer acceso a Internet a sus clientes. Específicamente, puede proveer desde enlaces dial up hasta enlaces dedicados de muy alta velocidad. Adicionalmente, los ISP suelen ofrecer servicios adicionales tales como desarrollo y mantenimiento de sitios web, cuentas de correo electrónico, entre otros.

**Jitter.** Variación en la cantidad de latencia entre paquetes de datos recibidos.

**Link Budget.** Cálculo definitivo entre todas las ganancias y pérdidas del transmisor, a través del medio (en el espacio libre, guía de onda, fibra óptica, entre otros), al receptor en un sistema de comunicaciones.

**Modem.** Dispositivo que sirve para modular y demodular (en amplitud, frecuencia, fase u otro sistema) una señal llamada portadora mediante otra señal de entrada llamada moduladora.

**MPLS (Multiprotocol Label Switching).** Mecanismo de transporte de datos que opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OSI. Fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes. Puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y de paquetes IP.

**Multicast.** Tipo de comunicación que intercambia información entre un único emisor y varios receptores en una red de datos.

**PBX (Private Branch Exchange).** Es cualquier central telefónica conectada directamente a la red pública de teléfono por medio de líneas troncales para gestionar, además de las llamadas internas, las entrantes y/o salientes con autonomía sobre cualquier otra central telefónica. Este dispositivo generalmente pertenece a la empresa que lo tiene instalado, y no a la compañía telefónica.

**PDU (Protocol Data Units).** Se utiliza para el intercambio entre unidades parejas, dentro una capa del modelo OSI.

**POTS (Plain Operator Telephone Services).** Servicio telefónico estándar de voz analógico (no digital) que utiliza hilos de cobre. Transfiere entre las frecuencias de 300 y 3400 Hz (suficiente para la voz humana). Un POTS se limita a 56 kbps.

**Proxy.** Programa o dispositivo que realiza una acción en representación de otro.

**PSTN (Public Switched Telephone Network).** Se refiere a la red de telefonía pública, la cual es usada principalmente para transportar señales analógicas de voz.

**QAM (Quadrature Amplitude Modulation).** Modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras. Estas portadoras tienen igual frecuencia pero están desfasadas  $\pi/2$  rad entre si. Se utiliza para la

transmisión de datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido, ya que el ancho de banda de la señal modulada en QAM es igual al mayor de los anchos de banda de las señales que la componen.

**QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying).** Representa el desplazamiento de fase de 4 símbolos, desplazados entre sí  $90^\circ$ . Normalmente se usan como valores de salto de fase  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ , y  $315^\circ$ . Cada símbolo aporta 2 bits. Suele dividirse el flujo de cada bit que forman los símbolos como I y Q. El diagrama de constelación muestra 4 símbolos equiespaciados. La asignación de bits a cada símbolo suele hacerse mediante el código Gray, que consiste en que entre dos símbolos adyacentes los símbolos solo se diferencian en 1 bit. Esto se escoge así para minimizar la tasa de bits erróneos.

**Rack.** Bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones.

**Roaming.** Capacidad de realizar y recibir llamadas en redes móviles fuera del área de servicio local de su compañía, es decir, dentro de la zona de servicio de otra empresa del mismo país, o bien durante la estancia en otro país diferente, con la red de una empresa extranjera.

**SDH (Synchronous Digital Hierarchy).** Formato de transmisión digital usado en circuitos de microondas, que sirve de soporte para banda ancha. El estándar de la tasa de transmisión para SDH es el STM-1, que establece un mínimo de velocidad de operación de 155.52 Mbps.

**Señalización.** Comunicación que se da entre los equipos de telecomunicaciones, entre centros de procesamiento, entre la central y el abonado o entre bloques de software, para el establecimiento y liberación de las llamadas, o para intercambiar información de gestión, tarificación, mantenimiento, etc.

**Sirenet.** Herramienta de gestión del espectro radioeléctrico destinada a la planificación de redes radio. Se basa en la simulación de entornos reales apoyándose en un avanzado sistema de información geográfica, en la reproducción exacta del comportamiento de los

equipos radieléctricos y en los algoritmos más avanzados y actuales para la predicción de la propagación en distintos entornos.

**Site Survey.** Visita de campo a sitios de preinstalación de equipamiento de cualquier índole, en donde se realiza inspecciones del entorno para verificar espacio físico, entorno, infraestructuras existentes.

**SNMP (Simple Network Management Protocol).** Protocolo utilizado por ciertas aplicaciones de red que permite administrar dispositivos de manera remota.

**Store And Forward.** Técnicas de telecomunicaciones en la cual la información es enviada y recibida a una estación contigua donde es mantenida por un tiempo hasta verificar la integridad del mensaje recibido antes de enviarlo hacia a su destino final o a su vez a otras estación contigua a ésta.

**Streaming.** Término que se refiere a ver u oír un archivo directamente en una página web en el Internet sin necesidad de descargarlo antes al ordenador. Se podría describir como "hacer clic y obtener".

**TDM (Time Division Multiplexing).** Multiplexación en donde se combinan canales de datos, especialmente en los sistemas de transmisión digitales. En ella, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total (intervalo de tiempo).

**TDMA (Time Division Multiple Access).** Tecnología inalámbrica de segunda generación, que distribuye las unidades de información en ranuras alternas de tiempo, dando acceso múltiple a un número reducido de frecuencias. Esto permite que múltiples usuarios utilicen un mismo canal de frecuencia al mismo tiempo sin interferirse entre sí.

**Throughput.** Es la capacidad de tráfico o volumen de información que fluye a través de un sistema como las redes de datos.

**UDP (Unit Data Protocol).** Protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas. Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya

establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera. Tampoco tiene confirmación, ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros; y tampoco se sabe si ha llegado correctamente, ya que no hay confirmación de entrega o de recepción. Su uso principal es para la transmisión de audio y vídeo en tiempo real, donde no es posible realizar retransmisiones por los estrictos requisitos de retardo que se tiene en estos casos.

**Unicast.** Tipo de comunicación que intercambia información entre un único emisor y un único receptor en una red de datos.

**VLAN (Virtual Local Area Network).** Método de crear redes lógicamente independientes dentro de una misma red física.

**VPN (Virtual Private Network).** Tecnología de red que permite una extensión de la red local sobre una red pública o no controlada, como por ejemplo Internet.

**WAP (Wireless Application Protocol).** Protocolo de comunicaciones diseñado para acceder desde teléfonos móviles a algunos de los servicios que proporciona Internet.

**WDM (Wavelength Division Multiplexing).** Tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un LED.

**Web Browsing.** Aplicación software que permite al usuario recuperar y visualizar documentos de hipertexto, comúnmente descritos en HTML, desde servidores web de todo el mundo a través de Internet. Además permite mostrar o ejecutar gráficos, secuencias de vídeo, sonido, animaciones y programas diversos además del texto y los hipervínculos o enlaces.

**3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2).** Ente que estandariza el desarrollo de 3G en la familia CDMA2000 para el desempeño de esta tecnología en la interfaz aire.

**802.1q.** Proyecto del grupo de trabajo 802 de la IEEE para desarrollar un mecanismo que permita a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas.

## CAPÍTULO 1

### REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la computación y su integración con las telecomunicaciones han propiciado el surgimiento de nuevas formas de comunicación, que son aceptadas cada vez por más personas. El desarrollo de las redes informáticas posibilitó su conexión mutua y, finalmente, con la creación y despliegue de *Internet*, una red de redes, en la cual una computadora puede intercambiar fácilmente información con otras situadas en regiones lejanas del planeta.

A más de esto, el vertiginoso crecimiento de las redes telefónicas y celulares hacen que cada día existan mejores prestaciones en cuanto a servicios tratando de unificarlos en una tecnología robusta que satisfaga de manera eficiente al usuario que requiere voz, video, datos, con el condicionamiento de eliminar estructuras cableadas dando paso a soluciones inalámbricas ya no como un lujo corporativo o personal sino como una necesidad futurista.

##### 1.1.1 Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas

Con mucha frecuencia se escucha como la evolución de la tecnología dejará de lado los tradicionales cables que proporcionan varias de las comunicaciones actuales. Las comunicaciones inalámbricas no son nuevas, han estado a nuestro alrededor por décadas a través de una variedad de usos y técnicas. Los nuevos servicios que se

buscan ahora despertar el interés en diversos entornos de aplicaciones, con anchos de banda necesarios para sus despliegues, y sobretodo posicionarse en ambientes geográficos donde se hace casi imposible la implantación de soluciones cableadas.

### 1.1.2 Espectro de Frecuencias [1]

Los sistemas radioeléctricos tales como las comunicaciones personales, celulares, los sistemas por microondas y satélite, operan en una única frecuencia. Algunos utilizan diferentes frecuencias para la transmisión y la recepción de información. Sin embargo, funcionan en una frecuencia determinada, sin posibilidad de variarla.

Algunas radiofrecuencias pueden incorporarse con facilidad en la red. El comportamiento de una frecuencia es previsible, puesto que el funcionamiento de una determinada red puede ser de previo conocimiento.

El sistema radioeléctrico difunde su información desde un transmisor a un receptor estacionado en una frecuencia fija. La energía se distribuye sobre un espectro limitado, que se recibe y se detecta fácilmente. Los sistemas radioeléctricos bidireccionales, *PCs* y celulares pertenecen a este mismo dominio.

Las ondas radioeléctricas se pueden generar y transmitir a través de una amplia gama de frecuencias, que pueden ir desde unos 10 KHz hasta varios GHz, y cuanto mayor sea el número de ondas en un segundo (la frecuencia), más información se podrá transportar.

Aunque la señal se transporta en condiciones de espacio libre (mediante ondas), deben tomarse en cuenta ciertos factores que pueden influir en el desempeño del sistema de comunicaciones inalámbricas a emplearse:

- Debe tomarse una decisión sobre el método de transferencia de la información: a través de emisiones con línea de vista, punto a punto o transmisión omnidireccional.

- El ruido es un factor que se debe tratar de mitigar, ya que éste degrada el desempeño de la señal.
- La distancia afectará a la potencia de transmisión de la señal en su recorrido.
- La atenuación es un parámetro que condiciona la señal, ya que cuando atraviesa ciertos materiales y grandes distancias la misma se ve disminuida.

### 1.1.3 Espectro Radioeléctrico

El Espectro Radioeléctrico es la parte del espectro electromagnético que proporciona la gama de frecuencias en la que operan diversos servicios móviles de radiocomunicación terrestre, tales como: servicios de radiobúsqueda, telefonía celular, servicios troncalizados, microondas, televisión, radiodifusión, entre otros.

**Tabla. 1.1. Espectro Electromagnético [2]**

Rango de Frecuencias	Designación	Usos
30 Hz a 300 Hz	<i>ELF ( Extremely Low Frecuency)</i>	Submarino/Energía
300 Hz a 3 KHz	<i>ULF (Ultra Low Frecuency)</i>	Oído Humano
3 KHz a 30 KHz	<i>VLF (Very Low Frecuency)</i>	Oído Humano
30 KHz a 300 KHz	<i>LF (Low Frecuency)</i>	
300 KHz a 3 MHz	<i>MF (Médium Frecuency)</i>	Radio AM
3 MHz a 30 MHz	<i>HF (High Frecuency)</i>	
30 MHz a 300 MHz	<i>VHF (Very High Frecuency)</i>	Radio FM y TV en difusión
300 MHz a 3 GHz	<i>UHF (Ultra High Frecuency)</i>	TV difusión
3 GHz a 30 GHz	<i>SHF (Super High Frecuency)</i>	Microondas terrestre/satélite
30 GHz a 300 GHz	<i>EHF (Extremely High Frecuency)</i>	Microondas terrestre/satélite

### 1.1.4 Regulación del Espectro

El espectro de radiofrecuencias (RF) es un recurso escaso y compartido, utilizado nacional e internacionalmente que está sujeto a un amplio cuadro de supervisiones por parte de los organismos reguladores. En *Ecuador*, la *Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)*<sup>1</sup> es el ente regulador que adjudica el espectro y resuelve los conflictos que lo conciernen, en tanto que en el ámbito internacional la *UIT*<sup>2</sup> que es una agencia especializada de las *Naciones Unidas* que desempeña el mismo papel.

## 1.2 REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA

Las redes de acceso inalámbricas de Banda Ancha (*BWA*)<sup>3</sup>, es el conjunto de tecnologías que permiten una comunicación entre dos o más dispositivos sin la utilización de soporte físico, mediante la transmisión de ondas electromagnéticas en el espectro radioeléctrico. [3]

Una de las opciones de interconexión entre puntos de acceso es la utilización de enlaces radio. Estos enlaces pueden proporcionar soluciones muy competitivas en entornos de difícil ingreso y muy rentables donde la utilización de cables de cobre o fibra óptica tenga reducida demanda.

### 1.2.1 Comunicaciones Inalámbricas de Banda Ancha

Un concepto básico define que “Banda Ancha es la capacidad de soportar un ancho de banda bidireccional mayor a 128 Kbps”. [4]

---

<sup>1</sup> SENATEL: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones

<sup>2</sup> UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

<sup>3</sup> BWA: Broadband Wireless Access

Según la estandarización de la *UIT*, Banda Ancha significa “Un servicio o sistema que requiere canales de transmisión capaces de soportar velocidades mayores que la velocidad primaria”, esto implica velocidades superiores a 2.048 Mbps. [4]

Actualmente este término ha evolucionado más allá ya que está contemplado como la capacidad de transmisión con ancho de banda suficiente para ofrecer conjuntamente voz, video y datos.

La importancia de la Banda Ancha ha logrado el reconocimiento mundial, a tal punto que los organismos regionales de Telecomunicaciones ya se encuentran coordinando planes de acción para asegurar la implantación y el fácil acceso a sistemas con esta tecnología.

Cabe destacar el gran apoyo de la *IEEE*<sup>4</sup>, que es una asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática e ingenieros en telecomunicaciones, tienen a su cargo promover la creatividad, el desarrollo y la integración, compartir y aplicar los avances en las tecnologías de la información, electrónica y ciencias en general para beneficio de la humanidad y de los mismos profesionales, mediante actividades de publicación técnica, conferencias y principalmente la estandarización.

### 1.3 ESTÁNDARES INALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA

En cualquier tipo de tecnología de comunicaciones, los estándares son un paso clave para promover grandes volúmenes de producción y, de este modo, reducir costos y posibilitar un aumento de la cuota de mercado permitiendo el acceso de gran número de usuarios a una determinada tecnología. La estandarización simplifica los procesos de prueba y evaluación de productos, a la vez que reduce los tiempos de desarrollo y de implantación. [3]

---

<sup>4</sup> IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers

En este sentido, el *IEEE* ha establecido una jerarquía de estándares inalámbricos complementarios y evolutivos entre ellos. Entre los principales se encuentran:

- *IEEE 802.15*: para Redes de Área Personal (*PAN*)<sup>5</sup>.
- *IEEE 802.11*: para Redes de Área Local (*LAN*)<sup>6</sup>.
- *IEEE 802.16*: para Redes de Área Metropolitana (*MAN*)<sup>7</sup>.
- *IEEE 802.20*: para Redes de Área Extendida (*WAN*)<sup>8</sup>.

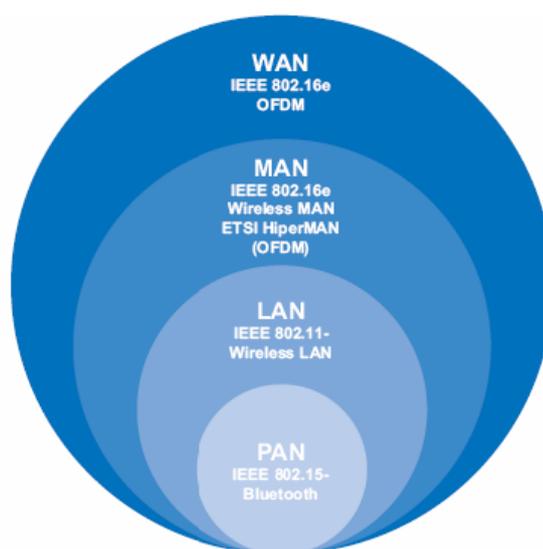


Figura. 1.1. Posicionamiento de los Estándares Inalámbricos

### 1.3.1 Estándar IEEE 802.15 – Redes de Área Personal (PAN)

*IEEE 802.15* es un grupo de trabajo dentro de *IEEE* especializado en Redes de Área Personal.

Las *PAN* cubren distancias pequeñas, generalmente tienen el alcance que puede brindar la voz humana. Normalmente tienen un rango de alcance de 10 metros

<sup>5</sup> PAN: Personal Area Network

<sup>6</sup> LAN: Local Area Network

<sup>7</sup> MAN: Metropolitan Area Network

<sup>8</sup> WAN: Wide Area Network

aunque en condiciones ideales podría (teóricamente) llegar hasta los 100 metros pero con bajas velocidades de transmisión.

Las tecnologías inalámbricas más comunes basadas en la familia del estándar *IEEE 802.15* son: *Bluetooth*, *Zigbee*, *Home RF*, los cuales por un bajo costo y baja potencia, proporcionan un enlace radio de corto alcance para dispositivos móviles, permitiendo la interconexión de dispositivos inalámbricos en un área pequeña. El grupo de estándares 802.15 permite que dispositivos portátiles como *PCs*, teléfonos, sensores, entre otros, puedan comunicarse e interoperar.



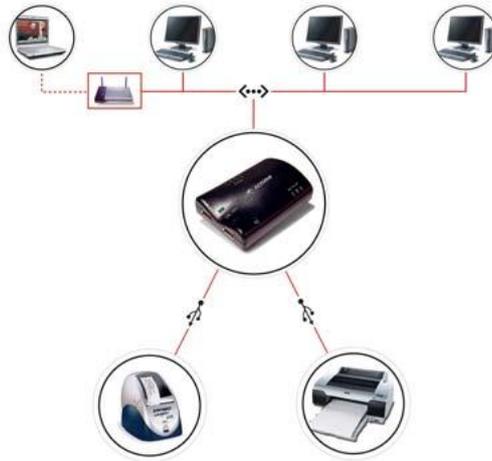
**Figura. 1.2. Red de Área Personal (PAN)**

De esta manera permite establecer conexiones en tiempo real de voz y datos utilizando la banda libre de 2.400 – 2.483 GHz alcanzando tasas de transferencia de hasta 1 Mbps. [3]

### 1.3.2 Estándar IEEE 802.11 – Redes de Área Local (LAN)

Las *LAN*, son redes que permiten la comunicación entre muchas computadoras diferentes y dispositivos de procesamiento de datos. Este tipo de redes tienen un alcance mejorado y mayores velocidades que las redes de área personal.

Un área local puede ser un edificio de oficinas, una fábrica, un almacén o un campus universitario, que consisten en un medio de transmisión compartido que sirve de interfaz entre varios dispositivos para regular el orden de acceso al mismo.



**Figura. 1.3. Red de Área Local (LAN)**

Entre las características de las redes de área local tenemos las siguientes:

- Interconexión de equipos.
- Compartición de recursos: impresoras, *scanners*, *módems*, discos, entre otros, que se usan como si estuvieran en el equipo local.
- Red privada corporativa.
- Cobertura geográfica limitada ( $\leq 1$  Km).
- Velocidades de transmisión elevadas (de 1 a 100 Mbps).
- Tasas de error de transmisión muy bajas ( $10^{-9}$ ).
- Fácil instalación y explotación, con herramientas para su administración.

El uso extendido de ordenadores portátiles ha impulsado avances en las redes para volverlas prácticamente inalámbricas. Con base en esto se ha ampliado hacia el concepto de Redes Inalámbricas de Área Local o *WLAN*<sup>9</sup>.

Estas redes pueden ser de infrarrojos o radiofrecuencias para unir las computadoras portátiles a las redes de área local. Las *WLAN* de infrarrojos sólo funcionan dentro de una misma habitación, mientras que las *WLAN* de radiofrecuencias pueden funcionar a través de casi cualquier pared.

Estas redes tienen velocidades de transmisión que van desde menos de 1 Mbps hasta 11 Mbps, y funcionan a distancias de hasta unos cientos de metros. Los beneficios son evidentes para computadoras portátiles y computadoras de escritorio, dado que el usuario puede verdaderamente trasladarse físicamente de un punto a otro y permanecer conectado a la red *LAN* y a sus recursos, siempre y cuando permanezca bajo el área de cobertura que la red dispone.

La tecnología *WLAN* ofrece a las entidades corporativas, conjuntos residenciales, centros comerciales, entre otros, la posibilidad de tener redes rápidas, mejoradas, seguras (relativamente), y fáciles de configurar.



**Figura. 1.4. Red de Área Local Inalámbricas (WLAN)**

<sup>9</sup> WLAN: Wireless Local Area Network

### 1.3.3 Estándar IEEE 802.16 – Redes de Área Metropolitana (MAN)

Las *MAN* permiten el despliegue de Banda Ancha teniendo una amplia área de cobertura, pudiendo interconectar varias *LAN* o *WLAN*.

Se trata de una especificación para las redes de acceso metropolitanas sin hilos de Banda Ancha publicada inicialmente el 8 de abril de 2002. [5]

El estándar 802.16 puede operar en frecuencias entre 10 y 60 GHz para las comunicaciones con línea de vista entre las estaciones, pero las modificaciones que desarrolló permiten frecuencias desde 2 hasta 11 GHz sin línea de vista, ofreciendo conexiones de última milla desde la estación base hasta el suscriptor del servicio.

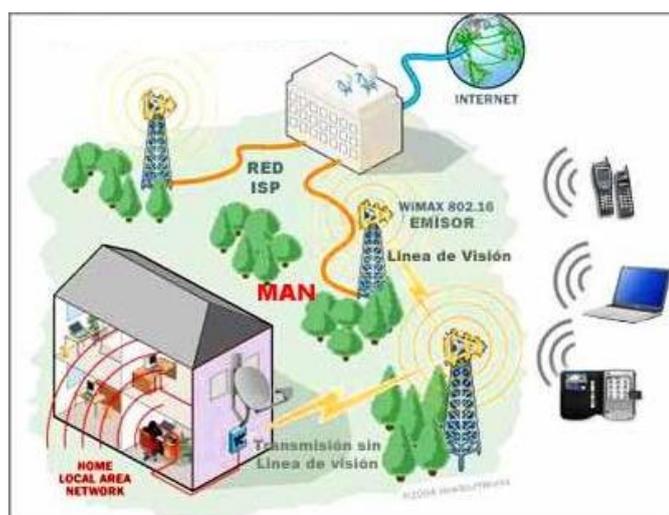


Figura. 1.5. Red de Área Metropolitana (MAN)

El estándar *IEEE 802.16* se titula con el nombre de *Wireless Metropolitan Area Network (WirelessMAN)*.

El estándar *IEEE 802.16* hace referencia a un sistema de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 Km), escalable y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado".

*IEEE 802.16* engloba una familia de grupos de trabajo que a partir de una especificación inicial han ido desarrollando diferentes aspectos del estándar. Los estándares más relevantes ya aprobados bajo la familia *IEEE 802.16* son los siguientes:

**Tabla. 1.2. Estándares de la Familia IEEE 802.16 [3]**

Estándar	Descripción
802.16	Es el núcleo del estándar. Especifica las capas <i>MAC</i> <sup>10</sup> y radio para comunicaciones <i>PMP</i> <sup>11</sup> en el rango de frecuencias de 10 a 66 GHz, necesita línea de vista ( <i>LOS</i> ), con una capacidad de hasta 134 Mbps en celdas de 2 a 5 Km. Publicado en Abril de 2002
802.16a	Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas <i>LOS</i> y sin línea de vista ( <i>NLOS</i> ), topologías <i>PTP</i> <sup>12</sup> y <i>PMP</i> . Publicado en Abril de 2003
802.16c	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10 – 66 GHz. Publicado en Enero de 2003.
802.16d	Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el <i>WiMAX Forum</i> . Aprobado como 802.16 – 2004 en Junio de 2004 Incluye la conexión de Banda Ancha para suscriptores fijos.
802.16e	Extensión del 802.16 que incluye la conexión de Banda Ancha para dispositivos móviles. Publicado en diciembre de 2005

<sup>10</sup> MAC: Medium Access Control

<sup>11</sup> PMP: Point Multi Point

<sup>12</sup> PTP: Point To Point

Los estándares actualmente vigentes y con dispositivos comerciales disponibles son:

- *IEEE 802.16d*, aprobado en Junio de 2004, que cubre únicamente los enlaces en posiciones fijas y se perfila a ser el *backbone* para Redes de distribución *Wireless*.
- *IEEE 802.16e*, aprobado en diciembre de 2005; también tiene propósitos similares al anterior, además la gran ventaja de adaptar movilidad sin que la conexión a servicios como voz, video y datos se pierda o simplemente se caiga en los equipos terminales.

Estos 2 estándares son mundialmente conocidos como *WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)*, siendo el primero de ellos competidor directo de tecnologías cableadas actuales de banda Ancha como *ADSL<sup>13</sup> o Cable Módem*; en tanto que el segundo a más de tener esta característica, puede competir a la par de las tecnologías celulares y hasta con mejores prestaciones dado su soporte para ofrecer servicios de valor agregado.

Debido a esto, el *IEEE 802.16e* denominado *WiMAX Móvil*, ha sido considerado por varias empresas para la fabricación de productos que cumplan con estas características, siendo esta tecnología de acceso inalámbrica el tema de estudio en el presente proyecto.

### 1.3.4 Estándar IEEE 802.20 – Redes de Área Extendida (WAN)

Las *WAN* representan una evolución del concepto de red de área local/metropolitana a un ámbito más amplio, cubriendo áreas de una cobertura superior que en algunos casos puede llegar a una cobertura regional e incluso nacional mediante la interconexión de diferentes redes de área metropolitana.

---

<sup>13</sup> ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

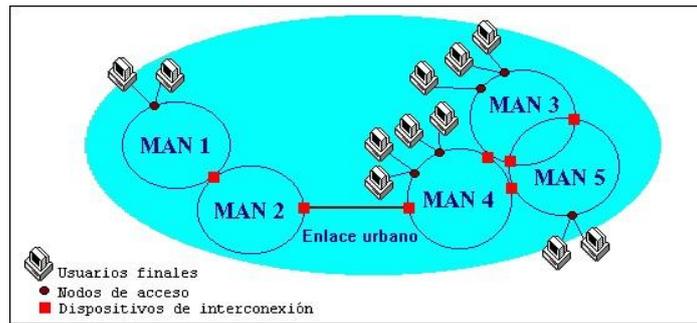


Figura. 1.6. Red de Área Extendida (WAN) [6]

## CAPÍTULO 2

### TECNOLOGIA WiMAX IEEE 802.16

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

La tecnología inalámbrica ha experimentado en los últimos años un enorme crecimiento; cientos de millones de personas gozan de la flexibilidad que proveen tecnologías como la telefonía celular y otros tipos de aplicaciones, que en la actualidad permiten el despliegue de nuevas redes de telecomunicaciones de forma rápida y con un coste muy inferior a los despliegues de redes de cable los cuales representan altos costos de instalación que no siempre justifican su tendido en áreas rurales o geográficamente inaccesibles, y de esta forma favorecer la oferta de servicios de Banda Ancha en zonas distantes que carecían de otro tipo de infraestructuras.

Estas y otras limitaciones tecnológicas y topográficas, complementadas a la rápida adopción del acceso a *Internet*, han motivado el desarrollo de un estándar inalámbrico como el *IEEE 802.16* bajo la denominación comercial de *WiMAX* (*Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas*), con el objetivo de llegar a un mayor número de usuarios, además de introducir nuevas aplicaciones y prestaciones que requieren mayores anchos de banda, seguridad, calidad en la comunicación, además de ofrecer nuevos y mejorados servicios de telecomunicaciones, que se están consolidando de manera sorprendente y pretenden incurrir en todas las áreas y campos del diario vivir.

*Wi-Fi*<sup>1</sup>, *GSM*<sup>2</sup>, *Bluetooth*, entre otras, son algunas de las nuevas tecnologías inalámbricas que han proliferado en los últimos años, teniendo cada una de ellas su ámbito de aplicación, ventajas y debilidades. [7]

Actualmente, la fuerte influencia de *IP*<sup>3</sup> ha planteado nuevos desarrollos en el campo de las comunicaciones inalámbricas móviles, especialmente en lo que corresponde a servicios de datos de Banda Ancha, brindando la ventaja de portabilidad y movilidad de los usuarios. Últimamente ha venido tomando bastante relevancia el concepto de Redes “4G” (*Redes de Cuarta Generación*) como la integración de las redes inalámbricas bajo el paradigma de soportar *IP* con la gran ventaja de ofrecer movilidad a los usuarios mientras se mantienen permanentemente conectados a la red para la ejecución de ciertas aplicaciones, lo que se ha dado en llamar *Cuadruple Play* (voz, video, datos y movilidad), y el estándar que ha tomado este legado para su evolución es el *IEEE 802.16e*.

Por lo tanto en el presenta capítulo se establecerá las características técnicas, ventajas, aplicaciones y comparaciones de *WiMAX* frente a otras tecnologías inalámbricas, pero poniendo mayormente énfasis en su estándar móvil, el *IEEE 802.16e*.

## 2.2 WIMAX

*WiMAX* es una tecnología inalámbrica basada en el estándar *IEEE 802.16*, el mismo que ha ido evolucionando constantemente desde sus inicios en donde alcanzaba velocidades de transmisión de más de 100 Mbps en un canal con ancho de banda de 28 MHz, en la banda de 10 a 66 GHz, pero requería torres con *LOS*; luego consiguió llegar a los 70 Mbps, operando en un rango de frecuencias inferiores de 2 a 11 GHz, pero teniendo como ventaja, torres *NLOS* siendo capaz de conseguir alcances de hasta 50 Km, gracias a la utilización de Capas Físicas basadas en

---

<sup>1</sup> Wi-Fi: Wireless Fidelity

<sup>2</sup> GSM: Global System for Mobile Communication

<sup>3</sup> IP: Internet Protocol

*OFDM*<sup>4</sup> la cual divide a la portadora en 128 y 256 transportadores o subportadoras; y finalmente estableció velocidades de transmisión de 15 Mbps, y de igual manera que el anterior, es decir operando en frecuencias de 2 a 6 GHz, torres NLOS, con la gran ventaja de ofrecer movilidad a sus usuarios gracias a *OFDMA*<sup>5</sup> con subportadoras que pueden ir de 256 a 2048, pero a la vez su alcance se redujo a 5 Km.

Las 2 últimas versiones anteriormente descritas, poseen tamaños de canal flexibles que son dependientes de la banda de funcionamiento; modulación adaptativa con esquemas *BPSK*, *QPSK*, *16 QAM* y *64 QAM* y tipos de duplexación *TDD* y *FDD*.

WiMAX se destaca por su capacidad de ser una tecnología portadora, sobre la que se puede transportar *IP*, *TDM*, *E1*, *ATM*, *Frame Relay*, lo que la hace perfectamente adecuada para cualquier entorno empresarial y corporativo, así como para operadores de telecomunicaciones, los cuales son los proveedores de servicios como voz y datos.

En un futuro llegará a ser la base de las Redes Metropolitanas de acceso a Internet y telefonía móvil celular, debido a la conectividad de Banda Ancha en uso fijo, portátil, nómada y móvil, basadas en la convergencia de servicios.

Las redes inalámbricas pueden llegar a tener mejores prestaciones que las redes cableadas, debido a varios factores tanto técnicos como económicos:

---

<sup>4</sup> OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

<sup>5</sup> OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Tabla. 2.1. Redes WiMAX vs. Redes Cableadas [8]

Redes WiMAX	Redes Cableadas
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La infraestructura inalámbrica puede establecerse más rápido que las cableadas.</li> <li>▪ Las redes inalámbricas son más fáciles de desplegar.</li> <li>▪ Las redes <i>WiMAX</i> son convenientes para ser desarrolladas en áreas de baja densidad poblacional.</li> <li>▪ Inversión en equipamiento reubicable fácilmente.</li> <li>▪ Permite brindar servicio a equipos tanto fijos como móviles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Su infraestructura requiere de mayor tiempo para su implantación.</li> <li>▪ Las redes fijas requieren un despliegue más complejo (tendido de fibra óptica, pares de cobre).</li> <li>▪ Las redes cableadas pueden volverse no rentables en áreas de baja densidad poblacional.</li> <li>▪ Inversión en equipos con baja posibilidad de ser reubicada.</li> <li>▪ Sólo permite brindar servicios fijos.</li> </ul>

### 2.2.1 Wimax Forum

El *WiMAX Forum* fue creado en el año 2001 por *Nokia Corp.*, *Ensemble Communications Inc.* y el *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Forum*.



Figura. 2.1. Logotipo WiMAX

Nació a raíz de los avances alcanzados por el *IEEE 802.16* y concretamente al grado de madurez experimentado por el estándar *IEEE 802.16 – 2001*, lo que

propició la mayor participación de fabricantes, a la vez que se vieron expuestas las necesidades del mercado en disponer de equipamientos estándar a menor costo y a los avances regulatorios en materia de Espectro Radioeléctrico en diferentes partes del mundo.

Basándose en los lineamientos definidos por el *IEEE 802.16*, el *WiMAX Forum* se enfoca en promover la interoperabilidad entre diferentes marcas para soluciones de última milla.

El *WiMAX Forum* integra hoy en día a más de 100 miembros entre los cuales se tienen fabricantes de chips, fabricantes de equipos y prestadores de servicios. Actualmente está trabajando en la elaboración de notas técnicas que definan y aclaren algunos de los conceptos que han sido mal interpretados recientemente entorno a ciertos aspectos como la operación *LOS*, el rango de cobertura de los equipos y e incluso la misma interoperabilidad.

Definitivamente la industria inalámbrica está viviendo un momento único, ya que este ente tiene en sus manos la capacidad de establecer grupos de trabajo que tengan la disponibilidad de certificar tecnología probada, lo que a su vez permitirá llevar el acceso multiservicios relativamente a cualquier entorno, convirtiéndose en una herramienta socioeconómico-cultural de gran relevancia en la globalización mundial.

## **2.3 ESTANDARIZACIÓN IEEE 802.16 [9]**

El proyecto del estándar *IEEE 802.16* se inició en 1998, pero el trabajo principal se desarrolló entre los años 2000-2003, dentro de un proceso de consenso abierto. El objetivo fue crear y desarrollar un estándar para conseguir el acceso de Banda Ancha inalámbrico, masivo y a los menores precios posibles, en el ámbito metropolitano.

### **2.3.1 IEEE 802.16 – 2001**

El estándar *IEEE 802.16 - 2001* se completó en Octubre del 2001 y fue publicado el 8 de Abril del 2002; el mismo define el interfaz aéreo para redes inalámbricas de área metropolitana.

*IEEE 802.16 - 2001* especifica el interfaz de un sistema de acceso inalámbrico de Banda Ancha aplicado a conexiones *PMP*, con antenas direccionales y sin movilidad, esta versión del estándar se ha diseñado para bandas entre 10 y 66 GHz, ancho de banda por canal de 28 MHz, cobertura de hasta 50 Km, modulación *QPSK*, *16 QAM*, *64 QAM* (opcional), opera a velocidades de hasta 75 Mbps en banda licenciada, pero su gran desventaja es que requiere *LOS* para sus usuarios.

### 2.3.2 IEEE 802.16a

La *IEEE* aprobó en Enero del 2003 el estándar *IEEE 802.16a* como una enmienda al estándar *IEEE 802.16 - 2001*; este estándar ha recibido apoyo de fabricantes de equipos terminales.

*IEEE 802.16a* se diseña para aplicaciones de última milla en sistemas que operan en las bandas entre 2 y 11 GHz. Asegura un enlace RF robusto maximizando el número de bits por segundo para cada suscriptor.

Proporciona flexibilidad de operar en diferentes bandas de frecuencias requeridas alrededor del mundo con variación de canales, además de estar diseñado para soportar sistemas de antenas inteligentes.

Permite interconectar *WLANs* y puntos comerciales con el *Internet*, ancho de banda por canal de 20 MHz; pero fue el primero de los estándares del *IEEE 802.16* en incluir características de seguridad y de *Calidad de Servicio (QoS)*<sup>6</sup> para el soporte de servicios que requieren baja latencia, tal como voz y video.

---

<sup>6</sup> QoS: Quality of Service

Entre las principales características del estándar *IEEE 802.16a* se tiene:

- Opera en ambientes *NLOS*.
- Ancho de banda por canal de 15 a 20 MHz.
- Alcanza velocidades de hasta 75 Mbps.
- Tiene un alcance de hasta 10 Km.
- Añade soporte para corrección de errores (*FEC*)<sup>7</sup>.
- Utilización de *Capa MAC IEEE 802.16*.

### 2.3.3 IEEE 802.16 – 2004

Este estándar revisa y consolida a los 2 estándares anteriores, *IEEE 802.16 – 2001 e IEEE 802.16a*. *IEEE 802.16 – 2004* es una tecnología de acceso inalámbrico fijo, está diseñada para competir con los proveedores de Cable de Banda Ancha (*ADSL y Cable Módem*). También es una solución viable para el *backhaul* inalámbrico para puntos de acceso *Wi-Fi*, en particular si se usa el espectro que requiere licencia. Además introduce un cierto grado de capacidad nómada ya que el abonado podría viajar con el equipo de usuario o *CPE*<sup>8</sup> y usarlo en otras ubicaciones fijas dentro de instalaciones como oficinas, hoteles, cafeterías, etc.

El estándar *IEEE 802.16 - 2004* está enfocado en las especificaciones del *Control de Acceso al Medio (MAC)* para niveles de *QoS* y de seguridad, y para frecuencias por debajo de los 11 GHz, además se añade la *Capa Física (PHY)* con la alternativa de usar *Wireless MAN-OFDM (basada en OFDM)*. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la *Televisión Digital*, así como para *Wi-Fi (802.11a)* por lo que está totalmente comprobado.

Las características de este estándar son:

- Enlaces fijos y portables *PTP, PMP*.
- Permite enlaces *LOS y NLOS*.

---

<sup>7</sup> FEC: Forward Error Correction

<sup>8</sup> CPE: Customer Personal Equipment

- Canalizaciones flexibles.
- Alcance máximo de hasta 50 Km.
- Alcanza velocidades de hasta 75 Mbps.
- Número de subportadoras: 128, 256.



Figura. 2.2. Sistema WiMAX IEEE 802.16 – 2004

### 2.3.4 IEEE 802.16e

El 7 diciembre del 2005, el *IEEE* aprobó el estándar *802.16e* bajo la denominación de *WiMAX Móvil*, que permite utilizar terminales en movimiento con permanente conexión al sistema inalámbrico de Banda Ancha. El estándar *IEEE 802.16e* es una modificación a la especificación del *IEEE 802.16 - 2004* ya que suma la capacidad de adaptar clientes con movilidad completa directamente a la red *WiMAX*.

Este estándar posee características de *Capa MAC* y *PHY* similares a su antecesor el *IEEE 802.16 - 2004* pero no son compatibles, lo cual no es necesariamente algo bueno para los operadores que están planeando desplegar el *IEEE 802.16 - 2004* y luego ascender al *IEEE 802.16e*. La diferencia radica básicamente en que el estándar *802.16e* utiliza *OFDMA*, el cual divide las portadoras en múltiples subportadoras.

En *IEEE 802.16e*, *WiMAX* no puede facilitar una cobertura tan amplia, pero la tecnología permite mayores velocidades, cobertura aceptable, por lo que podría ser una alternativa o complemento en muchas zonas a las redes celulares.

Las características del estándar son:

- Banda de frecuencia menor a 6 GHz.
- Opera en ambientes *NLOS*. Se estima un área de cobertura de una estación base de 5 Km, dependiendo del rango de frecuencias, implementación y modulación.
- Número de subportadoras: 128, 256, 512, 1024, 2048.
- Ancho de banda desde 1,75 hasta 20 MHz.
- Velocidades de 15 Mbps.
- Modulaciones adaptativas *64 QAM*, *16 QAM*, *QPSK*.



Figura. 2.3. Sistema WiMAX IEEE 802.16e

En la siguiente tabla se indica las versiones de los estándares *IEEE 802.16* y sus aspectos más relevantes:

Tabla. 2.2. Versiones de los estándares para WiMAX [10]

	<b>802.16</b>	<b>802.16 – 2004 (802.16d)</b>	<b>802.16e</b>
<b>Completado</b>	Diciembre 2001	Julio 2004	7 de Diciembre 2005
<b>Frecuencias</b>	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz (3.5 y 5.8 GHz)	2 – 6 GHz (2,3; 2,5; 3,3; 3,5 GHz )
<b>Condiciones</b>	<i>LOS</i>	<i>NLOS</i>	<i>NLOS</i>
<b>Velocidad de transmisión</b>	32 a 134 Mbps	Hasta 75 Mbps con canales de 10 MHz	Hasta 15 Mbps con canales de 5, 10, y hasta 20 MHz
<b>Modulación típica</b>	<i>QPSK, 16 QAM y 64 QAM</i>	<i>QPSK, 16 QAM y 64 QAM</i>	<i>QPSK, 16 QAM y 64 QAM</i>
<b>Subportadoras</b>	Portadora simple	<i>OFDM 256</i>	<i>OFDMA 1024, 2048</i>
<b>Movilidad</b>	Fijo	Fijo y Portable	Móvil
<b>Ancho de canal</b>	20, 25 y 28 MHz	Seleccionable entre 1.75 y 10 MHz	Seleccionable entre 1.75 y 20 MHz
<b>Rango típico de celdas</b>	50 Km	5 a 8 Km. Hasta 50 Km según altura de torre, ganancia de antena y potencia de transmisión	5 Km

En la siguiente figura se indica el *IEEE 802.16* para la interoperabilidad en soluciones inalámbricas fijas y soluciones inalámbricas móviles:

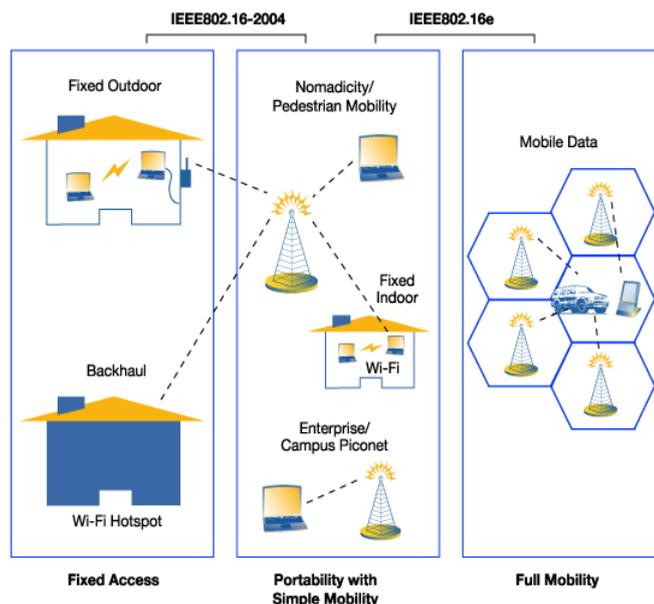


Figura. 2.4. Estándares IEEE 802.16 - 2004 e IEEE 802.16e

Un aspecto importante de los estándares *IEEE 802.16* es la adición de las *Capas MAC* y *PHY*, ya que mediante éstas se definen los aspectos técnico-operacionales del equipamiento, basado en factores como frecuencia de operación, modulación, entre otros.

*WiMAX* puede soportar varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo *QoS*, por lo cual resulta adecuado para *VoIP*<sup>9</sup>, video y datos: las aplicaciones de voz y video requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit, mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo.

Con los avances que se logren en el diseño de dispositivos como chips y baterías, se espera en un futuro disponer de terminales móviles *WiMAX* propiamente, similares a los tradicionales de sistemas de telefonía celular como *GSM*, *CDMA*<sup>10</sup> y *3G*.

<sup>9</sup> VoIP: Voice over IP

<sup>10</sup> CDMA: Code Division Multiplexing Access

## 2.4 MODULACIÓN ADAPTATIVA

La Modulación Adaptativa permite a un sistema inalámbrico escoger la modulación de más alto nivel y desempeño, es así que en los sistemas *OFDM* y *OFDMA* se puede tener múltiples esquemas de modulación, y dependiendo de las condiciones del canal se puede utilizar las siguientes: *BPSK*, *QPSK*, *16 QAM*, *64 QAM*.

Cuando aumenta la distancia para largos alcances, se debe bajar el orden de la modulación (como en *QPSK*), pero cuando disminuye la distancia se puede utilizar modulaciones de más alto nivel como *QAM*, la cual incrementa significamente el rendimiento; todo esto desemboca en mayores o menores velocidades de transmisión respectivamente. Además, la modulación adaptativa permite al sistema vencer las interferencias existentes en las geografías de cobertura.

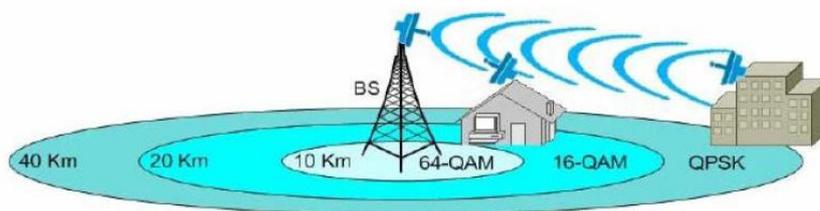


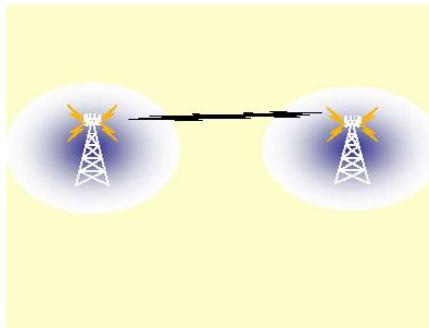
Figura. 2.5. Modulación Adaptativa

## 2.5 TOPOLOGÍA DE WIMAX

Dentro de *WiMAX*, actualmente, se contemplan infraestructuras *PTP* (para radioenlaces), *PMP* (acceso a última milla, movilidad), y las ventajas de las *mesh networks* o redes malladas:

### 2.5.1 Topología PTP

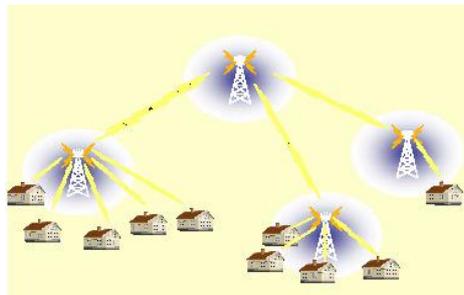
La estación base principal incorpora las funciones de transmisor de forma que proporciona conectividad a una estación base remota y ésta a la vez con otra, a manera de repetidor, es decir, se pueden identificar los dos elementos que se comunican entre ellos (transmisor y receptor), y de esta forma se establecen configuraciones en cadena.



**Figura. 2.6. Topología PTP**

### 2.5.2 Topología PMP

En el caso de configuraciones multipunto se tiene una estación base que emite la señal de radio hacia varias estaciones remotas simultáneamente, es decir existe una estación base transmisora y varias estaciones base receptoras, generándose una configuración en estrella.



**Figura. 2.7. Topología PMP**

### 2.5.3 Backhaul [10]

*WiMAX* es ideal para prestar funciones *backhaul*, es decir permitir integración de redes inalámbricas más pequeñas como *Wi-Fi*.

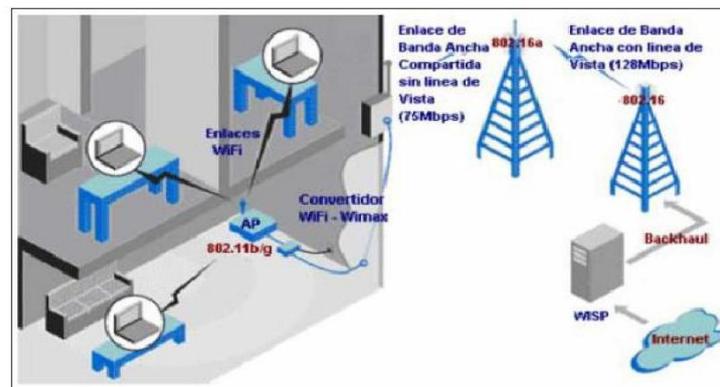


Figura. 2.8. Topología Backhaul

### 2.5.4 Mesh o Malla

Es un tipo de red en el que cada nodo actúa como emisor y receptor con la misma categoría, y los enlaces no son fijos; al igual que en el *Internet*, la información recorre de nodo en nodo sin seguir rutas fijas, con características de redundancia.

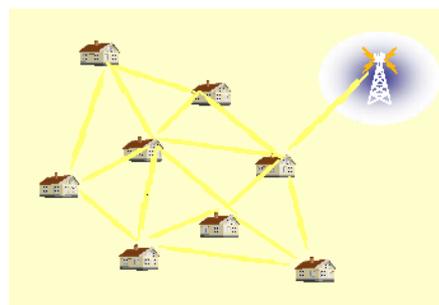


Figura. 2.9. Topología Mesh o Malla

## 2.6 Banda de Frecuencias

La disponibilidad uniforme de espectro en todo el mundo es crucial para reducir el coste del equipamiento y su implementación. Para maximizar el rendimiento de una tecnología inalámbrica, el equipamiento debe ser optimizado para las bandas de frecuencia identificadas como interesantes para su utilización, a un número menor de radiofrecuencias necesarias para cubrir todo el planeta, para en lo posible conseguir una mejor economía de escala, resultando en menores costes del equipamiento y del proyecto.

Específicamente, *WiMAX* puede desplegarse en espectros que requieren licencia y en aquellos que no lo requieran por debajo de los 11 GHz, asimismo existe la posibilidad de desplegarse en las bandas de servicio celular (si estuviera permitido) y en las bandas de 700 MHz. Esta amplia variedad de opciones de espectro tiene como resultado la incompatibilidad o la necesidad de dispositivos multibanda.

Dentro de este rango de frecuencias, el espectro más probable está disponible en 2.3 GHz, 2.4 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz, y 5.8 GHz. Por consiguiente, para asegurar la interoperabilidad mundial, los equipos de usuario, tarjetas o soluciones con chips incorporados de *WiMAX* deberían soportar hasta 5 bandas de frecuencia. Es esto, o la industria inicialmente se concentra en solo un par de bandas del espectro, en cuyo caso es probable que 3.5 GHz reciba parte de la atención inicial. [9]

El espectro disponible se divide en dos categorías distintivas: sin licencia y con licencia.

### 2.6.1 Bandas Sin 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. Debido a que en estas

frecuencias no se requiere licencia, la barrera para ingresar es baja, por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando este espectro. En algunos casos, esto puede ser ventajoso por obvias razones, si embargo varias existen desventajas relacionadas con el uso del espectro que no requiere licencia, como son interferencias, potencia limitada, disponibilidad.

### 2.6.2 Bandas Licenciadas

El espectro que requiere licencia tiene un precio potencialmente alto, pero bien lo vale, en especial cuando la oferta del servicio requiere de una alta calidad. La mayor ventaja de tener el espectro que requiere licencia es que el licenciatarario tiene uso exclusivo del espectro y está protegido de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen o tienen un arrendamiento del espectro.

El espectro que requiere licencia se encuentra en las bandas de frecuencia de 2.3 GHz, 2.5 GHz y 3.5 GHz:

- **Banda de 2.3 GHz:** En *Corea del Sur* se utilizó esta banda para el despliegue de *WiBRO*<sup>11</sup> (el equivalente coreano a *WiMAX Móvil*) por parte de *Samsung*. Asimismo en *Nueva Zelanda*, *Woosh Wireless* posee una marcada huella en 2.3 GHz en toda la nación.
- **Banda de 2.5 GHz:** Está disponible para uso terrestre en *América del Norte*, *América Latina* y eventualmente en *Europa*, *Sprint* y *MCI*<sup>12</sup> son empresas que usan esta banda para brindar sus servicios *PTP*.
- **Banda de 3.5 GHz:** Es una de las mejores opciones que se maneja, ya que se encuentra disponible en casi todos los países, con excepción de los *Estados Unidos*.

---

<sup>11</sup> WiBRO: Wireless Broadband

<sup>12</sup> MCI: Microwave Communications Inc.

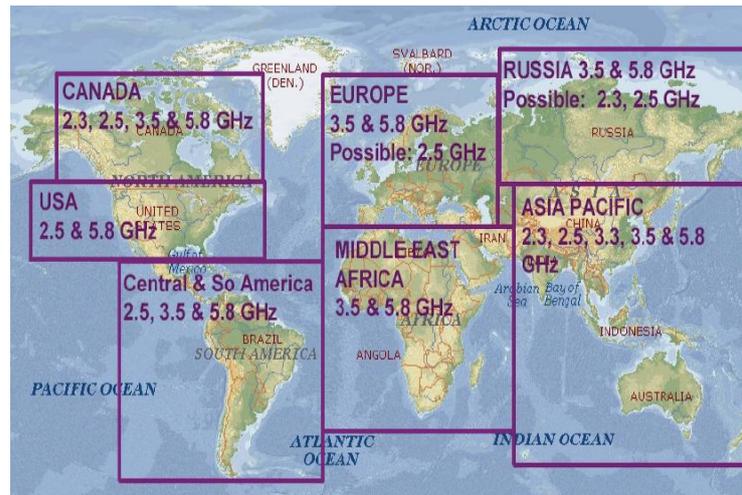


Figura. 2.10. Bandas de Frecuencias disponibles para WiMAX

Las bandas de frecuencia vienen definidas en lo que se llaman perfiles de certificación, los cuales definen el ancho de banda de los canales y el tipo de duplexación utilizada ( $TDD^{13}$  o  $FDD^{14}$ ).

**TDD.** La duplexación por división de tiempo  $TDD$  asigna sobre la misma portadora distintos intervalos de tiempo, que se reparten entre diferentes usuarios.

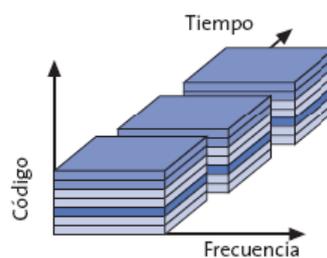
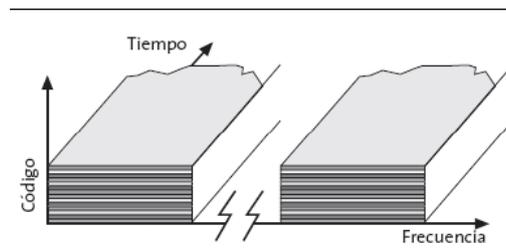


Figura. 2.11. TDD

<sup>13</sup> TDD: Time Division Duplexion

<sup>14</sup> FDD: Frequency Division Duplexion

**FDD.** La duplexación por división de frecuencia asigna distinta banda de frecuencia para las portadoras de *Uplink (UL)* y *Downlink (DL)*. Las estaciones base transmiten a la frecuencia de portadora de *DL* mientras que las estaciones suscriptoras transmiten a la frecuencia portadora de *UL*.



**Figura. 2.12. FDD**

*WiMAX Forum* comenzó el proceso de certificación en Julio de 2005. Como los estándares permiten un gran número de configuraciones posibles, *WiMAX Forum* especifica cual es el conjunto de características necesarias que han de cumplir los equipos para pasar la certificación. Este conjunto de características se conoce como perfiles de certificación [11]. Los perfiles certificados en primera instancia fueron:

**Tabla. 2.3. Perfiles certificados inicialmente**

Banda de Frecuencia (MHz)	Duplexación	Ancho de banda (MHz)
3400 - 3600	<i>TDD</i>	3.5
		7
	<i>FDD</i>	3.5
		7
5725 - 5850	<i>TDD</i>	10

Una segunda fase de certificación de equipos ya incluye sistemas con posibilidad de trabajar entre los 2500 – 2690 MHz, con un ancho de banda de 5 o 5.5 MHz.

**Tabla. 2.4. Perfiles a certificar en breve**

<b>Banda de Frecuencia (MHz)</b>	<b>Duplexación</b>	<b>Ancho de banda (MHz)</b>
2500 - 2690	<i>TDD</i>	5 – 5.5
	<i>FDD</i>	5 – 5.5

## 2.7 CAPA FÍSICA (PHY)

Una de las características más relevantes de *WiMAX* es su capacidad en la *Capa PHY* para adaptar el tipo de modulación a la característica de conexión específica del enlace. Así para enlazar conexiones cercanas emplea *64 QAM*, consiguiendo una mayor velocidad de transmisión y robustez frente a interferencias. En conexiones de mayor distancia puede seleccionar *16 QAM* o *QPSK*, consiguiendo un mayor alcance pero a costa de una menor velocidad. [9]

Las siguientes son algunas características de la *Capa PHY*:

- Tamaño de canales (3.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz): Provee la flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencias con diferentes variantes y requerimientos del canal alrededor del mundo.
- 256 subportadoras en *OFDM* y 1024 - 2048 subportadoras en *OFDMA*: Soportan direccionamiento multirayecto en ambientes *LOS* y *NLOS*.
- Diseño para soportar sistemas de antenas inteligentes: Las antenas inteligentes se están convirtiendo en soluciones beneficiosas y convenientes. Su capacidad de suprimir interferencia de señales externas al sistema y de mejorar la ganancia del mismo son características que impactan el desarrollo de los sistemas de acceso inalámbricos de Banda Ancha, debido a que además irradian un lóbulo dirigido hacia el suscriptor.

Tabla. 2.5. Capa Física (PHY)

	WirelessMA N-SC	WirelessMAN -SCa	WirelessMAN -OFDM	WirelessMA N-OFDMA
<b>Frecuencia</b>	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	2 – 11 GHz	2 – 11 GHz
<b>Modulación</b>	<i>QPSK, 16 QAM, 64 QAM</i>	<i>BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM</i>	<i>QPSK, 16 QAM, 64 QAM</i>	<i>QPSK, 16 QAM, 64 QAM</i>
<b>Número de subportadoras</b>	Portadora simple	Portadora simple	256	1024 - 2048
<b>Duplexación</b>	<i>TDD, FDD</i>	<i>TDD, FDD</i>	<i>TDD, FDD</i>	<i>TDD, FDD</i>
<b>Canal</b>	28 MHz	1,75 – 10 MHz	1,75 – 10 MHz	1,75 – 20 MHz

El estándar *IEEE 802.16*, especifica múltiples Capas Físicas dependiendo de la frecuencia en la que vaya a trabajar el enlace y el propósito de éste.

De acuerdo a esto se definen las siguientes subcapas:

1. *WirelessMAN-SC.*
2. *WirelessMAN-SCa.*
3. *WirelessMAN-OFDM (IEEE 802.16 - 2004).*
4. *WirelessMAN-OFDMA (IEEE 802.16e)*

### 2.7.1 WirelessMAN-SC

Se trata de una versión “*single carrier*” la cual se utiliza para transmisiones LOS en la banda de frecuencias de 10 - 66 GHz. Utiliza las técnicas *TDD* y *FDD* para optimizar el uso del espectro permitiendo ajustar los parámetros de transmisión,

modulación y codificación que son aplicados a cada suscriptor desde una estación base.

### 2.7.2 WirelessMAN-SCa

Está diseñada para operación *NLOS* en bandas de frecuencias por debajo de 11 GHz. Los anchos de banda de canal permitidos deben ser limitados y lo mínimo que permite es 1,75 MHz. Utiliza las técnicas *TDD* y *FDD*, soporta los sistemas de antenas inteligentes y se utiliza en los sistemas fijos.

### 2.7.3 WirelessMAN-OFDM (802.16 - 2004)

*OFDM* es una técnica de modulación multiportadora, en lugar de transmitir la información en una única portadora, se divide el ancho de banda disponible en un conjunto de portadoras, cada una de las cuales transporta un ancho de banda muy pequeño, ya que es mucho más sencillo ecualizar las portadoras individuales de *OFDM* que ecualizar una señal de portadora simple más extensa.



**Figura. 2.13. Sistema monoportadora vs. Multiportadora**

Se ha convertido en el factor determinante para tecnologías inalámbricas de Banda Ancha, especialmente en ambientes *NLOS* para banda de frecuencias por debajo de los 11 GHz, ya que es resistente a las interferencias y degradaciones por

efectos de multitrayectoria y retardos, por lo cual utiliza antenas inteligentes; además permite obtener una alta eficiencia espectral, sin tener interferencia entre los canales.

### 2.7.4 WirelessMAN-OFDMA (802.16e)

La modulación para *WiMAX Móvil (IEEE 802.16e)* en la *Capa Física PHY* está basada en *OFDMA*. Se basa en el principio de la modulación *OFDM*, diseñada para trabajar en las bandas de frecuencia menores a 11 GHz y en ambientes *NLOS*, pero difiere ya que *OFDMA* va más allá empleando un mayor número de subportadoras en su estructura.

La estructura de un símbolo *OFDMA* consiste de tres tipos de subportadoras:

- Subportadoras para transmisión de datos.
- Subportadora piloto para propósito de estimación y sincronización.
- Subportadora de datos nula (*DC*)<sup>15</sup>. Usada para bandas de guarda y no es utilizada para la transmisión.

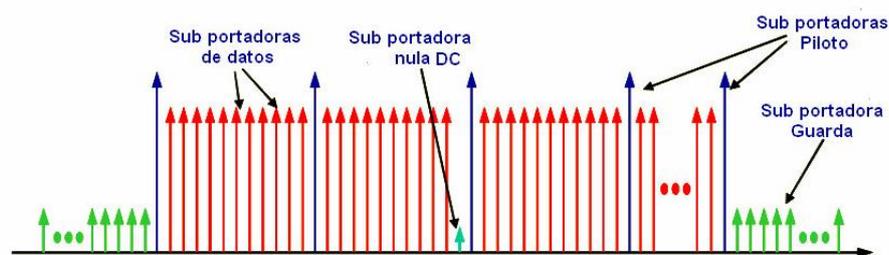


Figura. 2.14. Subportadora OFDMA [12]

Las Subportadoras Activas (datos y piloto) se agrupan dentro de un subconjunto llamado subcanales.

<sup>15</sup> DC: Data Carrier

Se tienen básicamente dos modos de subcanalización, el  $FUSC^{16}$  y el  $PUSC^{17}$ , siendo diferente la distribución de las sub portadoras piloto para cada uno de ellos.

En el modo de subcanalización de uso total ( $FUSC$ ) para el  $DL$ , primero se ubican las portadoras piloto y las restantes sub portadoras son divididas en los subcanales de datos. Para el modo de subcanalización de uso parcial ( $PUSC$ ) para el  $DL$  y el  $UL$  el grupo de subportadoras utilizadas (de datos y pilotos) primero se particiona en subcanales, y luego las subportadoras piloto son ubicadas dentro de cada sub canal. En  $FUSC$  hay un único grupo de subportadoras pero en  $PUSC$  cada sub canal contiene su propio grupo de subportadoras. Una estación suscriptora podría usar todos los subcanales dentro del período de la transmisión, o los varios clientes podrían transmitir cada uno usando una porción del número total de subcanales simultáneamente. [13]

En  $OFDMA$  el espacio de portadoras está subdividido en grupos, los cuales no tienen porque tener la misma amplitud, modulación ni codificación, estando estos parámetros en función del estado de enlace y del ancho de banda requerido por el usuario.

## 2.8 CAPA DE CONTROL DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

Esta Capa es la encargada de validar las tramas que se reciben, comprobando errores de transmisión y verificando los perfiles del destinatario, basado en los siguientes aspectos:

- *Calidad de Servicio (QoS)*: Soporta tasas de bit variable continua en tiempo real y en tiempo no real de mejor esfuerzo: Baja latencia para servicios que son sensibles al retardo (*VoIP*), transporte óptimo para tráfico con Tasas de Transmisión Variable con soporte de prioridad de información.

---

<sup>16</sup> FUSC: Fully Used Subchannelization

<sup>17</sup> PUSC: Paritally Used Sub-Carrier

- Solicitud de Petición Automática (*ARQ*)<sup>18</sup>: Rendimiento mejorado de extremo a extremo controlando los errores en la transmisión de datos inducidos en la Capa Física a los protocolos de Capas superiores.
- Soporte de Modulación Adaptativa: Permite alcanzar altas tasas de información permitidas por las condiciones del canal.
- Seguridad y Encriptación (*DES*)<sup>19</sup>: Protege la privacidad del usuario.

La Capa MAC es capaz de funcionar con diferentes especificaciones de Capa PHY optimizadas para diferentes bandas de frecuencia, además de ser orientada a conexión (*TCP*)<sup>20</sup>. Esta Capa se divide en subcapas con servicios específicos hacia las Capas superiores:

1. Subcapa de Convergencia.
2. Subcapa de Parte Común.
3. Subcapa de Seguridad.

### 2.8.1 Subcapa de Convergencia

Por medio de esta Subcapa, los equipos 802.16 pueden proveer interoperabilidad con distintos estándares. Esta Capa ejecuta las siguientes funciones:

- Acepta las Unidades de Datos de Protocolo (*PDU*)<sup>21</sup> de las Capas superiores.
- Ejecuta la clasificación de las *PDU*s de las Capas superiores.
- Procesa las *PDU*s de las Capas superiores basado en la clasificación.
- Entrega la *PDU* de servicio específico al punto de acceso al servicio.

El estándar define dos tipos de Subcapa de Convergencia: la Subcapa de Convergencia *ATM* y la Subcapa de Convergencia de paquetes: la primera transporta celdas *ATM* y la segunda paquetes *IP*, tramas *Ethernet*.

---

<sup>18</sup> ARQ: Automatic Repeat ReQuest

<sup>19</sup> DES: Data Encryption Standard

<sup>20</sup> TCP: Transmission Control Protocol

<sup>21</sup> PDU: Protocol Data Unit

## 2.8.2 Subcapa de Parte Común

Esta Subcapa cumple con la función de proporcionar un interfaz independiente del medio a la *Capa PHY*. Fue diseñado para soportar topologías *PTP*, *PMP*, y malla. Además, es un protocolo orientado a conexión y es la que proporciona *QoS* a las conexiones con niveles de servicio.

**Calidad de Servicio.** Se refiere a la capacidad de una red para proporcionar prioridad incluyendo ancho de banda dedicado, estado latente (requerido por un cierto tráfico en tiempo real e interactivo) y las características mejoradas de pérdida. Una red debe garantizar un cierto nivel de *QoS* para un determinado tipo de tráfico que sigue un conjunto específico de parámetros. Los parámetros de *QoS* son: control de la velocidad de transmisión (específicamente la velocidad mínima), control de latencia, control de la variación del retardo (*jitter*) y control de pérdida de paquetes o tasa de bits errados.

El estándar *IEEE 802.16* tiene definido cuatro métodos de solicitud de reserva de ancho de banda, para cuatro tipos de servicio diferentes:

- **Servicio Garantizado no Solicitado (*UGS*)<sup>22</sup>:** servicio con retardo constante para voz y video en tiempo real. La estación base asigna periódicamente espacio disponible en el *UL* para cada conexión de este tipo que se haya establecido.
- **Servicio de Sondeo en Tiempo Real (*RtPS*)<sup>23</sup>:** diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generan paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempo constantes. A este se le ha hecho una extensión que ha logrado su propio espacio (Servicio de Sondeo en Tiempo Real Extendido). La estación base censa a cada dispositivo de usuario a la vez.
- **Servicio de Sondeo en Tiempo Extendido o No Real (*ErtPS*)<sup>24</sup>:** servicio de datos con retardo variable con capacidad garantizada para usuarios comerciales

---

<sup>22</sup> UGS: Unsolicited Guaranteed Service

<sup>23</sup> RTPS: Real Time Poll Service

<sup>24</sup> ErtPS: Extended Real Time Protocol Service

de alta prioridad. Diseñado para el soporte de conexiones que no presenta requisitos en tiempo real.

- **Servicios de Mejor Esfuerzo (BE)<sup>25</sup>**: servicio de datos del mejor esfuerzo pensado para el tráfico de este tipo, como podría ser el acceso a *Internet*.

**Niveles de Servicio.** Uno de los aspectos más atractivos para los proveedores de servicio y los usuarios es la capacidad de *WiMAX* de proporcionar diferentes niveles de servicio. Por ejemplo, una estación base puede proporcionar hasta 15 Mbps (*IEEE 802.16e*); con esta capacidad se puede comprometer diferentes niveles de servicio, como por ejemplo 1 Mbps garantizado para los clientes del segmento empresarial; 128 Kbps en modalidad “*best effort*” o de mejor esfuerzo, para los clientes del segmento popular. También es posible adaptar las estaciones base de acuerdo al tipo de demanda, lo que relaciona directamente a la modulación, velocidades de transmisión y la distancia al cliente. Esta flexibilidad permite a los proveedores de servicio adaptarse a las necesidades de localidades de distribución específicas, haciendo que *WiMAX* sea rentable en una gran variedad de áreas geográficas.

*WiMAX* permite diferenciar *QoS* sobre latencia y tasa de errores. Esta capacidad permite adecuar dichos parámetros al tipo de transmisión. La mayoría de las comunicaciones pueden tolerar un nivel razonable de latencia, pero no admiten los errores de comunicación. Sin embargo, comunicaciones en tiempo real de audio y video son muy exigentes en cuanto a la latencia y más tolerantes en cuanto a errores. El poder diferenciar estos niveles de *QoS* permite manejar diversos servicios de comunicaciones en forma eficiente.

### 2.8.3 Subcapa de Seguridad

La seguridad provista para suscriptores fijos en una red inalámbrica de Banda Ancha se realiza mediante una encriptación entre el suscriptor y la estación base, ocupando el protocolo de administración de claves y privacidad (*PKM*)<sup>26</sup>. *PKM* es

---

<sup>25</sup> BE: Best Effort

<sup>26</sup> PKM: Protocol Key Management

usado para permitir la autenticación del suscriptor y ejecutar transferencias de claves hacia la estación base; está contemplado para ser usado con el estándar *IEEE 802.16d* y para *IEEE 802.16e* este protocolo se extiende hacia *PKM v2*. *WiMAX* propone una serie de características muy completas en materia de seguridad:

- Autenticación de usuario en base al protocolo *EAP*<sup>27</sup>.
- Autenticación del terminal, mediante intercambio de certificados digitales que impiden la conexión de terminales no autorizados.
- Cifrado de las comunicaciones utilizando algoritmos como el *DES* o el *AES*<sup>28</sup>, mucho más robustos que el *WEP*<sup>29</sup> utilizado en las *WLANs*.

Con todos estos protocolos, los operadores proveen una fuerte seguridad para evitar un “plagio” del servicio. Adicionalmente, las estaciones bases están protegidas contra el acceso no autorizado al servicio de transporte de datos, mediante la encriptación del flujo de los servicios asociados que cruzan la red. La privacidad se realiza mediante una autenticación cliente/servidor, utilizando protocolos de administración, en los cuales la estación base y el servidor controla la distribución de claves a los clientes.

## 2.9 WIMAX EN AMBIENTES LOS Y NLOS

Varias tecnologías actuales que proveen el servicio de Banda Ancha para la comunicación fija inalámbrica proporcionan cobertura sólo con *LOS*, por lo que se ha perfeccionado a la tecnología *WiMAX* para proporcionar cobertura *NLOS*. *WiMAX* ha desarrollado su tecnología para proveer lo mejor de ambos ambientes, cobertura de larga distancia por encima de los 50 Km bajo condiciones de *LOS* y celdas con radio de entre 2 y 5 Km en condiciones *NLOS*.

### 2.9.1 LOS

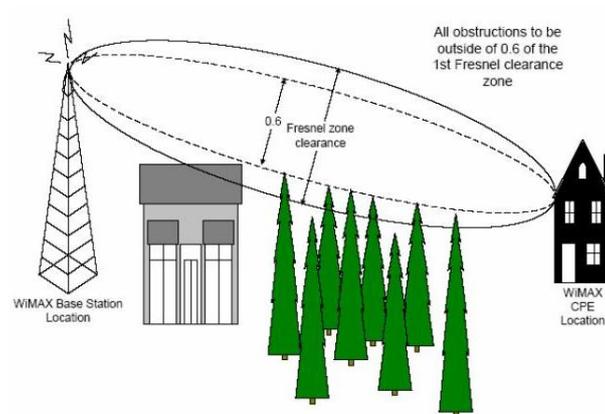
---

<sup>27</sup> EAP: Extensible Authentication Protocol

<sup>28</sup> AES: Advanced Encryption Standard

<sup>29</sup> WEP: Wireless Equivalent Privacy

Canal de radio con *LOS* entre la estación base y el suscriptor. En estos enlaces la señal viaja a través de un camino directo, sin obstáculos desde el transmisor hacia el receptor. Un enlace *LOS* requiere que el 60% de la primera *zona de Fresnel* esté libre de cualquier tipo de obstrucción, evitándose cualquier efecto de difracción en la señal. Por lo tanto, para establecer un enlace entre dos puntos con visibilidad directa se tiene que conocer la distancia y la altura de los obstáculos, fijar la frecuencia de operación, para determinar la altura del transmisor y receptor.



**Figura. 2.15. Propagación LOS**

## 2.9.2 NLOS

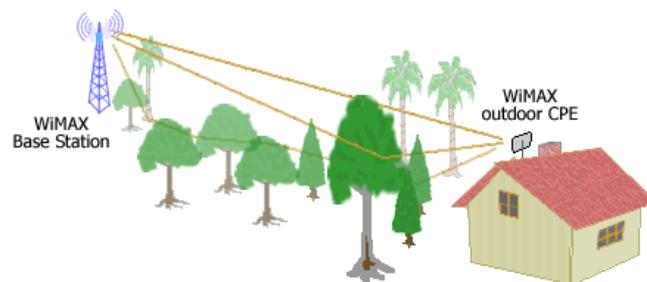
En un enlace *NLOS*, la señal transmitida alcanza al receptor por medio de componentes del camino directo, caminos reflejados múltiples (reflexiones), caminos de propagación por difracción (difracciones) y dispersiones.

Como los multitrayectos son muy comunes, éstas se convierten en una ventaja clave para proporcionar servicios en entornos obstruidos. Una tecnología que aumenta la potencia para penetrar obstrucciones (a veces llamadas *near line of sight*) no es una tecnología *NLOS* porque este acercamiento aún necesita de un camino directo para llegar a su objetivo. Las condiciones de cobertura para *LOS* y *NLOS* son

gobernadas por las características de propagación de sus ambientes, pérdidas de trayectoria y presupuesto del enlace.

La tecnología *WiMAX* utiliza diferentes técnicas que caracterizan los efectos de los enlaces *NLOS* (multicamino, difracciones, cambios de polarización, etc):

- Modulación *OFDM* – *OFDMA*, mediante subcanalización.
- Modulaciones Adaptativas.
- Antenas inteligentes.
- Diversidad de transmisión y recepción.
- Control de potencia.
- Modelos de propagación.



**Figura. 2.16. Propagación NLOS**

En base a esto, *WiMAX* presenta varios beneficios al trabajar en ambientes *NLOS*, pudiendo resaltar los siguientes:

- Incrementa la penetración y la cobertura en ambientes densamente obstruidos.
- Cobertura sin sombras o vacíos.
- No requiere mayores potencias de transmisión.
- Es transparente de la ubicación de los *CPEs* y tarjetas inalámbricas, por lo que la tecnología reduce la necesidad de un sitio de pre-instalación mejorando la precisión de las herramientas de planificación de *NLOS*.

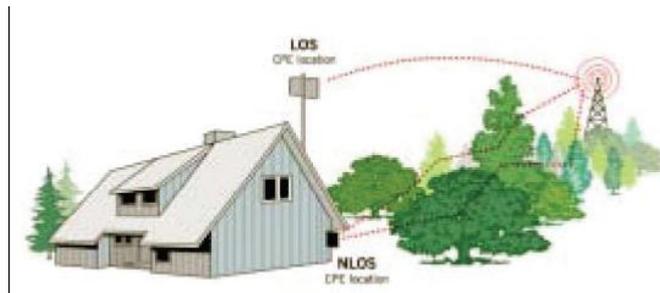


Figura. 2.17. Ubicación de CPE para LOS y NLOS

## 2.10 WIMAX MÓVIL

$$IEEE802.16e = IEEE802.16d + movilidad$$

Para permitir la movilidad de los usuarios conectados a la red, se llevaron a cabo ciertas modificaciones y mejoras para el éxito de esta tecnología preestablecida, tanto en la *Capa Física (PHY)* como en la *Capa de Acceso al Medio (MAC)*:

- Modificación en la *Capa Física (PHY)*: de *OFDM* a *OFDMA - SOFDMA*<sup>30</sup>.
- Modificación en la *Capa MAC*: seguridad, *handover (handoff)*, *roaming* y gestión de recursos (*QoS*, ancho de banda, potencia).

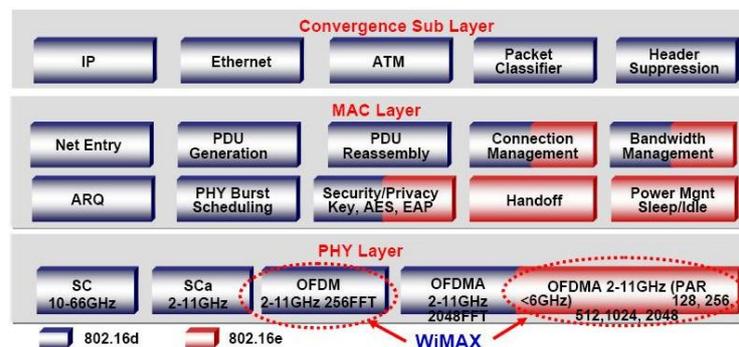


Figura. 2.18. Modificaciones de WiMAX Móvil frente a WiMAX Fijo [14]

<sup>30</sup> SOFDMA: Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access

### 2.10.1 Características de WiMAX Móvil

- Soporte para acceso fijo y principalmente móvil.
- *OFDMA* permite 1024 subportadoras y puede llegar a 2048 subportadoras mediante una modulación escalable como lo es *SOFDMA*.
- Optimizado para canales de radio móviles.
- Provee soporte para *handover*.
- *Roaming* global entre proveedores de servicio de WiMAX.
- Soporte a velocidades hasta 160 Km/h (en revisión).
- Bajas latencias para soporte mejorado de aplicaciones en tiempo real.
- Funcionalidades avanzadas AAA<sup>31</sup>, primordial para aspectos de seguridad y privacidad.
- Mecanismos de ahorro de energía para dispositivos móviles.

Pese a que el estándar *IEEE 802.16e* también soporta acceso fijo, los modos *OFDM* y *OFDMA* no son compatibles debido a que están basados en técnicas de modulación distintas, es decir un *CPE OFDMA* no trabajará con una red *OFDM*, ya que a más de la variante en la *Capa Física PHY*, la *Capa MAC* del *IEEE 802.16e* introduce nueva información de cabecera para procesos de *handover* de celda, seguridad, potencia, que son esenciales para soportar la movilidad de los suscriptores.

### 2.10.2 OFDMA Escalable

La tecnología *SOFDMA* asigna un cierto número de subportadoras a los diferentes abonados y soporta el acceso simultáneo a *Internet* de muchos suscriptores. Un usuario puede ocupar uno o más subcanales.

---

<sup>31</sup> AAA: Authorization, Authentication, Accounting

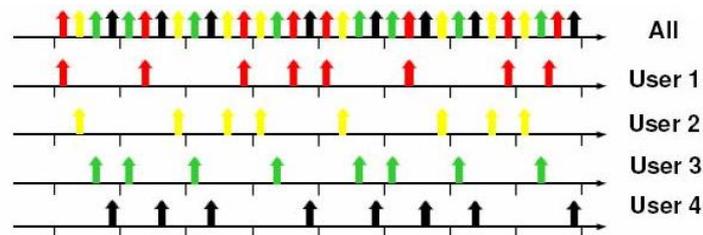


Figura. 2.19. PHY WirelessMAN – OFDMA

El estándar 802.16 soporta anchos de banda entre 1.75 y 20 MHz para ambientes *NLOS*; esta característica junto con el requerimiento de combinar el uso de modelo fijo y el móvil crean la necesidad de utilizar un diseño que sea escalable para *OFDMA*.

La escalabilidad es necesaria ya que *OFDM* no es capaz de entregar el tipo de desempeño requerido para su uso en vehículos en movimiento y ambientes multitrayecto. Es necesaria la mejora de escalabilidad ya que ésta garantiza un espaciamiento fijo entre las subportadoras en relación a las señales *OFDM*.

Si bien es similar al *OFMDA*, el *SOFDMA* posee más ventajas que este; el *SOFDMA* no modifica el ancho de las subportadoras por otros anchos de banda de canal y determina los números de subportadoras tomando una medición directa y proporcional del ancho de banda de canal. El ancho de la subportadora constante adquiere una utilización de espectro más alto en los canales anchos, reduce el costo de los canales angostos y mantiene la capacidad de interferencia por medio de diferentes anchos de banda de canal, lo que es básicamente consistente con la capacidad de soporte de movilidad. [15]

Tabla. 2.6. Parámetros principales de SOFDMA

Parámetros	Valores			
Ancho de Banda del Canal (MHz)	1.75	5	10	20
Tamaño del $FFT$ <sup>32</sup>	128	512	1024	2048
Número de subcanales	2	8	16	32

De ahí parte que:

- El número de las subportadoras usadas debe escalar con el ancho de banda.
- El número de subcanales escala con el tamaño del  $FFT$  (subportadoras).

**Estructura de Trama.** En bandas licenciadas, el método de duplexación puede ser  $FDD$  o  $TDD$ . En bandas no licenciadas, el método de duplexación será solamente  $TDD$ . Pese a que  $TDD$  requiere de sincronización, es el modo preferido de duplexación por las siguientes razones:

- $TDD$  posibilita el ajuste de la relación  $UL/DL$  para soportar eficientemente tráfico asimétrico entre ambos.
- $TDD$  requiere un solo canal tanto para  $UL$  como para  $DL$  proporcionando mayor flexibilidad para la adaptación de asignaciones de espectro globales.

La estructura de trama  $OFDMA$  para  $TDD$  indica que cada trama es subdividida en dos sub tramas, una para el  $UL$  y otra para el  $DL$ , con el fin de prevenir colisiones:

---

<sup>32</sup> FFT: Fast Fourier Transform

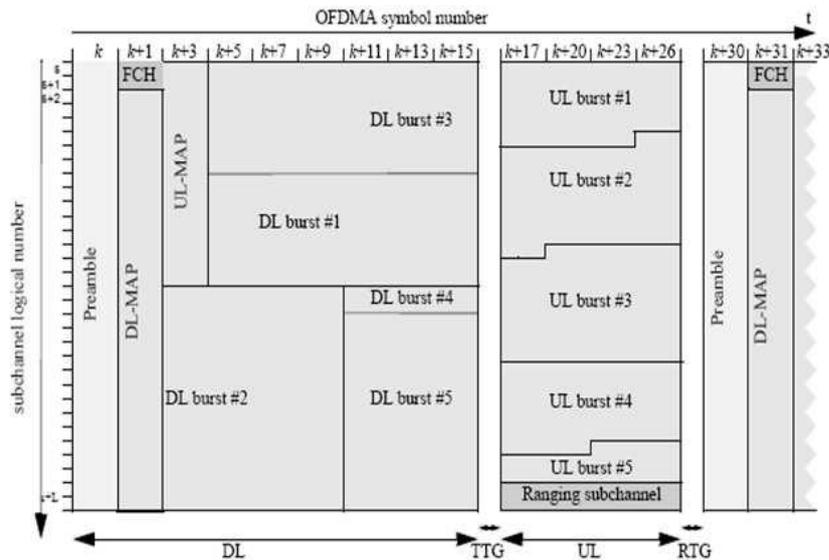


Figura. 2.20. Estructura de la trama para WiMAX Móvil [16]

Cada subtrama de *DL* y *UL* está separada por intervalos  $TTG^{33}$  y  $RTG^{34}$ . En una trama, la siguiente información de control es usada para asegurar un buen rendimiento en la operación del sistema:

- **Preámbulo:** Se utiliza en *802.16* como parámetros de sincronización y ecualización:
  - Se transmiten en todos los subcanales, y siempre en el primer símbolo de la trama.
  - Son codificados para asegurar robustez y baja sensibilidad hacia la interferencia.
- **Cabecera de Control de Trama (*FCH*)<sup>35</sup>:** Proporciona la información necesaria para la configuración de la trama: longitud del mensaje *MAP*, esquemas de codificación y subcanales utilizables.
- ***DL MAP* y *UL MAP*:** Son mensajes que programan el inicio de las ráfagas de la trama *OFDMA*. Contienen la ubicación del símbolo de subcanal de cada

<sup>33</sup> TTG: Transmit Transition Gap

<sup>34</sup> RTG: Receive Transition Gap

<sup>35</sup> FCH: Frame Control Header

ráfaga. Estos mensajes son broadcast ya que cada  $MS^{36}$  necesita saber cuando será transmitida y cuando está programada para transmitir datos.

- *Ráfagas (Burst)*: Cada transferencia ya sea *DL* o *UL* es manejada por una conexión. Cada conexión tiene parámetros en relación a su transmisión:
  - Tipo de modulación.
  - Codificación *FEC*.
  - Umbrales para cada esquema de modulación.

Cada conexión pertenece a uno de los perfiles de ráfagas y es por lo tanto transmitido dentro de cada parte de la trama. Las definiciones de ráfagas difieren para *DL* y *UL*.

- Ráfagas *DL*: Contiene las conexiones de una o varias *MSs* con la misma modulación y clase *FEC*. Aquí las ráfagas pueden ser tan extensas como la trama del subcanal en el dominio del tiempo.
- Ráfagas *UL*: Cada trama se dedica a una *MS*, sin embargo la modulación y la clase *FEC* se mantienen constantes.
- *Ranging subchannel*: El subcanal de alineación de *UL* es asignado a las *MSs* para realizar ajustes de potencia y requerimientos de ancho de banda.
- *TTG*: Es un intervalo entre la ráfaga de *DL* y la posterior ráfaga de *UL*. Este intervalo asigna tiempo a la estación base para conmutar del modo de transmisión al modo de recepción. Durante este intervalo, la estación base no está transmitiendo datos, sino simplemente pone al transmisor de la estación base en modo *idle*, y la sección del receptor de la antena *Tx/Rx* se activa. Después del intervalo, el receptor de la estación base buscará los primeros símbolos de la ráfaga de *UL*.
- *RTG*: Es un intervalo entre la ráfaga de *UL* y la posterior ráfaga de *DL*. Este intervalo asigna tiempo a la estación base para conmutar del modo de recepción al de transmisión. Durante este intervalo, la estación base pone a la sección del receptor en modo *idle*, y la sección del transmisor de la antena *Tx/Rx* se activa. Después del intervalo, los receptores del suscriptor buscarán los primeros símbolos de datos modulados (*QPSK*, *QAM*) en la ráfaga de *DL*.

---

<sup>36</sup> MS: Mobile Station

En *WiMAX Móvil* las principales modulaciones para el *DL* son *QPSK*, *16 QAM* y *64 QAM* mientras que en el *UL* la modulación *64 QAM* es opcional.

### 2.10.3 Técnicas de Corrección de Errores

La codificación *FEC*, *Reed Solomon*, codificación convolucional se utilizan para detectar y corregir errores con el objeto de mejorar las tasas de transferencia. Estas técnicas robustas de corrección de error ayudan a recuperar paquetes errados que pueden haber sido perdidos debido al multitrayecto y al desvanecimiento.

Para *WiMAX Móvil* se ha intensificado el uso del requerimiento de repetición automática híbrida (*H-ARQ*)<sup>37</sup> que sirve para corregir errores que no pueden ser conseguidos mediante las codificaciones anteriores, tratando la información errónea recibida y mejorando significativamente el *BER*<sup>38</sup>.

### 2.10.4 Antenas inteligentes

Las antenas inteligentes utilizan la tecnología de procesamiento digital de señales para rastrear la información espacial de cada abonado móvil con lo que genera haces de onda direccionales de espacio que utilizan completamente las señales de los abonados al mismo tiempo que elimina señales de interferencia. En base a las diferentes posiciones espaciales de los abonados, pueden transmitir y recibir las señales de cada abonado en el mismo canal para mejorar la utilización del espectro sin introducir una interferencia mutua significativa.

La transmisión/recepción de señales direccionales que utiliza este tipo de antenas elimina la interferencia de transmisión de otros abonados en las mismas celdas y en celdas adyacentes. Sintetizando señales de espacio, mejora las ganancias y reduce la potencia de transmisión de las antenas en direcciones especiales a las estaciones móviles. Además permite a los operadores contar con

---

<sup>37</sup> H-ARQ: Hybrid Automatic Repeat ReQuest

<sup>38</sup> BER: Bit Error Rate

una cobertura más amplia, reducir la utilización de estaciones base y mejora la utilización del espectro.

### 2.10.5 Control de Potencia

El control de potencia reduce el consumo de potencia global y las interferencias con estaciones base vecinas. Los algoritmos de control de potencia son implementados por la estación base, la cual envía información de control de potencia a cada *MS* para regular el nivel de potencia emitida, con el fin de prevenir la saturación del amplificador de potencia RF.

Las *MSs* deben reportar la máxima potencia disponible y la potencia transmitida actual, ya que estos parámetros pueden ser utilizados por la estación base para la asignación de los esquemas de codificación y modulación necesarios.

Otro aspecto a tomar en cuenta en las aplicaciones móviles radica en el manejo de potencia de los terminales móviles. *WiMAX Móvil* tiene dos modos de operación para las *MSs* con el objetivo de tener un manejo eficiente de la potencia:

- El modo *Sleep* es un estado en el cual la *MS* tiene períodos prenegociados de ausencia de la *BS*. Estos periodos están caracterizados por la indisponibilidad de la *MS* respecto a la estación base para el tráfico *UL* y *DL*. Este modo está planificado con el objetivo de minimizar el requerimiento del uso de potencia por parte de la *MS* y el uso de los recursos de la interfaz aire de la estación base en servicio.
- El modo *Idle* provee un mecanismo a la *MS* para que tenga predisposición de recibir mensajes “*broadcast*”, y de esta forma alertarse del tráfico *DL* entrante.

### 2.10.6 Soporte QoS

*WiMAX Móvil* posee varias características que le permiten cumplir con los requerimientos de *QoS* para una gran cantidad de servicios y aplicaciones, entre ellas la capacidad de manejar tráfico *DL/UL* asimétrico y el predisponer de mecanismos flexibles de asignación de recursos.

En la *Capa MAC*, *QoS* se provee mediante flujos de servicio. Los parámetros *QoS* asociados con el flujo de servicios definen la clasificación de la transmisión y la asignación en la interfaz aire, ya que ésta usualmente puede volverse un cuello de botella.

Tabla. 2.7. Categorías de QoS y Aplicaciones de WiMAX Móvil [17]

Categoría de QoS	Aplicación	Especificaciones de QoS
<p align="center"><b>UGS</b></p> <p align="center">Servicio Garantizado no Solicitado</p>	<p align="center"><i>VoIP</i></p>	<p>Tasa Máxima soportada.</p> <p>Máxima Tolerancia al Retardo (Latencia).</p> <p>Tolerancia al Jitter</p>
<p align="center"><b>RtPS</b></p> <p align="center">Servicio de Sondeo en Tiempo Real</p>	<p align="center"><i>Streaming</i> de Audio o Video</p>	<p>Tasa Máxima Reservada</p> <p>Tasa Máxima Soportada.</p> <p>Máxima Tolerancia al Retardo.</p> <p>Prioridad de Tráfico.</p>
<p align="center"><b>ErtPS</b></p> <p align="center">Servicio de Sondeo en Tiempo Real Extendido</p>	<p align="center">Voz con Detección de Actividad (<i>VoIP</i>)</p>	<p>Tasa Máxima Reservada.</p> <p>Tasa Máxima Soportada.</p> <p>Máxima Tolerancia al Retardo.</p> <p>Tolerancia al Jitter.</p> <p>Prioridad de Tráfico</p>
<p align="center"><b>NrtPS</b></p> <p align="center">Servicio de Sondeo en Tiempo no Real</p>	<p align="center">Protocolo de Transferencia de Archivo (<i>FTP</i>)<sup>39</sup></p>	<p>Tasa Máxima Reservada.</p> <p>Tasa Máxima Soportada.</p> <p>Prioridad de Tráfico.</p>
<p align="center"><b>BE</b></p> <p align="center">Servicio del Mejor Esfuerzo</p>	<p align="center">Transferencia de Datos, Navegación</p>	<p>Tasa Máxima Soportada.</p> <p>Prioridad de Tráfico.</p>

<sup>39</sup> FTP: File Transfer Protocol

### 2.10.7 Administración de Movilidad

El *handover* es el proceso en el cual una estación móvil emigra desde la interfaz aire provista por una estación base hacia la interfaz aire provista por otra estación base sin interrumpir la conexión en la ejecución de aplicaciones.

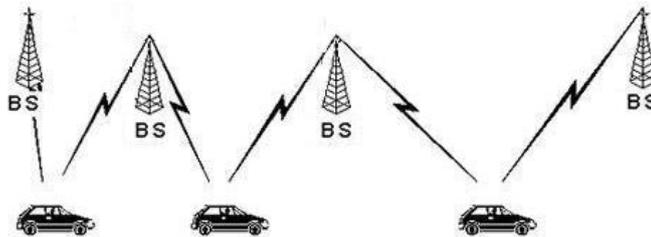


Figura. 2.21. Proceso de handover

Para *WiMAX Móvil*, los esquemas de *handover* están pactados a ser mejoradas en futuras actualizaciones en relación a los de telefonía móvil celular con latencias entre los 100 ms para asegurar aplicaciones en tiempo real como *VoIP*, *streaming* de audio y video, sin degradación del servicio.

**Soporte de Handover.** Soporta dos mecanismos de *handover*:

- *Hard handover* (mediante enlaces *break-before-make*): cuando el móvil hace una transición entre dos sistemas diferentes de operadores *WiMAX*.
- *Soft handover* (mediante enlaces *make-before-break*): conexión ininterrumpida en el cambio de una celda a otra.

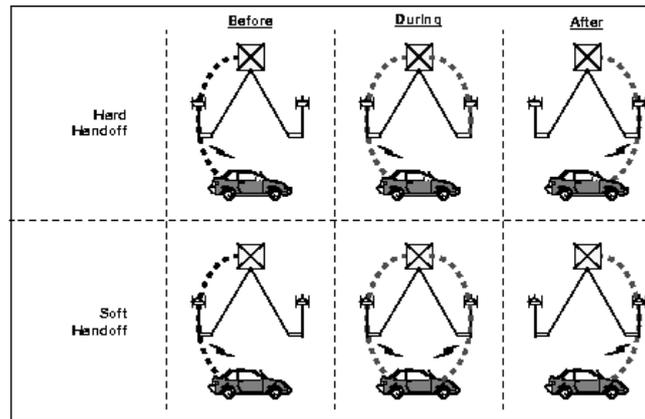


Figura. 2.22. Soporte de handover

### 2.10.8 Seguridad

Las características provistas para los aspectos de seguridad en *WiMAX Móvil* son esenciales y su autenticación está basada en *EAP*: Tarjetas Inteligentes, Certificados Digitales, y esquemas *Username/Password*.

El soporte asegura autenticación mutua equipo/usuario, basado en el Protocolo de Administración de Clave y Privacidad (*PKM v2*) siendo la base de la seguridad en *WiMAX Móvil*.

## 2.11 APLICACIONES

*WiMAX* está pensado principalmente como tecnología de “última milla” y se puede usar para enlaces de acceso, *MAN* o incluso *WAN*. Se destaca por su capacidad como tecnología portadora, sobre la que se puede transportar *IP*, *EL*, *ATM*, por lo que interesa seriamente a los operadores de telecomunicaciones, especialmente a los telefónicos y de datos.

Aunque la tecnología aún no se ha expandido lo suficiente para determinar cuales son los entornos de utilización, por sus características se pueden definir cuales serían algunos de los escenarios para su utilización. Es así, que el *WiMAX*

*Forum* ha identificado algunas aplicaciones para sistemas basados en *IEEE 802.16e*. Estas aplicaciones pueden ser clasificadas en cinco clases principales:

**Tabla. 2.8. Clases de Aplicaciones WiMAX [18]**

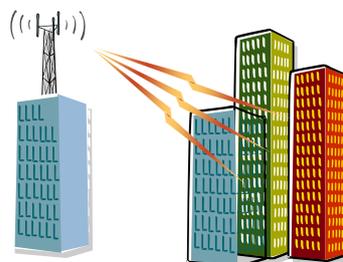
Descripción	Tiempo Real	Tipo de Aplicación	Ancho de banda
Juegos Interactivos	Si	Juegos Interactivos	50 – 85 Kbps
<i>VoIP</i> , Video conferencia	Si	<i>VoIP</i>	4 – 64 Kbps
		Video teléfono	32 – 384 Kbps
<i>Streaming Media</i>	Si	Música	5 – 128 Kbps
		<i>Video clips</i>	20 – 384 Kbps
		<i>Streaming video</i>	> 2 Mbps
Tecnología de la información	No	Mensajería instantánea	< 250 bytes
		<i>Web Browsing</i>	> 500 Kbps
		<i>E – mail</i> (con archivos adjuntos)	> 500 Kbps
Descarga de contenidos media ( <i>Store And Forward</i> )	No	Descarga de datos, películas	> 1 Mbps

### 2.11.1 Backhaul Inalámbrico

La solución de “*backhaul*” inalámbrico consta de conexiones *PTP* entre edificios con distancias de separación no superiores a los 5 Km y una velocidad de transmisión desde 2 Mbps a 20 Mbps (dependiendo del rango de frecuencias, altura, antenas, etc). Estas deben ser implementadas usando enlaces *LOS* para maximizar la efectividad de estas redes y pueden ser usadas en topología *PMP* para brindar una solución completa.

Las ventajas de un *backhaul* inalámbrico de Banda Ancha incluyen:

- Capacidad para transmitir gran cantidad de datos a una fracción del costo tradicional de servicios cableados.
- Puede proporcionar respaldo adicional para redes existentes.



**Figura. 2.23. Backhaul Inalámbrico**

Una de las aplicaciones más comunes para el backhaul inalámbrico constituye los *WISP*<sup>40</sup>, los cuales proporcionan el acceso de Banda Ancha de última milla brindando una solución de bajo costos para proveedores y usuarios de Internet, especialmente en áreas de difícil acceso.

Los ISPs inalámbricos están siendo usados en varias áreas:

- Para brindar servicios de Internet Inalámbrico.
- Sectores industriales (petroleras, refinerías).
- Municipalidades (telecentros comunitarios y educativos).
- Conectividad de Banda Ancha para eventos temporales (centros de exposiciones y convenciones).
- Educación (escuelas y colegios, universidades, politécnicas, centros de investigación).

Las ventajas de *ISPs* inalámbricos son:

---

<sup>40</sup> WISP: Wireless Internet Service Provider

- Habilidad para proporcionar servicio de última milla, donde no está disponible el servicio cableado tradicional.
- Escalabilidad para redes en crecimiento.
- Capacidad para conectar localidades desde una matriz a localidades sucursales remotas a través de una red segura y privada.

### 2.11.2 Internet Móvil

Mientras que el “*Internet Nómada*” ofrece conectividad dentro del área de cobertura de una estación base, el *Internet Móvil* ofrece conectividad continua de la comunicación a través de la red, es decir, el usuario móvil podrá trasladarse de una celda a otra (*handover* inteligente), teniendo un normal desempeño de servicios en forma transparente hasta con velocidades vehiculares de 160 Km/h.

La *Banda Ancha Móvil* trabaja en las bandas de frecuencia menor a 6 GHz, en ambientes *NLOS* utilizando modulación *OFDMA* con 1024 portadoras o *SOFDMA* de 2048 subportadoras y un alcance de hasta 5 Km por radio de celda.

*WiMAX* va a permitir una verdadera revolución en la movilidad inalámbrica, sin perder en ningún momento conectividad con anchos de banda superiores a 2 Mbps. Para su despliegue es necesario que exista un gran conjunto de celdas que contengan el equipamiento basado en el estándar *IEEE 802.16e*.

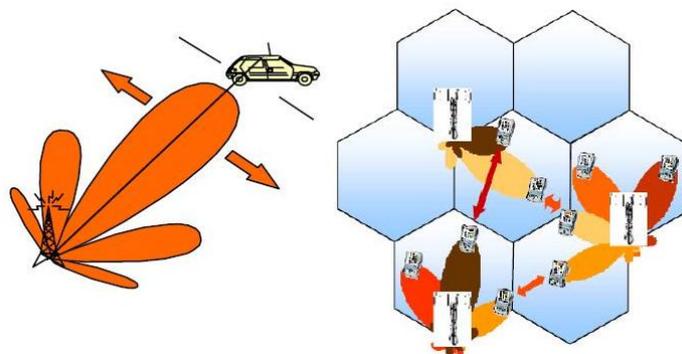


Figura. 2.24. Internet Móvil

### 2.11.3 Televisión sobre IP

La Televisión sobre IP (*IP TV*) se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión y/o video usando conexiones de Banda Ancha sobre *IP*. A menudo se suministra junto con el servicio de conexión a *Internet*, proporcionado por un operador de Banda Ancha sobre la misma infraestructura (principalmente medios cableados), con un ancho de banda reservado, principalmente para las aplicaciones de *video streaming*; pero últimamente se está considerando desplegarlas desde redes multiservicios las cuales garantizan *QoS*.

A diferencia de la situación actual, el proveedor no emitirá sus contenidos esperando que el espectador se conecte, sino que los contenidos llegarán sólo cuando el cliente los solicite. El usuario dispondrá de un aparato receptor conectado a su computador, terminal o televisión y a través de una guía podrá seleccionar los contenidos que desea ver o descargar para almacenar en el receptor y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee, este procedimiento corresponde al pago por evento o el video bajo demanda.



Figura. 2.25. Televisión sobre IP

#### 2.11.4 Telefonía IP

La telefonía *IP* es otro servicio que se puede ofrecer a través de *WiMAX* ya que puede soportar tanto circuitos de voz como *VoIP*, pero al momento de escoger entre los 2, hay que tomar en cuenta el costo de la infraestructura. Los equipos para circuitos de voz están en el rango de los millones de dólares, en tanto que la telefonía *IP* está soportada por *softswitches*, que basados en aspectos de *hardware*, *software* y protocolos especializados permiten el acceso a la red *IP*, con un costo alrededor de los diez mil dólares. En la telefonía *IP* el cambio fundamental se produce en la red de transporte: ahora esta tarea se lleva a cabo por una red basada en *IP* y de conmutación de paquetes.

Los elementos necesarios para que se puedan realizar llamadas a través de una red *IP* dependen en gran medida del tipo de terminal que se utilice en ambos extremos de la conversación. Estos pueden ser terminales *IP* o no *IP*. Los terminales *IP* pueden ser teléfonos, computadores multimedia, *fax IP*, etc, siendo capaces de entregar a su salida la conversación telefónica en formato de paquetes *IP*, además de ser parte de la propia red *IP*; los terminales no *IP* son teléfonos convencionales, *fax* convencional, etc, y para operar de manera similar a los primeros necesitan de un dispositivo intermedio para conectarlos a la red *IP* de transporte.

La *VoIP* es muy adecuada para dar un servicio de telefonía de larga distancia a bajo costo ya que todas las llamadas se facturan como locales.

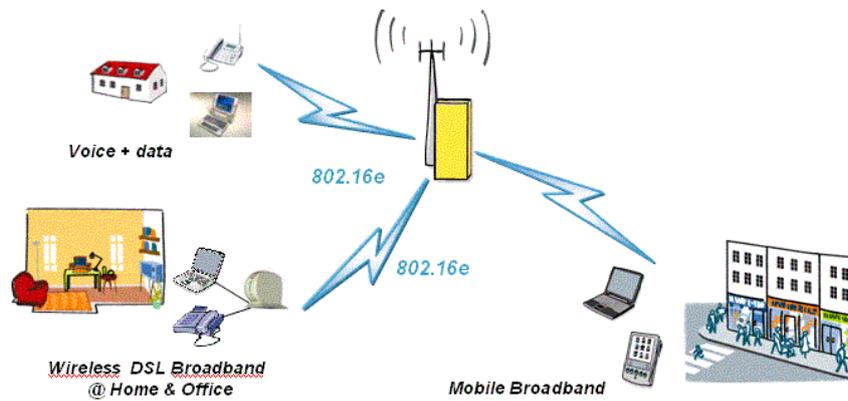


Figura. 2.26. Telefonía IP

### 2.11.5 Complemento a la Telefonía Celular

Una de las características en común que presentan ambas tecnologías es que requieren de torres de transmisión para su despliegue, y *WiMAX* puede presentarse como *backhaul* de los sistemas de telefonía celular para brindar el servicio de datos y video, de acuerdo a los requerimientos y necesidades del cliente en cada localidad.

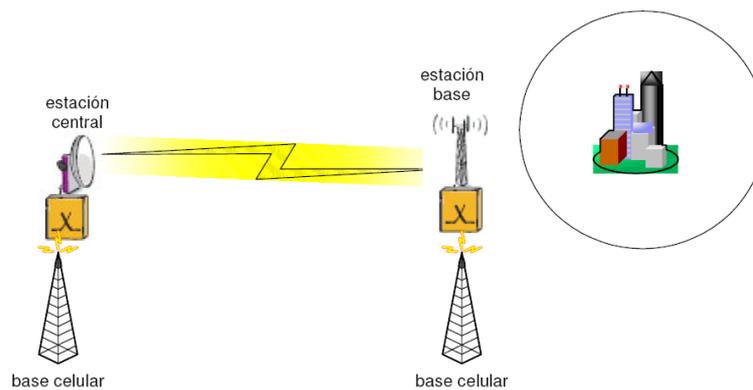


Figura. 2.27. WiMAX como backhaul de los operadores móviles celulares

### 2.11.6 Servicios Inalámbricos Mejor Conectados

Resulta una buena alternativa la complementariedad de soluciones inalámbricas recientes con soluciones cableadas existentes, para afianzar el despliegue rápido de servicios; por esta razón, sería indispensable que *WiMAX* se acople con soluciones como *ADSL* o *Cable Módem* (actualmente disponibles), ya que al usuario le incomodaría tener que mudar toda su infraestructura para implantar otra totalmente nueva, con el consecuente gasto que esto conlleva.

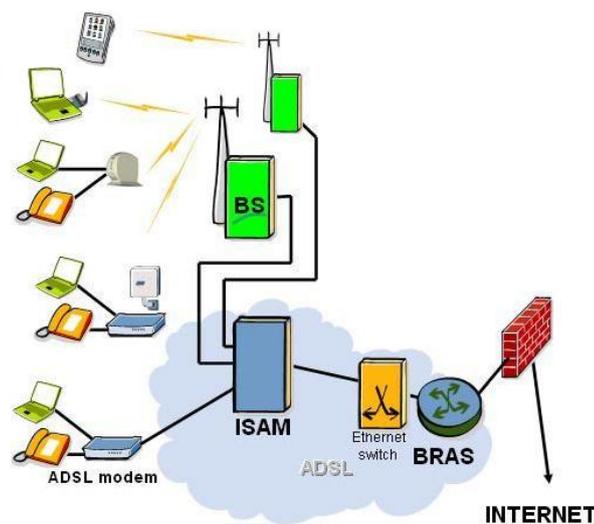


Figura. 2.28. Servicios Inalámbricos Mejor Conectados

## 2.12 COMPARACIÓN DE WIMAX MÓVIL FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

### 2.12.1 Wi-Fi

Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones *IEEE 802.11*.



Figura. 2.29. Logotipo Wi-Fi

A este estándar obedecen las *WLANs*, las mismas que se destacan al hacer uso de frecuencias radioeléctricas no sujetas a la concesión de licencias. Concretamente, se sitúan en las bandas de 2.4 y 5.8 GHz. Los estándares *802.11* actualmente vigentes son el *802.11a*, *802.11b*, *802.11g*, aunque el que mayormente se encuentra distribuido en el mercado es el *802.11b*.

Como se puede ver en el siguiente gráfico, a medida que la distancia al  $AP^{41}$  se incrementa, los productos *IEEE 802.11* proporcionan reducción de la tasa de transmisión.

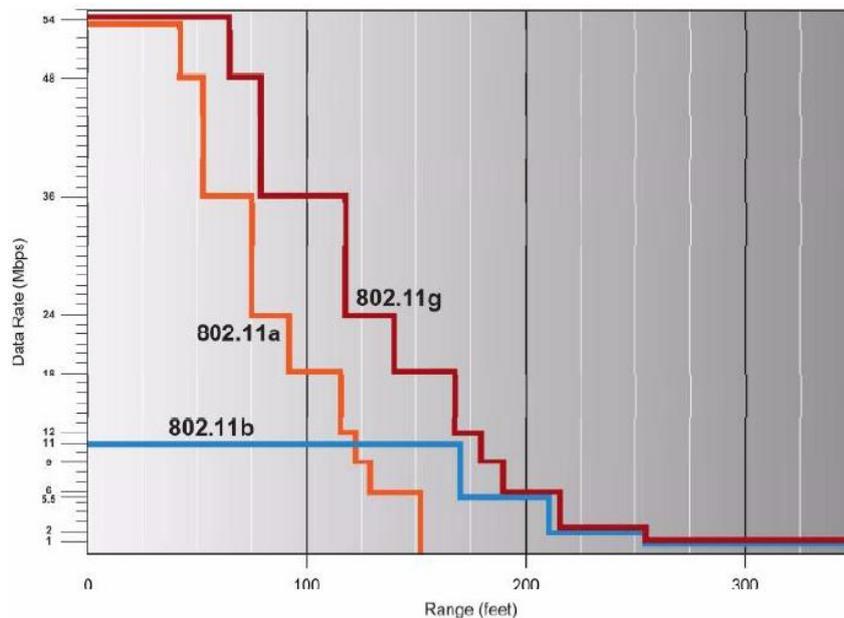


Figura. 2.30. Velocidades y alcances de los estándares IEEE 802.11a, b, g

<sup>41</sup> AP: Access Point

La siguiente tabla muestra las Capas Físicas de la norma *IEEE 802.11* para cada uno de estos estándares:

**Tabla. 2.9. Capa Física del Estándar 802.11**

Estándar	Banda de frecuencia	Modulación	Alcance	Velocidad máxima
<i>802.11a</i>	5.8 GHz	<i>OFDM</i>	50 m	54 Mbps
<i>802.11b</i>	2.4 GHz	<i>DSSS</i> <sup>42</sup>	100 m	11 Mbps
<i>802.11g</i>	2.4 GHz	<i>DSSS/OFDM</i>	100 m	54 Mbps

Con el fin de posibilitar una planificación de red mejorada, se han propuesto distintas soluciones que perfeccionan la operación de *802.11*, ya que una de las limitantes principales es que no hacen uso de *QoS*, carecen de procesos de administración de movilidad, y poseen vulnerabilidades en el tema de seguridad. Por eso se están planteando recomendaciones para su consolidación:

**Tabla. 2.10. Estándares complementarios al IEEE 802.11**

Estándar	Ampliación
<i>802.11e</i>	Define niveles de <i>QoS</i> . Bajo estudio.
<i>802.11f</i>	Añade al estándar <i>802.11</i> factores de movilidad, similares a los utilizados en redes móviles. Es una recomendación.
<i>802.11i</i>	Intenta resolver los elementos de seguridad y cifrado del estándar básico.

**Aplicaciones y Beneficios de Wi – Fi.** El estándar *IEEE 802.11* ha evolucionado considerablemente y es el estándar de red inalámbrica más comúnmente utilizado hoy en día. Existen múltiples áreas de aplicación para las redes inalámbricas, es así

<sup>42</sup> DSSS: Direct-Sequence Spread Spectrum

que éstas pueden ser utilizadas para la ampliación de una red *LAN* cableada en lugares de complicado acceso para los cables de par trenzado.

Por otro lado, una solución mixta inalámbrico-cableada parece la más adecuada para una entidad de cualquier índole, ya que en base a esto se nota un gran beneficio de este tipo de redes, debido a la flexibilidad que tienen para integrar usuarios ya sea de manera temporal o permanente, sin necesidad de realizar adecuaciones físicas a su infraestructura (a excepción de instalación de *AP* que no conllevan mayor problema); un ejemplo clásico radica en entidades profesionales que prácticamente han mudado los *PCs* de escritorio hacia *laptops* debido a la gran demanda en la libertad de cambios corporativos y organizacionales que últimamente se están dando lo que conlleva a la integración de la red independientemente del puesto físico de trabajo.

*Wi-Fi* aparece también en el hogar como una alternativa para el *Home Networking*, es decir su utilización permite la interconexión de diferentes dispositivos de forma inalámbrica bajo un mismo estándar de forma sencilla y económica.

Todo esto desemboca en el ámbito económico: la compatibilidad existente entre equipos de diferentes fabricantes y los precios de este tipo de equipamiento se ha reducido drásticamente, a más de no necesitar una banda licenciada que conlleve costos adicionales, la han convertido en la solución más interesante.

**Comparación entre WiMAX Móvil y Wi-Fi.** *Wi-Fi* y *WiMAX* presentan interesantes y atractivas características para su utilización como tecnologías de acceso de Banda Ancha; sin embargo, *WiMAX* está llamada a ser la sucesora o talvez el complemento tecnológico de *Wi-Fi* con el fin de superar sus limitaciones como radio de cobertura, escalabilidad de red para adaptar usuarios, aspectos de seguridad y mecanismos de *QoS*:

- *Wi-Fi* comienza a degradarse cuando trabajan más de 20 personas de forma concurrente; esto se debe a que fue diseñado para *LAN*, como alternativa al

cableado estructurado para aquellos edificios que, o no poseían, o no podían hacer frente a la instalación del mismo por motivos económicos o de cualquier otra índole, en tanto que *WiMAX Móvil* puede soportar más allá de cientos de usuarios con tan sólo una estación base.

- Además de tener que contar con una gran potencia para la transmisión a grandes distancias, *Wi-Fi* tiene bastantes dificultades cuando encuentra algún obstáculo en su camino; la señal de *Wi-Fi* se ve afectada por el hormigón, en tanto que *WiMAX Móvil* puede atravesar árboles y muros debido a su característica de operación en ambientes *NLOS*, lo que lo vuelve más eficiente, y con un alto índice de penetración.
- *Wi-Fi* soporta radios de cobertura de hasta unas varias decenas de metros, en tanto que *WiMAX Móvil* pueden soportar radios de varios kilómetros, debido a su modulación adaptativa, tipo de antenas, entre otras, además de ofrecer movilidad a sus usuarios.
- Pese a que *Wi-Fi* utiliza claves de usuario, presenta deficiencias en aspectos de seguridad lo que las hace vulnerables a ataques externos e incursiones no autorizadas a la red, mientras que *WiMAX Móvil* ha priorizado la confidencialidad e inviolabilidad de los usuarios con versiones actuales de encriptación de tráfico, administración de claves que son de gran importancia, ofreciendo seguridades similares a las de las redes celulares.
- Una de las diferencias más importantes entre *Wi-Fi* y *WiMAX Móvil* radica precisamente en que la primera no soporta *QoS*, ya que no fue ideada para la transmisión de voz. *WiMAX*, por el contrario, contempla esta posibilidad desde su origen; es una tecnología pensada desde cero para entornos “*All IP*”, y mediante *QoS* permite hacer priorización de paquetes.

Tabla. 2.11. Comparación entre Wi-Fi y WiMAX Móvil [19]

	Wi-Fi	WiMAX Móvil
Cobertura Aproximada	Inferior a 100 m	1 – 5 Km ( <i>NLOS</i> )
Desempeño	Para cortos rangos de espacios de interiores	Para ambientes <i>NLOS</i> (banda de 2 – 11 GHz). Soporta técnicas de antena avanzadas, modulación adaptativa, técnicas de detección de errores
Escalabilidad	Aplicación <i>LAN</i> . El incremento de usuarios puede afectar el rendimiento que brinde el <i>AP</i>	Soporte eficiente de cientos de estaciones suscriptoras por estación base. Canales flexibles de ancho de banda.
Tasa de bit	11 Mbps en canales de 20 MHz	15 Mbps en canales de 10 MHz
QoS	Sin soporte de <i>QoS</i>	Soporte nativo de <i>QoS</i> en la capa <i>MAC</i> . Niveles de diferenciación de servicios.

### 2.12.2 GSM

El *Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles)*, es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo. Es el estándar predominante en todo el mundo por los usuarios de telefonía celular.

*GSM* difiere de sus antecesores principalmente en que tanto los canales de voz como las señales son digitales, por lo que tienen óptimos niveles de seguridad.

*GSM* emplea un formato de modulación digital denominado *GMSK*<sup>43</sup> que es un tipo de modulación de fase. Para el acceso en el interfaz radio utiliza *TDMA*<sup>44</sup> de banda estrecha entre la estación base y el teléfono celular utilizando 2 canales de radio de frecuencia *dúplex*. Para minimizar las fuentes de interferencia y conseguir una mayor protección utiliza el *frequency hopping* o salto en frecuencia entre canales.

*GSM* tiene cuatro versiones principales de bandas de operación: *GSM-850*, *GSM-900*, *GSM-1800* y *GSM-1900*. *GSM-900* (900 MHz) y *GSM-1800* (1.8 GHz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en *Estados Unidos* y *Canadá*, en los que se utilizan las bandas de *GSM-850* y *GSM-1900*, ya que en *Estados Unidos* las bandas de 900 y 1800 MHz están ya ocupadas para usos militares.

El *GSM*, se puede dedicar tanto a voz como a datos. Una llamada de voz utiliza un codificador *GSM* específico a una velocidad total de 13 Kbps. Una conexión de datos, permite que el usuario utilice el móvil como un *módem* de 9600 Kbps, y admite servicios de datos con una velocidad neta de 12 Kbps; pero las redes *GSM* poseen ciertas limitaciones para la transmisión de datos:

- Bajas velocidades de transmisión.
- Tiempo de establecimiento de conexión, de 15 a 30 segundos. Además las aplicaciones deben ser reinicializadas en cada sesión.
- Pago por tiempo de conexión.
- Problemas para mantener la conectividad celular entre naciones (*Roaming*).

La baja velocidad de transferencia limita la cantidad de servicios para *Internet*; por ejemplo a 9.6 o 12 Kbps no se puede navegar por *Internet* de una manera satisfactoria, si además, se tiene en cuenta que se paga por tiempo de

---

<sup>43</sup> GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying

<sup>44</sup> TDMA: Time Division Multiple Access

conexión, con lo que los costos se disparan. La combinación de estos factores hace que *GSM* sea una tecnología mayoritariamente utilizada para voz y no para datos.

**Tabla. 2.12. Comparación entre GSM y WiMAX Móvil**

Característica	GSM	WiMAX (IEEE 802.16e)
Velocidad	9.6 – 12 Kbps	15 Mbps
Espectro de Frecuencias	850, 900, 1800, 1900 MHz	2 – 6 GHz
Cobertura	1 – 5 Km	1 – 5 Km

Las implementaciones más veloces de *GSM* se denominan *GPRS* y *EDGE*, también denominadas generaciones intermedias o *2.5G*.

### 2.12.3 GPRS<sup>45</sup>

Las tradicionales redes *GSM* no se adaptan adecuadamente a las necesidades de transmisión de datos con terminales móviles. Por ello surge una nueva tecnología portadora denominada *GPRS* que unifica el mundo *IP* con el mundo de la telefonía móvil, creándose toda una red paralela a la de *GSM*, y orientada exclusivamente a la transmisión de datos. Al sistema *GPRS* se le conoce también como *GSM-IP*.

Es una nueva tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red *GSM* utilizando transmisión de datos por medio de conmutación por paquetes con velocidades moderadas.

<sup>45</sup> GPRS: General Packet Radio Service

La conmutación por paquetes permite fundamentalmente la compartición de los recursos de radio. Un usuario *GPRS* solamente usará la red cuando envíe o reciba paquetes de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en *GSM* sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, *GPRS* permite compartir cada canal por varios usuarios, pasando de velocidades de 9.6 y 12 Kbps en *GSM* a 171.2 Kbps en *GPRS*. Así, con *GPRS* no sólo la velocidad de transmisión de datos se ve incrementada, sino que mejora la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

Para utilizar *GPRS* se precisa un teléfono que soporte esta tecnología. Estos terminales soportan también *GSM*, por lo que podrán realizar sus llamadas de voz utilizando la red *GSM* de modo habitual y acceder a servicios de datos (conexión a *Internet*, *WAP*<sup>46</sup>).

La tecnología *GPRS* brinda la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, tarifando únicamente por el volumen de datos transferidos (enviados y recibidos) y no por el tiempo de conexión como sucede en *GSM*.

---

<sup>46</sup> WAP: Wireless Application Protocol

Tabla. 2.13. Comparación entre GPRS y WiMAX Móvil

Característica	GPRS	WiMAX (IEEE 802.16e)
Velocidad	171.2 Kbps	15 Mbps
Espectro de Frecuencias	850, 900, 1800, 1900 MHz	2 – 6 GHz
Cobertura	1 – 5 Km	1 – 5 Km

#### 2.12.4 EDGE<sup>47</sup>

*EDGE* se considera una evolución del *GPRS*. Aunque *EDGE* funciona con cualquier *GSM* que tenga incorporado *GPRS*, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias para que los teléfonos móviles soporten esta tecnología.

*EDGE* puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes, como lo es la conexión a Internet. Los beneficios de *EDGE* sobre *GPRS* se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos más alta, como video y otros servicios multimedia.

*EDGE* usa 8 - PSK<sup>48</sup> que produce una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora. Con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda *GSM*.

*EDGE* puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 Kbps en modo de paquetes, con lo cual cumple los requisitos de la *UIT* para una red 3G. *EDGE* fue estrenado en las redes *GSM* de Norte América en el año 2.003.

<sup>47</sup> EDGE: Enhanced Data rates for Global Evolution

<sup>48</sup> PSK: Phase-Shift Keying

Tabla. 2.14. Comparación entre EDGE y WiMAX Móvil

Característica	EDGE	WiMAX (IEEE 802.16e)
Velocidad	384 Kbps	15 Mbps
Espectro de Frecuencias	1900 MHz	2 – 6 GHz
Cobertura	1 - 5 Km	1 – 5 Km

### 2.12.5 Tecnología 3G

El propósito de *3G* consiste en superar las limitaciones tecnológicas de sus antecesores (*2G* y *2.5G*). Actualmente *3G* es considerada en el mercado mundial por la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a *Internet*, aplicaciones multimedia, con velocidades de transmisión de 2 Mbps, además de proyectarse hacia aplicaciones de *roaming* global.

Los sistemas *3G* poseen las siguientes características y proveen soporte para aplicaciones como:

- Velocidades de 2.048 Mbps en oficinas, es decir en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores.
- Calidad de voz comparable a la que ofrece una red telefónica pública.
- Aplicaciones audio/video en tiempo real.
- Velocidades de transmisión de datos de 384 Kbps para peatones (portabilidad).

- Velocidades de transmisión de datos de 144 Kbps para usuarios de vehículos en movimiento viajando a velocidades inferiores a los 100 Km/h.
- Soporte para servicios basados en conmutación por paquetes y conmutación por circuitos.
- Mayor eficiencia del espectro disponible.
- Soporte para una gran variedad de equipo móvil.
- Introducción flexible hacia nuevos servicios y tecnologías.

Los entes involucrados con los sistemas 3G han propuesto básicamente 2 tipos de tecnologías: *CDMA2000* y *UMTS*<sup>49</sup>.

**CDMA2000.** *CDMA2000* es una familia de estándares en telecomunicaciones móviles 3G que utilizan modulación *CDMA*, un esquema de acceso múltiple para redes digitales, para enviar voz, datos, y señalización (como un número telefónico marcado) entre teléfonos celulares y estaciones base. Esta es la segunda generación de la telefonía celular digital *CDMA*.

*CDMA* permite compartir el mismo canal de frecuencia con múltiples terminales operando en bandas de frecuencias entre los 400 y 2100 MHz; lo contrario sucede en *TDMA*, el sistema competidor usado en *GSM*, en donde todas las terminales pueden estar activas todo el tiempo, porque la capacidad de la red no limita directamente el número de terminales activas. *CDMA2000* es estandarizado por *3GPP2*<sup>50</sup>, además múltiples ventajas sobre *GSM*:

- Posee velocidades de transmisión mucho más altas (de hasta 1.8 Mbps).
- Permite cubrir áreas mucho mayores.
- Disminución de las necesidades en despliegue y costos de funcionamiento debido a que se necesitan muy pocas ubicaciones de celda.
- Bajo consumo de energía lo cual ofrece más tiempo de conversación y permite baterías más pequeñas y livianas.

---

<sup>49</sup> UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

<sup>50</sup> 3GPP2: Third Generation Partnership Project 2

Tabla. 2.15. Comparación entre CDMA2000 y WiMAX Móvil

Característica	CDMA2000	WiMAX (IEEE 802.16e)
Velocidad	1.8 Mbps	15 Mbps
Espectro de Frecuencias	400, 800, 1700, 1800, 1900, 2100 MHz	2 – 6 GHz
Cobertura	1 - 8 Km	1 – 5 Km

**UMTS.** *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)* es una tecnología que permite introducir muchos más usuarios a la red global del sistema, además de incrementar la velocidad a 2 Mbps por usuario móvil. Sucesor de *GSM*, también llamado *W-CDMA*<sup>51</sup>.

Utiliza eficientes técnicas de conmutación de paquetes y circuitos, que la hacen apropiada para una gran variedad de usuarios, tipos de servicios y aplicaciones, así como de prestaciones:

- Facilidad de uso y bajos costos: *UMTS* proporciona servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para realizar un fácil acceso a los distintos servicios y bajo costo de los mismos para asegurar un mercado masivo.
- Gran desempeño: La principal ventaja de *UMTS* sobre tecnologías anteriores, es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 Kbps sobre vehículos a gran velocidad, 384 Kbps en espacios abiertos y 2 Mbps con baja movilidad (interior de edificios). Esta capacidad sumada al

<sup>51</sup> W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access

soporte *IP*, se combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de Banda Ancha en tiempo real como video telefonía y video conferencia.

- Proyección futurista: Las proyecciones muestran una base de abonados de servicios multimedia en fuerte crecimiento hacia el año 2010. Apunta directamente a ofrecer *roaming* internacional así como la capacidad de ofrecer diferentes formas de tarificación.

**Tabla. 2.16. Comparación entre UMTS y WiMAX Móvil**

<b>Característica</b>	<b>UMTS</b>	<b>WiMAX (IEEE 802.16e)</b>
Velocidad	2 Mbps	15 Mbps
Espectro de Frecuencias	1.8, 1.9, 2.1 GHz	2 – 6 GHz
Cobertura	1 - 8 Km	1 – 5 Km

Pese a estas ventajas y beneficios que presenta *3G*, una red *4G* se presenta mucho más atractiva ya que permite la movilidad completa con prestaciones similares pero mejoradas (específicamente en relación a las velocidades de transmisión), y una forma práctica que corrobora esta afirmación en aplicaciones de datos, video y voz es el siguiente gráfico:

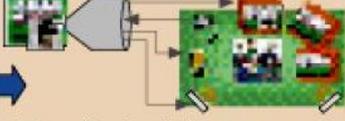
	3G (IMT-2000)	4G
File	10 MB	10 MB
Download time	About 200 s	About 1 s
Image		
Image (resolution)	352 × 288 pixels (CIF)	1024 × 1920 pixels (Hi-Vision)
Bit rate	384 kb/s	24 Mb/s × 2 (stereo)
Awareness		
Kinds of information	Voice	3-D audio-visual-air pressure
Bit rate	3.4 kb/s	50 Mb/s

Figura. 2.31. Comparación entre 3G y WiMAX Móvil

### 2.13 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE WIMAX MÓVIL

*WiMAX Móvil* apunta a ser líder en soluciones inalámbricas en función de todo el despliegue e inversión que se ha hecho en su favor, sin embargo al ser una tecnología aún no posicionada en el mercado, su predicción todavía se mantiene incierta.

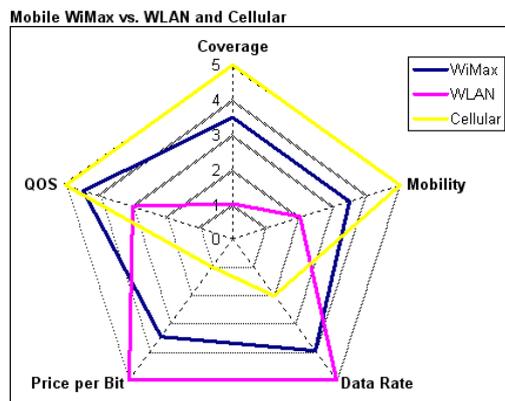


Tabla. 2.32. Posicionamiento de WiMAX Móvil frente a otras tecnologías

Entre las ventajas que caracterizan a *WiMAX Móvil* se encuentran:

- Tiene un amplio rango de cobertura, lo que permitiría que el servicio inalámbrico se expanda en entornos remotos.
- Alta capacidad de crecimiento, debido a que es una red fácilmente escalable.
- Soporta *QoS*, para aplicaciones de voz, video y datos.
- Posee esquemas de seguridad y encriptación de tráfico muy confiables.
- Es una tecnología para uso fijo, portable y móvil.
- Posee altas velocidades de transmisión.
- Tiene gran eficiencia espectral.

Por otro lado, al ser una tecnología que aún está en pleno proceso de desarrollo y madurez, también existen ciertas desventajas que hacen que continúe haciéndose ajustes e investigaciones a fin de lograr su consolidación definitiva, entre las que se encuentran:

- Lograr la certificación de la gran mayoría de equipos de acuerdo a los lineamientos del *WiMAX Forum*, porque de lo contrario, la interoperabilidad se ve afectada; por eso, los fabricantes deben implementar muchas de las capacidades opcionales de *WiMAX* para conseguir el rendimiento que se acerque a lo que hoy es posible con tecnologías propietarias.
- Los precios de los *CPEs* para *WiMAX Móvil* aún son costos elevados y no ha sido claramente especificado su funcionamiento, es decir cuales servirían para aplicaciones fijas y móviles; además deberían aparecer terminales similares a los teléfonos celulares lo que conlleva a gastos adicionales.
- En función de las frecuencias que se empleen se puede necesitar una licencia para poder emplear esta tecnología, con lo que el costo puede ser alto y puede resultar poco interesante para microempresas u otras organizaciones.
- Se predicen posibles fisuras en la conectividad de los usuarios móviles a la red en el proceso de *handover* y las tasas de transferencia específicas de acuerdo a la velocidad vehicular son impredecibles para ciertas condiciones.
- No existen aún aplicaciones de *roaming* internacional.

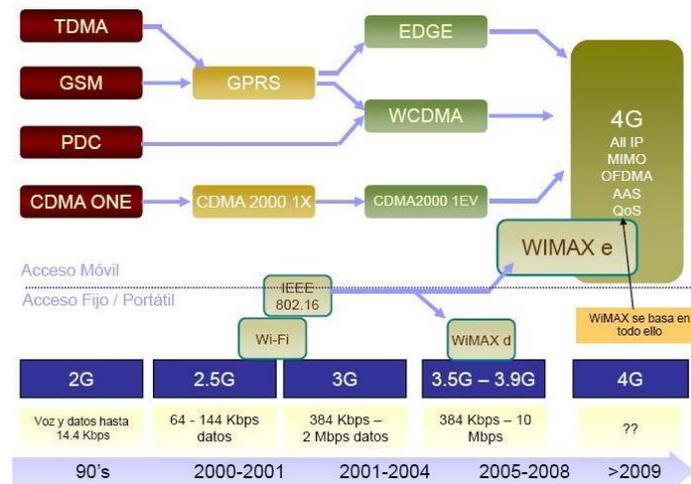


Figura. 2.33. Evolución de las Tecnologías Inalámbricas

## 2.14 COMPLEMENTARIEDAD DE WIMAX MÓVIL CON WI - FI Y 3G

Desde hace ya algún tiempo la industria inalámbrica se ha estado preparando para un posible enfrentamiento tecnológico entre 3G de telefonía móvil, *Wi-Fi* y *WiMAX Móvil*. Los estudios y reportes emitidos tratan de ver las ventajas y desventajas de que se posicionen tres tecnologías aparentemente dispares en el aspecto técnico pero con el mismo objetivo.

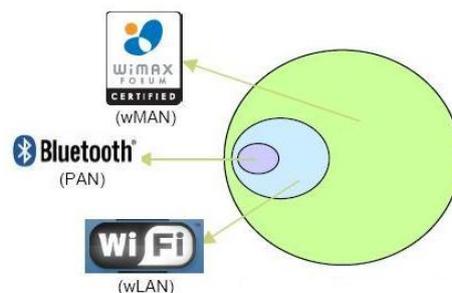
Con el advenimiento de cualquier tecnología siempre aparecen áreas de conflicto con las tecnologías ya existentes, y *WiMAX* no es la excepción al tratar de posicionarse entre 3G y *Wi-Fi*.

Mientras que es cierta la existencia de cierta redundancia, las proyecciones establecidas de la tecnología inalámbrica en cuestión hasta cierto punto son prematuras. Una tecnología no necesariamente debe tener éxito a expensas de la otra. Una visión más realista y futurista es que las tres tecnologías co-existan y operen en conjunto.

### 2.14.1 WiMAX Móvil & Wi-Fi

Una de las preguntas más recurrentes es que ocurrirá entre *Wi-Fi* y *WiMAX Móvil*: podrán complementarse o, por el contrario, *Wi-Fi* tenderá a desaparecer.

La visión que se perfila es de complementariedad, es decir, bajo las circunstancias actuales se puede acotar los terrenos en que cada tecnología es más apropiada para ciertos entornos y podrían ser explotadas conjuntamente. Mientras que *Wi-Fi* está orientada a proporcionar servicios de Banda Ancha en redes *LAN* o en entornos de área reducida, *WiMAX* lo hace en áreas más amplias como las redes *MAN*. Esta nueva visión está abriendo un posible camino hacia un nuevo modelo de negocio.

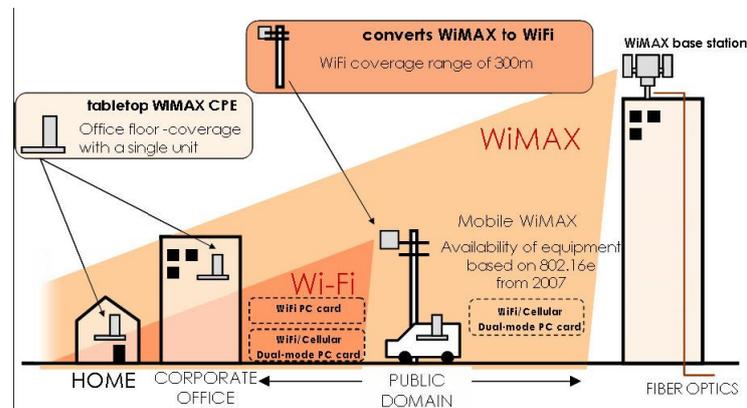


**Figura. 2.34. Entorno WiMAX & Wi-Fi**

Las aplicaciones previstas del uso conjunto de *WiMAX* y *Wi-Fi* parten de la idea de proporcionar acceso de Banda Ancha a través de *WiMAX* por la interfaz aire y en la puerta del suscriptor distribuirlo al interior de las edificaciones, emplazamientos y predios mediante *Wi-Fi*.

El gran ancho de banda de *WiMAX* representa una opción excelente para usarse como red de transporte o “*backhaul*”, es decir unir “*hotspots*” *Wi-Fi* a las redes de los operadores o proveedores de servicios.

Así se puede aplicar esta configuración de red para eventos temporales como exposiciones o ferias; además de otros escenarios como aeropuertos, campus universitarios, centros comerciales de gran concurrencia, hoteles, etc.



**Figura. 2.35. WiMAX Móvil como Red de Transporte para Wi-Fi**

Algunas empresas ya han visto esta oportunidad muy viable por lo que ya han fabricado equipos que puedan trabajar con ambas tecnologías; por ejemplo, el terminal suscriptor certificado *WiMAX Easy ST de Airspan Networks*, es capaz de recibir señales hasta 3 Km de distancia, trabajando a 3.5 GHz con canales de 3.5 MHz *FDD*, para el desempeño del acceso mediante *WiMAX*; incorpora una antena *Wi-Fi* para distribuir la señal recibida en el interior de cualquier predio o edificación:



**Figura. 2.36. Terminal WiMAX compatible con Wi-Fi**

Por lo tanto, debemos entender la relación *WiMAX/Wi-Fi* como una nueva oportunidad de negocio en lugar de rivalidad entre las mismas.

### 2.14.2 WiMAX Móvil & 3G

Este entorno se presenta con una visión mucho más caótica y hasta cierto punto impredecible, ya que el modelo de *3G* ha sido básicamente adaptado y optimizado en base a las tecnologías de telefonía celular, quienes ya poseen infraestructuras establecidas y sólo han hecho las ampliaciones necesarias de las mismas para ingresar con *CDMA2000* y *UMTS*, y recientemente se está encaminando su uso de forma más abierta y accequible; por otro lado, *WiMAX* últimamente está empezando a abrirse camino y podría también ser desplegado por parte de los mismos operadores telefónicos, con lo que teóricamente supliría las deficiencias de *3G*, ya que la una posee ciertas ventajas con respecto a la otra y viceversa, pero como ya se indicó, *3G* y *WiMAX* necesitarán un tiempo prudencial para alcanzar este cometido:

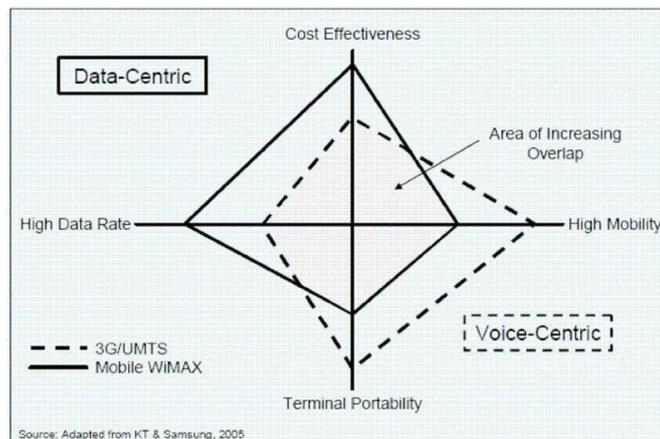


Figura. 2.37. Modelo complementario de WiMAX Móvil con 3G

## 2.15 INTEROPERABILIDAD

La interoperabilidad indica los aspectos en los que puede desembocar la convergencia y/o complementariedad de estas 3 tecnologías inalámbricas, basado en un amplio rango de interfaces y protocolos debido a que no se requieren únicamente interoperabilidad del enlace aire, sino también interoperabilidad entre redes, dispositivos, entre otros, para procesos de *handover* y *roaming*, redes de acceso para múltiples fabricantes, y facturación entre compañías.

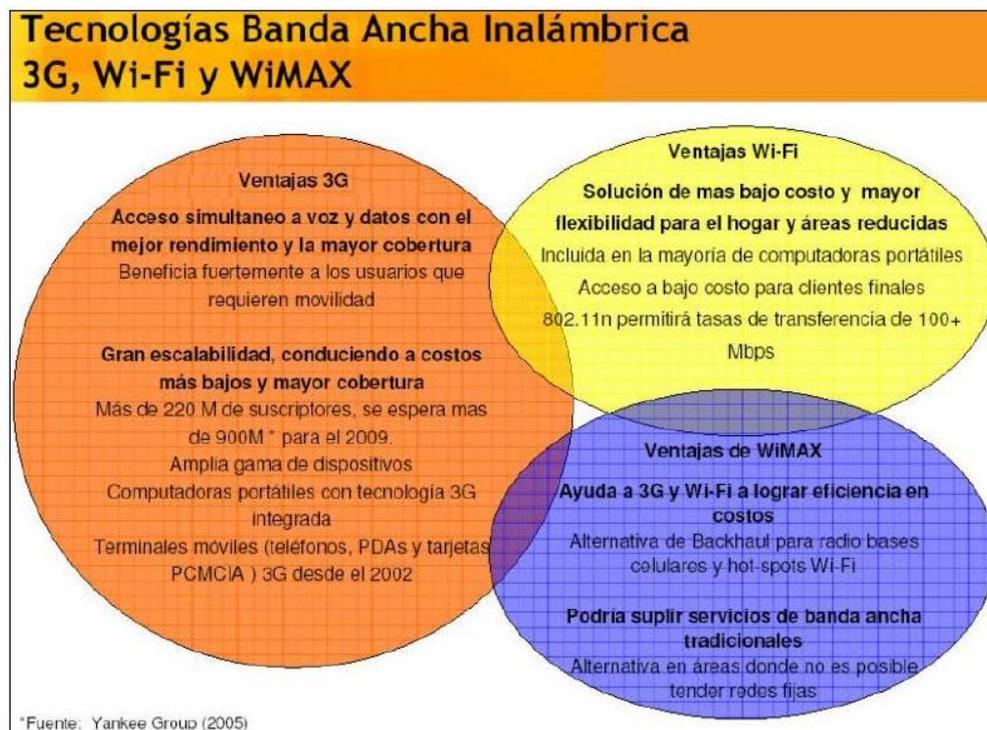


Figura. 2.38. Complementariedad entre WiMAX, 3G y Wi - Fi

La interoperabilidad tiene por objetivo brindar al usuario la tecnología más conveniente de acuerdo a sus requerimientos y necesidades, ya que actualmente la gran mayoría se encuentran haciendo uso de soluciones fijas o inalámbricas y sería muy incómodo y hasta cierto punto costoso, mudar o reemplazar toda la infraestructura vigente para obtener servicios mejorados, por lo que es de mucha importancia que se ponga mayor énfasis a este aspecto, ya que el usuario percibe prestaciones del más alto nivel a precios moderados y con transparencia técnica.

## CAPÍTULO 3

### INTEGRACIÓN DE SERVICIOS

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de *Internet* para datos y aplicaciones complementarias como voz y video, así como la evolución a una economía basada en el conocimiento y la innovación tecnológica, han provocado un cambio en los requerimientos de servicios y la forma de prestarlos.

En efecto, por una parte las redes pasan de ser especializadas según el tipo de servicio a *multiservicios*, basadas en tecnología *IP*; a todo esto se suma el hecho de que en la medida que el ancho de banda disponible aumenta y bajan sus costos, surgen nuevas aplicaciones y posibilidades para satisfacer las necesidades de comunicaciones para organizaciones y usuarios.

Con esto, en el presente capítulo se describe la integración de servicios mediante la solución que presentan las *redes multiservicios*, para lo cual se ha visto que la manera más beneficiosa de lograrlo es mediante las denominadas *redes NGN* o *Redes de Próxima Generación*, que permiten establecer la convergencia de los servicios de valor agregado con una gran cantidad de beneficios que esto supone para luego ser desplegados hasta el suscriptor o usuario de los mismos.

#### 3.2 REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN)

A partir del año 2004, un nuevo factor de interés tanto tecnológico como comercial, comenzó a emerger para las grandes empresas de telecomunicaciones, en particular para aquellas que han venido operando principalmente como operadores telefónicos o *POTS*<sup>1</sup>, y los de telefonía móvil celular. Esta evolución cambiaría definitivamente el destino y la estructura del sector de las telecomunicaciones en todo el mundo y, en consecuencia, el rumbo y la estructura de todas las empresas del ramo; es decir se vio la manera de integrar servicios como voz, video y datos de manera que permitan ser desplegados desde una sola red convergente. A esta evolución se le conoce genéricamente como las *Redes NGN*. [20]

Es una red única *multiservicio* que transporta todo tipo de tráfico: voz, video, datos; usando nodos comunes de conmutación por paquetes basadas en *IP*, interconectados por medios de transmisión de Banda Ancha; además de ofrecer garantía de *QoS* para los diferentes tipos de tráfico, permitiendo llegar al usuario a través de redes de acceso que pueden ser cableadas e inalámbricas.

En otras palabras, empresas y servicios de telecomunicaciones que anteriormente operaban de manera separada (empresas dedicadas exclusivamente a brindar servicios de voz; otras ofrecían servicios de *TV-Video*, y otras servicios de datos), podrán ya, en términos tecnológicos, unificarse y proporcionar todos estos servicios de manera simultánea.

### 3.2.1 Conmutación de circuitos y de paquetes

Los tráficos de voz y de datos tienen características diferentes y por consiguiente demandas diferentes en la red. Hasta ahora los tráficos de voz y datos fueron manejados tradicionalmente por redes diferentes.

La voz se caracteriza por ser un tráfico de tiempo real y por eso ha sido manejada por redes con recursos dedicados. Estas redes son descritas como "*Redes de Circuitos Conmutados*" o *Conmutación por Circuitos*. Estas redes requieren que

---

<sup>1</sup> POTS: Plain Operator Telephone Service

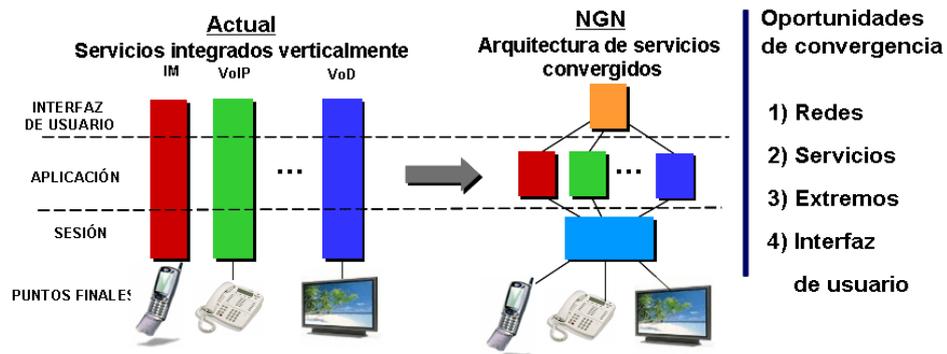
el circuito que conecta al origen y al destino se establezca antes de iniciar la comunicación. Así pues, una vez que el circuito está establecido, el único retardo que se encuentra en la red, es el retardo de propagación punto a punto. Al final de la conversación el circuito es desconectado y los recursos de red utilizados en la conversación son liberados. Una de las ventajas de utilizar circuitos conmutados en el manejo de tráfico de voz es que entregan una buena calidad, reproduciendo de forma confiable la conversación.

Por otro lado, los datos son manejados por *Redes de Conmutación por Paquetes*, esto significa que la data es fragmentada en unidades llamadas “paquetes”. En este caso el circuito establecido entre el origen y el destino no es preparado antes de iniciar la transferencia de paquetes. En su lugar, un encabezado es asignado a cada paquete, que es direccionado al destino a través de una serie de nodos de red. Cuando un nodo de red recibe un paquete, lo revisa para detectar errores, si el paquete no tiene errores y no hay otro paquete delante de éste en el nodo, el nodo utiliza una tabla lógica que determina hacia cuál otro punto será enviado el paquete, acorde con la dirección asignada en el encabezado del paquete. Si por lo menos hay un paquete en el nodo que llega primero, el paquete será transmitido primero, todos los demás paquetes permanecerán en cola hasta tanto les llegue su turno para ser transmitidos. Si el nodo encuentra que el paquete tiene errores, lo descarta. Muchos tipos de reglas se han establecido para permitir que el emisor re-envíe un paquete cuando éste llega con errores.

Las redes de telecomunicaciones hoy en día necesitan de plataformas robustas y compatibles entre ellas, las compañías que prestan estos servicios a menudo utilizan equipos separados, cableado y personal distinto a la hora de operar y dar mantenimiento a las redes de voz y datos, lo que al momento de realizar un balance tanto técnico como económico desemboca en varias redes de características complejas y elevado costo que al final de todo concluye a veces en excesivas tarifas que debe pagar el bolsillo del usuario.

No obstante, al final de la década de los noventa aparecieron de manera progresiva una serie de elementos futuristas que fueron modelando un cambio en todo el sector de las telecomunicaciones. Por eso, en los últimos años la industria de

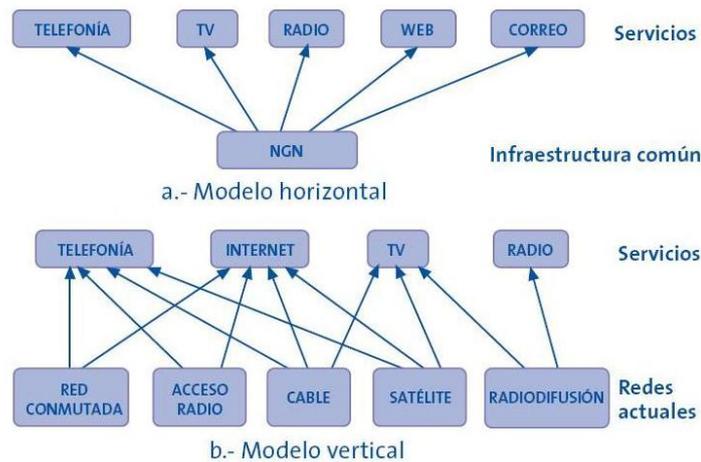
las telecomunicaciones ha visto la manera de tratar de integrar tanto los servicios de voz, datos y otros en un mismo medio de transmisión con la finalidad de mejorar la utilización de los recursos de la red, basadas en *IP*.



**Figura. 3.1. Red Multiservicio**

### 3.2.2 Tendencia IP [21]

El proceso evolutivo del sector de las telecomunicaciones ha provocado cambios en el modelo de negocio de muchos operadores y ha modificado de manera radical el modelo de provisión de servicios. Se ha pasado de un modelo vertical, en el cual la red y los servicios aparecen estrechamente ligados, a un modelo horizontal en el que se propone una independencia absoluta entre ambos y una única solución de red común a todos ellos.



**Figura. 3.2. Modelos de provisión de servicios**

El proceso de evolución de las redes tradicionales hacia lo que se ha dado en llamar arquitectura “*All IP*” es común para todo tipo de servicios y entornos, motivado fundamentalmente por una serie de factores como son:

- La necesidad de reducir los costos respecto a los modelos tradicionales.
- La necesidad de compartir infraestructuras entre distintas unidades de negocio.
- La preponderancia cada vez mayor del *Internet* y la telefonía celular.
- La necesidad de establecer compatibilidad entre las distintas redes.
- La necesidad de acelerar el proceso de creación y puesta en funcionamiento de las aplicaciones y servicios.
- La necesidad de simplificar y unificar la gestión, operación y el mantenimiento de los servicios.

Pretender aglutinar en una única infraestructura de red las distintas alternativas, existentes o por venir, implica que dicha infraestructura debe responder a unos criterios de diseño estrictos que aseguren su funcionamiento con los niveles de calidad, capacidad, fiabilidad y disponibilidad requeridos por los servicios que soportará dicha red.

### 3.2.3 Fenómeno del Internet

Las soluciones *IP* tradicionales presentaban carencias importantes que las hacían poco adecuadas: estaban aún basadas en equipos con serias limitaciones en su capacidad, *QoS* y en aspectos de seguridad.



Figura. 3.3. Fenómeno del Internet en el concepto NGN

### 3.2.4 Visiones del concepto de NGN [21]

*NGN relacionado con los datos e Internet.* Desde este enfoque la red brindará:

- Soporte de conectividad a un conjunto de terminales inteligentes.
- Los servicios son absolutamente independientes de la red.
- Los servicios tradicionales, verán disminuir de forma paulatina su importancia a favor de nuevos servicios, muchos de ellos aún desconocidos y, por tanto, de difícil caracterización en el momento de diseñar una red.



Figura. 3.4. NGN relacionado con Internet

*NGN relacionado con la voz.* Desde este enfoque la red brindará:

- Servicios provistos sobre un conjunto de terminales inteligentes y no inteligentes. La red tendrá la inteligencia y el control sobre los servicios y se adaptará a éstos en función de las necesidades que los usuarios finales demanden.
- La actual red telefónica evolucionará para adaptarse a los servicios multimedia, constituyendo la base de la futura *NGN*.

Frente a estos dos enfoques, se debe tener en cuenta la visión que tienen los clientes de los servicios finales que serán soportados por las *NGN*. Primeramente se debe establecer una separación entre usuarios empresariales y residenciales, ya que sus demandas y requerimientos pueden llegar a ser distintos: mientras que para los usuarios empresariales el principal atractivo de las *NGN* puede ser los servicios tradicionales (como los servicios de voz, las redes privadas virtuales, etc.) a costos moderados, para los usuarios residenciales, por el contrario, el principal atractivo será mejorar los actuales servicios, manteniendo costos bajos, y ampliando la oferta de servicios de entretenimiento.

### 3.2.5 Características de una NGN

Son varias las características que posee una *NGN*. A continuación se mencionan las más importantes:

- Provee infraestructuras para la creación, desarrollo y gestión de toda clase de servicios actuales y futuros, posibilitando su distribución simultánea.
- Su arquitectura funcional se basa en tecnología de conmutación de paquetes (*IP MPLS*<sup>2</sup>, *ATM*) y puede también interactuar con la tradicional conmutación de circuitos.
- Migración de las redes actuales como la *PSTN*<sup>3</sup> a *NGN*, a través de interfaces abiertos y protocolos estándares.
- Son redes capaces de manejar comunicaciones de datos, voz y video de manera eficiente, con disponibilidad y desempeño consistente, haciendo una diferenciación en la *Clase de Servicio (CoS)*<sup>4</sup> y ofreciendo *QoS* fiable para cada tipo de tráfico, de extremo a extremo.
- Escalabilidad de la infraestructura de red; esto implica permitir la ampliación de la red de acuerdo a las necesidades, teniendo en cuenta la cantidad de usuarios y la variedad de servicios a ofrecer.
- Soporte para múltiples tecnologías de última milla.
- Movilidad generalizada.
- Simplificar al máximo la administración, el mantenimiento y la distribución de los servicios.
- Flexibilidad para distribuir sólo los servicios requeridos por el usuario.
- Seguridad.

### 3.2.6 Beneficios de una NGN

Los principales beneficios de las *redes NGN* son:

---

<sup>2</sup> MPLS: Multiprotocol Label Switching

<sup>3</sup> PSTN: Public Switched Telephone Network

<sup>4</sup> CoS: Class of Service

- Cuenta con una amplia variedad de recursos y servicios que van de acuerdo a las necesidades de cada usuario.
- Permite que el costo para cada cliente se ajuste de acuerdo a los servicios brindados.
- Dispone de una red con redundancia, lo que implica asegurar la disponibilidad permanente de los servicios.
- Reduce al máximo el tiempo de recuperación de las inversiones, ya que factura a los usuarios múltiples servicios utilizando una misma red.
- Reduce los costos operativos.
- Puede diseñar esquemas de negocios donde el abonado paga de acuerdo a los servicios que utiliza, manteniendo un costo base por abonado.

### 3.2.7 Evolución de una NGN

Previsiblemente el proceso de evolución se plantea en varias fases: comenzando por una evolución del núcleo de la red e ira extendiéndose de forma progresiva hacia el acceso. Conforme se extienda la implantación de las *NGN* hacia el acceso se podrá absorber la funcionalidad de las redes de acceso existentes, estando siempre sujeta a la discreción de cada operador de red y siguiendo las pautas particulares que hayan sido establecidas en cada caso.

*NGN* debe permitir la evolución, migración en términos de sustitución o emulación de los actuales servicios de telecomunicaciones. La convergencia es imperativa en todos los aspectos: desde la convergencia de aplicaciones hasta la convergencia de infraestructuras.

## 3.3 ARQUITECTURA DE UNA NGN [22]

Las *NGN* requieren una arquitectura que permita la integración perfecta de servicios de telecomunicaciones tanto nuevos como tradicionales entre redes de paquetes de alta velocidad, interoperando con clientes que poseen capacidades

distintas. Dicha arquitectura generalmente está estructurada alrededor de cuatro Capas principales de tecnología: servicio, conectividad y transporte, acceso, y gestión.

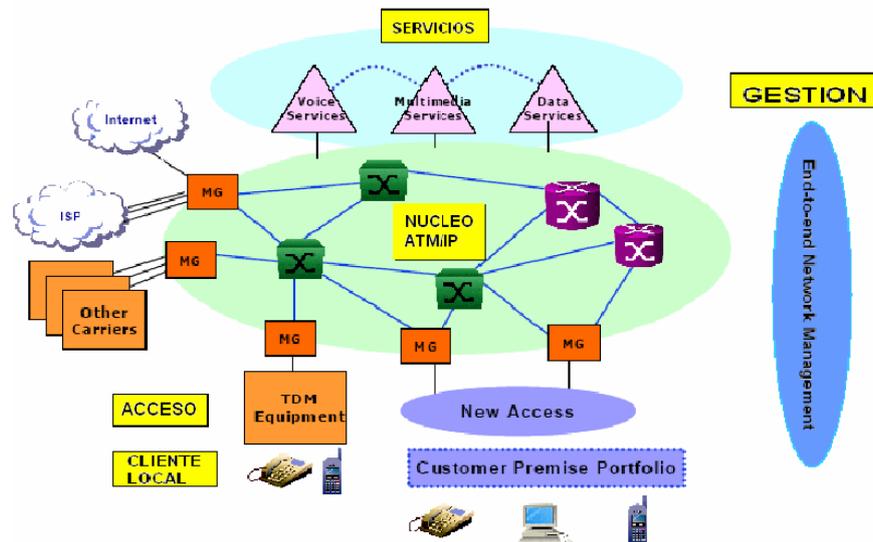


Figura. 3.5. Capas de NGN

Cada una de estas Capas se basa en una serie de normas que son esenciales para la implementación exitosa de una NGN.

### 3.3.1 Capa de Servicio

Contiene el sistema que proporciona los servicios y aplicaciones disponibles a la red. Los servicios se ofrecerán a toda la red, sin importar la ubicación del usuario. Dichos servicios serán tan independientes como sea posible de la tecnología de acceso que se use. Está compuesta por los Servidores de llamadas, que realizan el control de las sesiones; Servidor de servicios centralizado, que permite hacer el aprovisionamiento del servicio.

### 3.3.2 Capa de Conectividad y Transporte

Proporciona el encaminamiento y conmutación general del tráfico de la red de un extremo de ésta al otro. Dicho de otra manera, el tráfico se transporta a través de esta Capa, usando una red *IP* compuesta de enrutadores de borde y medios de transmisión ópticos. La tecnología que se elija dependerá de las consideraciones comerciales, pero la transparencia y el *QoS* deben garantizarse en cualquier caso, ya que el tráfico de los clientes no debe ser afectado por perturbaciones en la calidad, tales como los retardos, fluctuaciones y ecos, razón por la que se pueden ocupar arquitecturas más efectivas como: *anillos Ethernet sobre SDH*<sup>5</sup>, *Ethernet puro o WDM*<sup>6</sup>.

### 3.3.3 Capa de Acceso

Provee el acceso a los servicios de la *red NGN* independiente del tipo de terminal y medio empleado:

- Terminal: Teléfonos, *PCs*, Terminales Móviles.
- Medios: Fibra, Cable Coaxial, *xDSL*, *WiMAX*

### 3.3.4 Capa de Gestión

Es esencial para supervisar y controlar la red, ya que permite verificar el desempeño de extremo a extremo (*E2E*)<sup>7</sup> en el despliegue de los servicios, además de soportar la administración de suscriptores y los sistemas de facturación.

## 3.4 COMPONENTES DE LA ARQUITECTURA DE UNA NGN

---

<sup>5</sup> SDH: Synchronous Digital Hierarchy

<sup>6</sup> WDM: Wavelength Division Multiplexing

<sup>7</sup> E2E: Extreme To Extreme

### 3.4.1 Softswitch

Viene a ser la pieza central en la red de conmutación de paquetes *IP*, debido a que es el dispositivo más importante de acuerdo al modelo de Capas dentro de una arquitectura *NGN*, que se encarga del control de llamadas (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas, contabilidad (*accounting* o administración), además de la administración de operaciones.

Una de las funciones principales del *Softswitch* es su operación como administrador, al interconectar redes de telefonía fija con las redes de conmutación de paquetes *IP*, siendo su objetivo principal brindar confiabilidad y *QoS*, incluso mejor a la que brinda una red de conmutación de circuitos.

El *Softswitch* se ha diseñado para manejar una amplia variedad de tecnologías de acceso y terminales, y paralelamente puede soportar un amplio rango de nuevos servicios de valor agregado.

Las características y beneficios del *Softswitch* son entre otros:

- Capacidad de proveer un sistema telefónico tradicional sobre la red *IP*, en forma confiable y con *QoS* en todo momento.
- Coexistencia con las redes tradicionales de conmutación de circuitos.
- Soporte para servicios de voz, video, datos.
- Flexibilidad al soportar el desarrollo de equipos de telefonía de gran nivel.
- Mejores ingresos para los proveedores de servicios y operadores.
- Selección de procesos en cada llamada.
- Enrutamiento de las llamadas en función de la señalización y de la información almacenada en la base de datos de los clientes.
- Capacidad de transferir el control de una llamada a otro elemento de red.
- Interfaces con funciones de gestión como los sistemas de facturación y provisión.
- Permite separar el *software* del *hardware* en una red, lo que implica libertad en la elección de productos de distintos fabricantes en todas las capas de la red.

- Los dispositivos finales pueden ser: teléfonos tradicionales, teléfonos *IP*, computadores, terminales de video conferencia, etc.
- Bajo costo de desarrollo.
- Mejora los servicios para el cliente, lo que facilita su rápido ingreso al mercado.

Un *Softswitch* puede estar compuesto por uno o más componentes, sus funciones pueden residir en un sistema o expandirse a través de varios subsistemas. Su principal componente es el *Media Gateway*, o a su vez el *Access Media Gateway*.

**Media Gateway (Pasarela de Medios).** Proporciona el transporte de voz, datos, y video entre la red *IP* y otras redes. El componente básico que posee el *Media Gateway* es el *DSP*<sup>8</sup> que se encarga de las funciones de conversión de analógico a digital, códigos de compresión de audio y video, cancelación del eco, detección del silencio, y su función más importante es transformar la voz en paquetes para poder ser comprendidos por la red *IP*, y emplea el *RTP*<sup>9</sup> como protocolo de transmisión.

**Access Media Gateway (AMG).** Es una clase superior de *Media Gateway*, y es importante porque reemplaza las tarjetas de línea *TDM* de los conmutadores.

### 3.5 PROTOCOLOS UTILIZADOS EN UNA NGN

Una de las facetas que deben cubrir los nuevos protocolos engloba tareas referentes al establecimiento, control y a la liberación de las conexiones que soportan la provisión de los servicios. Existe una necesidad latente de ampliar la señalización *IP*, dada la diferente naturaleza de los puntos finales que pueden intervenir en una comunicación, sus diversas capacidades en lo que a codificación de audio, video y datos se refiere, y sus distintos requerimientos de ancho de banda. Los principales protocolos usados actualmente en las redes *NGN* son:

---

<sup>8</sup> DSP: Digital Signal Processor

<sup>9</sup> RTP: Real Time Protocol

### 3.5.1 Protocolo SIP<sup>10</sup>

Es utilizado en *VoIP*, aunque también se utiliza en aplicaciones de video, notificación de eventos, mensajería instantánea, juegos interactivos, *Chat*, entre otros.

*SIP* es un protocolo flexible que permite ser legible y sigue una estructura de petición-respuesta. Soporta comunicaciones entre usuarios de redes *IP* y también con usuarios de otras redes, incluyendo las *PSTN*.

*SIP* es independiente de los protocolos de las capas inferiores por lo que puede ser soportado sobre *TCP*, *UDP*<sup>11</sup>, de igual manera sobre *IP* o *ATM*; además de ofrecer todas las potencialidades y las características comunes de la telefonía *IP* como:

- Llamada o transferencia de medios.
- Conferencia de llamada.
- Llamada en espera.

El protocolo *SIP* define varios métodos para realizar una llamada o transacción:

- Método *SIP Invite*: Sirve para iniciar las sesiones.
- Método *SIP Ack*: Confirma el establecimiento de la llamada.
- Método *SIP Bye*: Termina una sesión.
- Método *SIP Cancel*: Cancela una invitación pendiente.
- Método *SIP Register*: Registra una localización con un Servidor.
- Método *SIP Re-invite*: Cambia una sesión actual.

---

<sup>10</sup> SIP: Session Initiation Protocol

<sup>11</sup> UDP: User Datagram Protocol

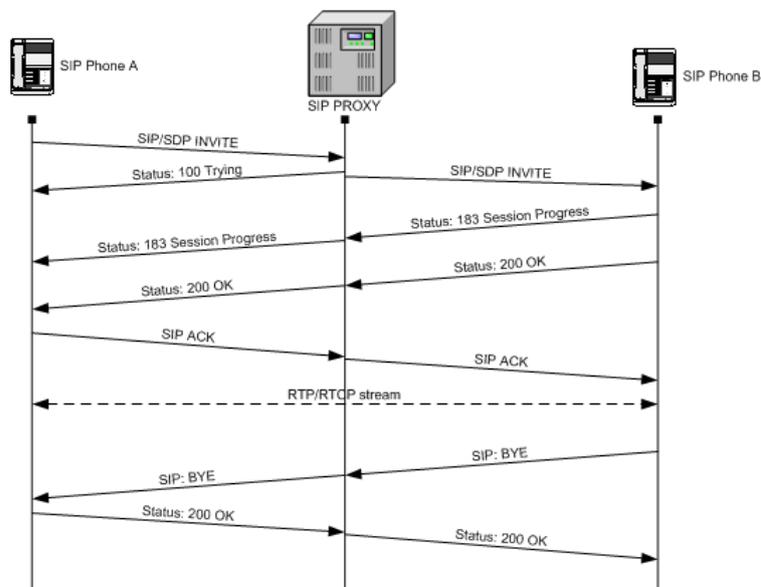


Figura. 3.6. Llamada SIP

Hoy en día, ya son habituales los terminales con soporte *SIP* por *software*. *Microsoft Windows Messenger* usa *SIP* y, en Junio de 2003 *Apple Computer* anunció y publicó en fase *beta* su *iChat*, una nueva versión compatible con el *AOL*<sup>12</sup> *Instant Messenger* que soporta charlas de audio y video a través de *SIP*.

### 3.5.2 RTP Y RTCP para el Transporte de Voz y Video

*RTP* provee funciones de transporte de red extremo a extremo apropiadas para aplicaciones de transmisión de datos en tiempo real, como *video streaming* y *VoIP*. Para ello, está acompañado por el protocolo de control (*RTCP*)<sup>13</sup> que permite monitorear la entrega de datos así como la calidad de los mismos. *RTP* y *RTCP* están diseñados para ser independientes de las Capas de transporte y red respectivamente.

En una sesión *RTP*, los participantes periódicamente envían paquetes *RTCP* para mantener la calidad de los datos y la información de los participantes de la sesión.

<sup>12</sup> AOL: America OnLine

<sup>13</sup> RTCP: Real Time Control Protocol

Los beneficios que tiene este protocolo son:

- Ligero: implementación simple.
- Neutral frente al transporte.
- Escalable: *unicast, multicast, broadcast*.
- Separación de datos y control.
- Seguro: posibilidad de encriptación y autenticación.

Además poseen características de temporización, detección de pérdidas, etiquetado de contenidos, entre otros.

### 3.5.3 Protocolo RSVP<sup>14</sup>

El protocolo *RSVP* es utilizado para gestionar *QoS* en las redes *IP*, ya que las aplicaciones en tiempo real pueden utilizar este protocolo con el propósito de asegurar un ancho de banda disponible para una transmisión. El procedimiento del que hace uso el protocolo *RSVP*, es el siguiente:

- Marcar los paquetes para que los *routers* puedan distinguir entre distintas clases de paquetes en el tráfico circundante, y nuevas políticas para tratar los paquetes implicados adecuadamente.
- Proveer protección (aislamiento) para una clase determinada de paquetes de otras clases de paquetes.
- Mientras que se provee aislamiento, es deseable usar los recursos tan eficientemente como sea posible.

### 3.5.4 Protocolo IP

---

<sup>14</sup> RSVP: Resource ReSerVation Protocol

*IP* es la base fundamental de *Internet*. Es el protocolo encargado de transportar el flujo de datos en datagramas de la fuente hacia el destino. Durante su transmisión se puede dividir un datagrama en fragmentos que se ensamblan de nuevo en el destino.

*TCP/IP* es el protocolo común utilizado por todos los ordenadores conectados a *Internet*, de manera que estos puedan comunicarse entre sí. Este protocolo es el que se encarga de que la comunicación entre todos sea posible. *TCP/IP* es compatible con cualquier sistema operativo y con cualquier tipo de *hardware*:

- Cualquier máquina de la red puede comunicarse con otra distinta permitiendo establecer conectividad con redes físicamente independientes en una red virtual llamada *Internet*.
- La tarea de *IP* es llevar los paquetes de un sitio a otro, mientras *TCP* se encarga del flujo de datos y asegura que los mismos estén correctos.
- Las líneas de comunicación se pueden compartir entre varios usuarios.
- Cualquier tipo de paquete puede transmitirse al mismo tiempo, se ordenará y combinará cuando llegue a su destino, y cuando algo falle, sólo es necesario volver a transmitir un paquete y no todo el mensaje.
- Los paquetes no necesitan seguir la misma trayectoria, ni necesariamente tienen que llegar todos al mismo tiempo, la red puede usar la conexión más idónea que esté disponible en ese instante.
- Proporciona chequeos de seguridad controlando las transferencias.
- Fragmenta paquetes si es necesario.
- Direccionamiento mediante direcciones lógicas *IP* de 32 bits (*IPv4*)<sup>15</sup>.
- Si un paquete no es recibido, este permanecerá en la red durante un tiempo finito.
- Realiza *Best Effort* para la distribución de paquetes.

Cuando se envía un mensaje, *TCP* divide los datos en paquetes, ordena estos en secuencia, agrega cierta información para control de errores y después los envía, y los distribuye. En el otro extremo, *TCP* recibe los paquetes, verifica si hay errores y

---

<sup>15</sup> IPv4: Internet Protocol version 4

los vuelve a combinar para convertirlos en los datos originales. De haber error en algún punto, el programa *TCP* destino envía un mensaje solicitando que se vuelvan a enviar determinados paquetes. Esta flexibilidad en el sistema lo hace muy confiable; además, si un enlace se pierde, el sistema usa otro (redundancia).

## **3.6 SERVICIOS SOPORTADOS POR UNA NGN**

### **3.6.1 Servicios de Voz**

Es la razón principal para el despliegue de las *NGN*, ya que mediante la conmutación de paquetes se puede establecer no sólo aplicaciones de datos, sino también *VoIP*, incluyendo transparencia en las comunicaciones extremo a extremo.

### **3.6.2 Servicios de Datos**

Servicios de datos comunes a las redes de paquetes: servicios de *VPN*<sup>16</sup>, aplicaciones de recuperación de datos, servicios de comunicación de datos (transferencia de archivos, correo electrónico), aplicaciones en línea (ventas en línea, comercio electrónico, pedidos comerciales en línea, etc.) servicios de red de sensores, servicios de control remoto y acción a distancia para aplicaciones de seguridad y vigilancia (control de aplicaciones residenciales, alarmas).

### **3.6.3 Servicios Multimedia**

Las *NGN* soportan otras comunicaciones conversacionales similares a las de voz en tiempo real y también comunicaciones que no son en tiempo real, además de varios servicios relacionados con las aplicaciones de video:

---

<sup>16</sup> VPN: Virtual Private Network

- Servicios de mensajería: mensajería instantánea (*IM*)<sup>17</sup>, servicios de mensajes multimedia, servicios de mensajes cortos (*SMS*)<sup>18</sup>, etc.
- Servicios interactivos multimedia punto a punto: videotelefonía, conferencia multimedia coayudados de archivos y aplicaciones (juegos, aprendizaje).
- Servicios de distribución de contenidos: radio y *video streaming*, música y video bajo demanda, publicidad electrónica visual.
- Servicios de información: estado del tráfico vehicular, noticias, etc.
- Servicios basados en localización, similares a los de *GPS*<sup>19</sup>.
- Servicio de *IPTV* y video bajo demanda.

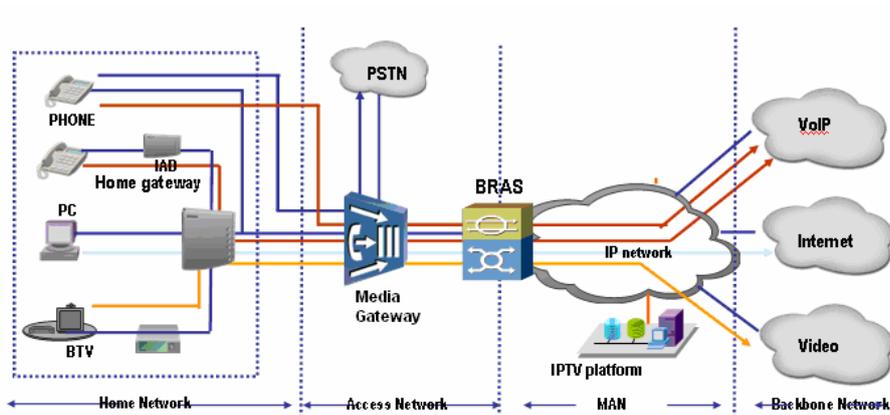


Figura. 3.7. Servicios de NGN

### 3.7 VENTAJAS DE UNA NGN SOBRE OTRAS REDES

#### 3.7.1 Ventajas de una NGN sobre PSTN

Una *NGN* tiene ventajas sobre una *PSTN* en base a los siguientes aspectos:

<sup>17</sup> IM: Instant Messaging

<sup>18</sup> SMS: Short Message Service

<sup>19</sup> GPS: Global Positioning System

### **Conmutación de Paquetes frente a Conmutación de Circuitos:**

- Es un modo de transmisión mucho más eficiente, debido a que en la conmutación de circuitos se reserva un canal en cada dirección durante la llamada.
- Se simplifica la administración ya que en lugar de monitorear dos redes (tanto la de voz y datos) sólo es necesario monitorear una que integra ambas redes, lo que conlleva a reducción de costos.
- La conmutación de paquetes dispone de toda la capacidad de la red para todo tipo de tráfico, todo el tiempo.

### **Infraestructura Multiservicio:**

- En las *redes PSTN* no es posible establecer integración de servicios, y para lograr la convergencia de servicios propuesta por las *redes NGN*, es necesario hacer ampliaciones mediante redes superpuestas a ella para transportar el tráfico de voz y datos, lo que resulta complejo y costoso.
- La *NGN* permite a un proveedor de servicios operar por medio de una sola red de servicios de propósito general, en lugar de muchas redes de propósito especial.
- Evita la congestión creada por el tráfico de *Internet* en los *switches* de conmutación telefónica.

### **Soporte de Banda Ancha:**

- Las redes basadas en conmutación de circuitos están modeladas en canales de 64 Kbps, en tanto que las *redes NGN* son necesariamente de Banda Ancha.
- Para proveer mayores anchos de banda, los equipos de transmisión en conmutación de circuitos requieren adecuaciones basadas en la combinación de múltiples canales básicos, lo cual es costoso y no representa eficiencia considerable.

- En las *redes NGN*, el ancho de banda de transmisión puede ser tan alto como sea necesario, la única limitación es la capacidad propia de la red; además el usuario puede seleccionar el ancho de banda de acuerdo a sus demandas y requerimientos.

#### **Red Multiacceso:**

- La *PSTN* puede ser accedida solamente mediante terminales telefónicos, *fax*, *PBX*<sup>20</sup>, lo que la limita frente a las *redes NGN* que incorporan múltiples tecnologías de acceso ya sean cableadas como *ADSL*, *Cable Módem*, Fibra óptica; e inalámbricas como *3G*, *WiMAX*.

### **3.7.2 Ventajas de una NGN sobre las Redes IP Tradicionales**

#### **Transporte de Tráfico en Tiempo Real:**

- En las *redes IP* tradicionales, los enrutadores toman mucho tiempo en las operaciones de procesar, recolectar y reensamblar los paquetes de la información, generando altos valores de latencia y transporte de tráfico sensible al retardo; en cambio, la reciente generación de enrutadores son tan rápidos en la transmisión y en el procesamiento de paquetes que los retardos generados son casi nulos.
- Combinando enrutadores ultra rápidos con mecanismos que permitan diferenciar los servicios y protocolos que imponen la noción de una sesión *IP*, las *redes NGN* pueden soportar servicios como la telefonía y *video streaming*.

#### **Diferentes Clases de Servicios con Prioridad y Confiabilidad:**

---

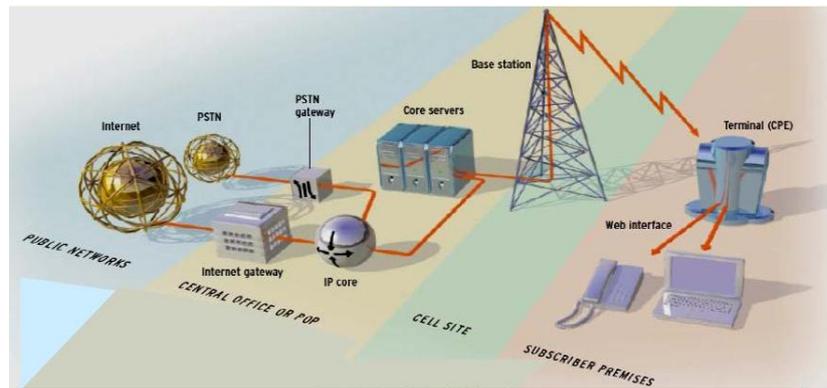
<sup>20</sup> PBX: Private Branch eXchange

- La *red NGN* puede asegurar el *QoS* que cada paquete requiere asociada a cada aplicación, ya sea de voz, video, datos; a diferencia de las redes *IP* tradicionales quienes ofrecen servicios *best effort*, por lo que no se puede garantizar *QoS*.
- La arquitectura de servicio en *Internet* es “improvisada”, y está adaptada de acuerdo a las conveniencias de cada uno de los proveedores del servicio; *NGN*, por otro lado, necesita tener una arquitectura sofisticada y unificada que optimice la distribución de servicios entre los Servidores de la red y los sistemas finales.

### **Servicios de Administración, Tarifación Flexible e Interconexión:**

- Las *NGN* poseen sistemas de administración y tarifación que soportan las modalidades de tarifas planas o por uso, según se ajuste a las demandas en la utilización de servicios del cliente.
- Los operadores de las *NGN* necesitan manejar el intercambio de tráfico con otros operadores, por lo que es necesario asegurar *QoS* extremo a extremo.

En países desarrollados en donde los servicios de valor agregado bajo una misma plataforma ya son una realidad mediante la gestión que desempeñan las *redes multiservicios*, han demostrado ser la solución más adecuada, por otro lado, en países como *Ecuador* con el objetivo de conseguir una solución que no represente un cambio tecnológico tan drástico, inicialmente los servicios de voz podrán ser desplegados desde las plataformas *NGN*, dejando al servicio de datos todavía sujeto a las redes de *Internet*. Hoy en día, este cuadro se presenta como la alternativa más realista, ya que el negocio de datos ha proliferado de manera sorprendente y sus propietarios y operadores no esperan desechar sus infraestructuras últimamente adquiridas y mejoradas, por lo que en este proyecto se considera a la red *NGN* e *Internet* como 2 redes independientes.



**Figura. 3.8. Red NGN complementada con Internet**

En base a todo esto, en un futuro (por lo pronto incierto) se espera que las redes de datos con el servicio de *Internet de alta velocidad (HSI)*<sup>21</sup> también sean totalmente desplegado a partir de redes como las *multiservicios*, logrando de esta forma la unificación tecnológica que se pretende.

<sup>21</sup> HSI: High Speed Internet

## CAPITULO 4

### DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA WIMAX MÓVIL

Una red *WiMAX Móvil* cumplirá con el estándar *IEEE 802.16e* que provee acceso universal a Banda Ancha inalámbrica en ambientes fijos, nómadas y móviles. Esta nueva tecnología permitirá a los operadores de redes ofrecer servicios de *VoIP*, transmisión de videos de alta definición, e Internet de Banda Ancha Móvil, con velocidades de 15 Mbps, y radio de cobertura de 5 Km por cada Radio Base.

Actualmente países como la *República Dominicana, Venezuela, y Chile*, ya están haciendo uso de esta tecnología en ambientes corporativos y residenciales; además, existen 15 pruebas en terreno que ya están en curso en siete países latinoamericanos, algunas en la banda de 3.5 GHz y otras en las de 2.5 y 2.3 GHz. Se espera que para el segundo semestre del 2008 se lancen otras *redes WiMAX Móvil*, y los países con mayores probabilidades de adquirirlas son *Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú*, y principalmente *México*.

En nuestro país ciudades como *Quito y Guayaquil* han constatado esta experiencia y tiene previsto implementar *redes inalámbricas WiMAX Móvil* en sus principales urbes para luego extenderse hacia otras localidades de la región, y uno de los sitios que está contemplado es el *sector de Sangolquí*, debido al gran desarrollo industrial y demográfico que ha tenido en los últimos años y actualmente se mantiene en constante crecimiento, por lo que es una de las localidades más idóneas para hacer uso de sus beneficios.

De esta manera, en el presente capítulo se realizará el diseño de una *red WiMAX Móvil* para proporcionar voz, video y datos en el *sector de Sangolquí*.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

Una tecnología inalámbrica de Banda Ancha como *WiMAX Móvil* está considerada como “4G” debido a sus robustas prestaciones y beneficios frente a sus antecesores, como mejores velocidades de transmisión, mayor integración de servicios y aplicaciones, despliegue en entornos *NLOS*, cobertura moderada y aceptable por Radio Base, y la posibilidad de ofrecer movilidad; éstas son razones suficientes por las cuales se ha dado gran énfasis a su desarrollo llevándose a cabo varias investigaciones para que su concepto sea una realidad, sin ningún tipo de limitaciones e inconvenientes.

A las *redes WiMAX Móvil* conjuntamente con su infraestructura técnico-operacional, se la conoce con el nombre de *RAN<sup>1</sup> WiMAX*, la misma que incluye estaciones base, sistema de antenas sectoriales, controladores de acceso a *WiMAX*, soporte especializado a través de un centro de operación y mantenimiento, así como las unidades de suscriptor para acceder a la red por parte del suscriptor; todo esto teniendo como objetivo primordial brindar una solución radio con los diversos servicios integrados hacia el portal del usuario ofreciendo movilidad en todo momento.

Para el desarrollo del presente Capítulo, se hará un análisis de requerimientos, descripción de la arquitectura basada en las especificaciones técnicas y operacionales del funcionamiento de la infraestructura *RAN* conforme al estándar *IEEE 802.16e*; para el diseño de las celdas, se realizará un estudio basado en un modelo de propagación para la *red WiMAX Móvil*; posteriormente se utilizará el *Software SIRENET 3.0*, el cual permite manejar parámetros de Tx/Rx, aspectos técnicos de los equipos, velocidades de transmisión y modulaciones, que conjuntamente con el modelo de propagación anteriormente comentado, obtendrán la sectorización y áreas

---

<sup>1</sup> RAN: Radio Access Network

de cobertura; asimismo para el trazado de los perfiles topográficos del terreno para los enlaces microondas del *backbone* de red que integre todos los segmentos de red, se utilizará el *Software ALCATEL PATH LOSS 4.0*, el cual considera en el sitio del presente estudio, las alturas promedio de los obstáculos que puedan existir.

Cabe aclarar que la tecnología *WiMAX Móvil* puede operar en ambientes *NLOS*, en tanto que para los enlaces microondas del *backbone* de red que se pretende llevar a cabo si debe existir *LOS*.

## 4.2 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Se ha escogido el *sector de Sangolquí* ya que muchos de los entes implicados a dicho sector, aún no poseen conectividad de Internet de Banda Ancha que actualmente viene dada sólo por medios cableados como *ADSL* y *Cable Módem*, y no todos tiene acceso a su servicio debido a su limitado despliegue.

Por otro lado, las soluciones inalámbricas como *GPRS-EDGE (GSM)*, *CDMA2000*, *UMTS*, aún no han tenido la acogida que esperaban; las mismas son perfectas para la transmisión de voz, pero a su vez se han hecho adecuaciones y adaptaciones muy amplias con grandes inversiones de dinero para brindar servicios de navegación (datos), entre otros, y esto contribuye de manera directa en costos elevados para el usuario.

La tecnología inalámbrica *WiMAX Móvil* puede llegar a ser la mejor opción para un despliegue metropolitano, incluso con mejores prestaciones que las soluciones anteriores como mayores velocidades de transmisión, y costo reducido, debido a que está completamente considerada en conmutación de paquetes.

Los requerimientos que se presentan a continuación indican las demandas, propósitos, y necesidades principales para implementar una red de esta naturaleza desde varios enfoques:

- Requerimientos de Usuarios.

- Requerimientos de Aplicaciones.
- Requerimientos de Arquitectura.

#### 4.2.1 Requerimientos de Usuarios

Desde el punto de vista del usuario, la forma en que los servicios y aplicaciones lleguen a su portal son transparentes, y los únicos intereses que tienen es que los mismos lleguen de manera óptima, tengan un buen desempeño, y sean relativamente económicos. Los clientes vienen a ser los primeros actores para implantar una nueva tecnología en la sociedad de la información, por lo tanto, son los responsables de juzgar si una tarea encomendada a la red se la pueda catalogar como cumplida o no, contemplando los siguientes aspectos:

- **Confiabilidad.** Involucra detalles de alto contenido técnico como mecanismos de redundancia y de consistencia en la configuración de dispositivos, para que de esta forma los servicios definidos en un inicio, cumplan en la práctica su objetivo funcional de llegar hasta el usuario.
- **Seguridad.** Es una de las garantías fundamentales que debe presentar una red, a fin de entregar con integridad y autenticidad la información que se transmite hacia el usuario. Debe tener gran robustez y permitir el acceso a la red sólo a quienes estén autenticados y autorizados, evitando que la red no sea violentada por entes externos a la misma.
- **Tiempo de Respuesta.** Implica que el usuario pueda tener acceso, transferir o modificar información dentro de un rango de tiempo tolerable, por lo tanto tiene que ser rápida, con retardos casi nulos y principalmente sin interrupciones en las aplicaciones de voz y video.
- **Adaptabilidad.** Es la habilidad que debe tener la red para adaptarse con facilidad a nuevos requerimientos y servicios a corto o largo plazo que se puedan presentar para agregarse y ser desplegados, y además de interoperar con otras tecnologías existentes. Además debe existir una gran compatibilidad

de equipos terminales afines con la tecnología en cuestión, sin necesidad de cambiarlos constantemente ni prescindir de los mismos.

- **Ubicuidad.** Hace referencia a la movilidad de los usuarios con sus terminales ininterrumpidamente conectados a la red, teniendo acceso a servicios desde cualquier entorno geográfico, siempre y cuando se encuentre dentro del área de cobertura de las Radio Bases.

#### 4.2.2 Requerimientos de Aplicaciones

Los grupos de aplicaciones más comúnmente requeridos por los usuarios de las redes inalámbricas, se basan en las características de los distintos servicios que la ciudadanía manifiesta y para la *red inalámbrica WiMAX Móvil* no es la excepción, ya que así se pueden establecer los escenarios de aplicaciones posibles, su grado de utilización y la satisfacción de los usuarios por los servicios prestados.

- **Aplicaciones para Datos.** Para este caso se prevee brindar *Internet* inalámbrico de Banda Ancha en ambientes fijos y móviles, lo que involucra el acceso hacia la Web desde un equipo terminal, *PC* u otro, con la facilidad de realizar descargas de archivos de todo tipo en poco tiempo gracias a las altas velocidades de transmisión que predispone la tecnología propuesta.
- **Aplicaciones para Voz.** Es una aplicación que será de gran ayuda pues las señales de voz se digitalizan y son enviadas como datos mediante paquetes *IP* a través de la red, consolidándose la telefonía *IP* o *VoIP*.
- **Aplicaciones para Video.** De manera similar al anterior, deben ser muy rígidos para evitar aspectos de retardo y latencia, para aplicaciones como *video streaming*, video bajo demanda, entre otros.
- **Aplicaciones Multimedia.** Ya no es necesario descargar archivos de gran tamaño como videos o canciones con diferente tipo de formato que en algunas ocasiones requieren de programas especializados para ser reproducidos. Ahora

se puede hacer *streaming* de audio/video debido al gran soporte de aplicaciones en tiempo real.

### 4.2.3 Requerimientos de Arquitectura

Es el soporte y desempeño obligatorio que debe tener la red en cuanto a su funcionamiento técnico-operacional, para satisfacer los requerimientos anteriores.

- **Cobertura.** Se debe desarrollar una infraestructura de red sectorizada y verificar cuantas Radio Bases son necesarias para la cobertura total del sitio, siendo bien dimensionadas para evitar posibles fisuras en la conexión a la red.
- **Escalabilidad de usuarios.** La red debe tener la suficiente versatilidad para poder soportar el crecimiento de los usuarios sin desvanecer los servicios previstos, y no desembocar en velocidades de transmisión reducidas, retardos, y molestias, en otras palabras no tener los mismos problemas de las *WLANs* cuando el ancho de banda se ve tremendamente afectado por la saturación de usuarios.
- **Interoperabilidad.** Es necesario que los equipos a instalarse puedan ser compatibles con los de otras marcas y no genere dificultades al momento de realizar ampliaciones y configuraciones futuras con los equipos de otros fabricantes y hasta de otras tecnologías.
- **Gestión y Administración.** La herramienta de gestión debe permitir realizar funciones tales como gestionar, mantener, configurar y administrar los recursos de red y los servicios soportados por la misma; además este sistema debe permitir la configuración de parámetros técnicos como frecuencia de operación, potencia de transmisión, asignación de ancho de banda para cada servicio, *QoS*, entre otros.

### 4.2.4 Requerimientos Regulatorios

La tecnología inalámbrica en cuestión debe cumplir con las especificaciones establecidas por los entes reguladores del medio como la *SENATEL* en lo referente a la planificación, implementación y operación de sistemas de modulación digital de Banda Ancha.

### 4.3 ARQUITECTURA DE LA RED WIMAX MÓVIL

*WiMAX Móvil* es, de momento, sólo una tecnología de acceso. Para poder ofrecer servicios *E2E* necesita de la interconexión con otras redes, como por ejemplo la red de núcleo, redes multiservicios, pero éstas no forman parte del *IEEE 802.16*.

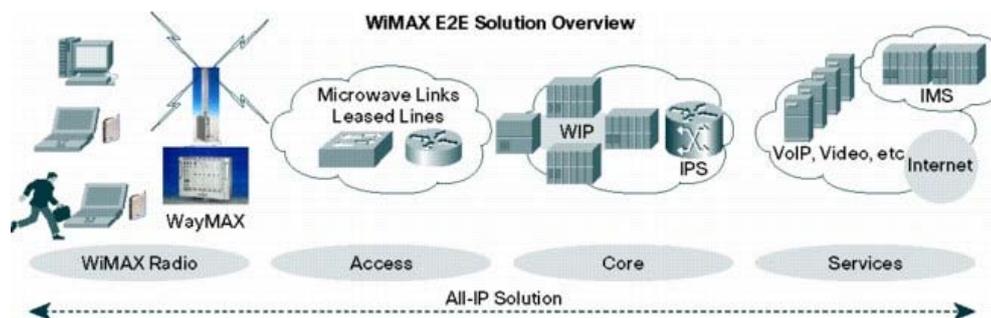


Figura. 4.1. Red WiMAX con infraestructura E2E

Sin embargo, cabe señalar que en el *Capítulo 3 (Integración de Servicios)*, se hizo una breve descripción de como los servicios previstos a ser desplegados, lograban su convergencia entorno a una *red multiservicios* como las *NGN*, debido a la importancia que conlleva conocer de donde parten los servicios de valor agregado, y además como la conmutación por paquetes viene a superar las limitaciones de la conmutación por circuitos.

Justificado lo anterior, el estudio se centrará en la *red de acceso radio WiMAX Móvil*.

#### 4.4 INFRAESTRUCTURA RAN WIMAX

El estándar *IEEE 802.16e* se ha enfocado esencialmente en la evolución del modelo referencial de *Capas PHY y MAC*, con modificaciones importantes como *OFDMA* y *SOFDMA*, operación de antenas *NLOS*, además de la interconexión con dispositivos a nivel de red poder brindar a los equipos terminales y de usuario soluciones *Cuadruple Play*, evolucionando hasta constituirse en una *Red de Cuarta Generación "4G"*.

Algunas de las más importantes empresas de telecomunicaciones han visto en *WiMAX Móvil* una gran posibilidad de negocio para consolidarse en el ramo de las tecnologías inalámbricas y por lo tanto han tomado en cuenta ciertas reglas para el máximo despliegue considerando flexibilidad e integración:

- Cumplir con los requerimientos pactados por el estándar *IEEE 802.16e*, siendo su propósito crear especificaciones de redes del más alto nivel para sistemas *WiMAX* fijos, portables, nomádicos, y móviles.
- Objetivos de portabilidad, nomadicidad, y movilidad para *WiMAX*: Totalmente beneficioso para todos; en primer lugar, los operadores, podrán integrar gran cantidad de servicios desde una misma plataforma, y el usuario podrá hacer uso de los mismos desde cualquier parte, sin fisuras en su conexión, tema que actualmente preocupa a otras tecnologías como *Wi-Fi*, y hasta el mismo *3G*.
- Solución *WiMAX* basada en paquetes: *IP* se adapta a diferentes tecnologías de acceso lo que la hace ideal para cualquier tipo de aplicación.

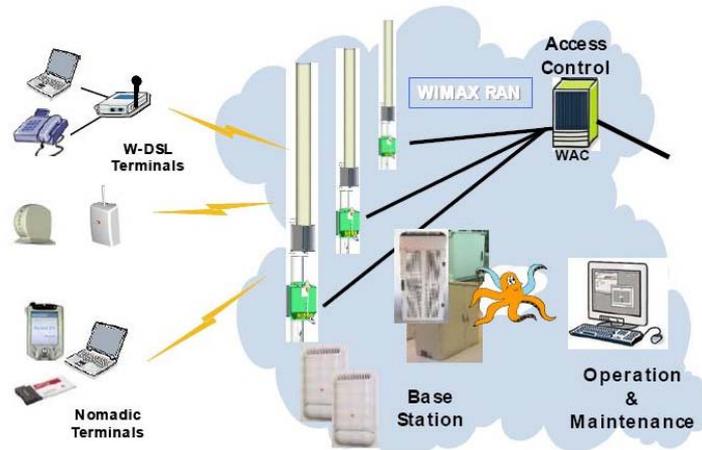
Es por estas razones que una de las más prestigiosas entidades en el mundo tecnológico como *ALCATEL – LUCENT* lanzó al mercado el equipamiento *Alcatel 9100 Evolium® WiMAX* o también conocido como *A 9100 RAN WiMAX*, el cual ofrece completa flexibilidad para desplegar *WiMAX* en forma exitosa brindando una solución óptima para cualquier tipo de usuario en ambientes *IDU-ODU<sup>2</sup>* y móviles.

---

<sup>2</sup> IDU-ODU: Indoor-Outdoor

Esta solución escogida está conformada por el siguiente equipamiento:

1. Estaciones Base (*BS*)<sup>3</sup>.
2. Controlador de Acceso a WiMAX (*WAC*)<sup>4</sup>.
3. Centro de Operación y Mantenimiento (*OMC*)<sup>5</sup>.



**Figura. 4.2. Solución RAN WiMAX [23]**

#### 4.4.1 Estación Base (BS) [24]



**Figura. 4.3. Estación Base WiMAX**

<sup>3</sup> BS: Base Station

<sup>4</sup> WAC: WiMAX Access Controller

<sup>5</sup> OMC: Operation & Maintenance Center

La *BS* comprende de forma completa los bloques funcionales de la *Capa MAC* y *PHY* definidos en el estándar *IEEE 802.16e*. Ha sido diseñada para que la tecnología *WiMAX Móvil* pueda ser desplegada en diferentes ambientes, y se caracteriza por los siguientes puntos:

- Arquitectura flexible, permitiendo configuraciones optimizadas para interoperar con diferentes fabricantes y tecnologías.
- Reducido número de módulos, lo que lo hace simple en su estructura *hardware*.
- Actualizaciones vía *software*, a fin de acoplar nuevos accesorios a su arquitectura, a corto o largo plazo.
- Reducción de costos en la gestión y mantenimiento de la red, debido a su facilidad de operación y administración.

La *BS* es la encargada de transmitir el tráfico *IP* entre las unidades suscriptoras y la *RAN* por medio de la interfaz aire, y conjuntamente con un sistema de antenas inteligentes, irradiar los servicios hacia entornos urbanos o rurales, con una configuración de 3 *BSs* por sitio.

La *BS* transmite a una potencia de 35 dBm lo que permite brindar áreas considerables de cobertura con la peculiaridad de ser un equipo muy compacto y de fácil manejo.

A continuación se detallan algunos parámetros de radio de la *BS*:

- **Ancho de Banda del Canal y Tamaño FFT.**

Tabla. 4.1. Ancho de banda del canal y tamaño FFT

Ancho de banda del canal	5 MHz	7 MHz	10 MHz
Tamaño FFT	512	1024	1024

- **Modo de Duplexación TDD.** Define el tipo de simetría tanto en *UL* como en *DL* para las tasas de transferencia. Por lo general el *DL* debe ser mayor que el *UL*, por lo que esta arquitectura emplea la relación *TDD* 2:1, en donde el *DL* es el doble que el *UL*. Para llevar a cabo la operación de sincronización se utilizan las antenas *GPS*, las cuales se ubican al lado de las *BSs* consideradas.



Figura. 4.4. Antena de sincronización GPS

- **Modulación.** Utiliza *OFDMA* pero puede ser optimizada a largo plazo con *SOFDMA* para un excelente desempeño del enlace en la interfaz aire con ambientes *NLOS*, y para las áreas específicas de cobertura utiliza las adaptativas *64 QAM*, *16 QAM* y *QPSK*.
- **Frecuencia.** La frecuencia de operación de la *BS* es de 3.5 GHz para el mercado latinoamericano.

- **Rendimiento en la interfaz aire.** Dependiendo del ancho de banda del canal y de la modulación utilizada, las velocidades de transmisión teóricas que se disponen en este equipamiento son las siguientes:

Tabla. 4.2. Velocidad de transmisión de acuerdo a la modulación y ancho de banda del canal

Modulación	5 MHz	10 MHz
QPSK	4.76Mbps	9.52Mbps
16 QAM	9.5Mbps	19.04Mbps
64 QAM	14.5Mbps	28.56Mbps

- **Sensibilidad de Recepción.** Las BSs poseen valores de sensibilidad en la recepción que están entre los  $-70$  y  $-100$  dBm, dependiendo del tipo de codificación utilizada:

Tabla. 4.3. Sensibilidad de Recepción de la BS

Ancho de Banda del Canal (MHz)	QPSK (dBm)		16 QAM (dBm)		64 QAM (dBm)	
	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4
3.5	-98.1	-95.1	-92.6	-89.1	-85.1	-83.1
5	-96.5	-93.5	-91	-87.5	-83.5	-81.5
7	-94.8	-91.8	-89.3	-85.8	-81.8	-79.8
8.75	-94.1	-91.1	-88.6	-85.1	-81.1	-79.1
10	-93.5	-90.5	-88	-84.5	-80.5	-78.5

- **Rango de Celda.** Dependiendo de las bandas de frecuencia, tipos de CPEs, ganancia de antenas, parámetros del modelo de propagación, ambientes de espacio libre, probabilidad de cobertura, entre otros, el rango de celda puede ir de entre 0.5 Km hasta los 5 Km.

- **Interfaces de la BS.**

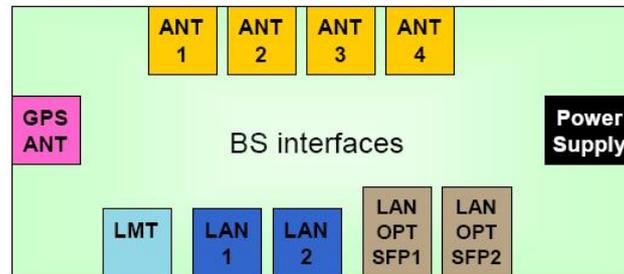


Figura. 4.5. Interfaces de la BS

Cada una de las interfaces que componen la *BS*, interconectan a cada uno de los dispositivos dentro de la infraestructura para su función específica:

- *LAN 1* y *LAN 2* son interfaces que se enlazan al *WAC*. Cada una de ellas se conecta a un *Switch LAN Ethernet*. Estas son interfaces eléctricas, con velocidades de 100 Mbps. A su vez, en su lugar pueden usarse 2 módulos ópticos *SFP*<sup>6</sup> con velocidades de 1 Gigabit.
- La interfaz *LMT*<sup>7</sup> se utiliza para la gestión o monitoreo de la *BS* mediante una PC en el sitio mismo de ubicación de ésta.
- Interfaces para la interconexión de antenas inteligentes Tx / Rx (*ANT 1, 2, 3, 4*).
- La interfaz *GPS ANT* se utiliza para la conexión de una antena *GPS*, que permite la sincronización de las *BSs* con las unidades de suscriptor y viceversa; de esta forma es adecuado manejar el tráfico asimétrico para *DL* y *UL*.
- *Power Supply* o Suministro de Energía, para la conexión de un cable híbrido (compuesto por cable de datos y cable de alimentación).

<sup>6</sup> SFP: Small Form Factor Pluggable

<sup>7</sup> LMT: Local Management Terminal

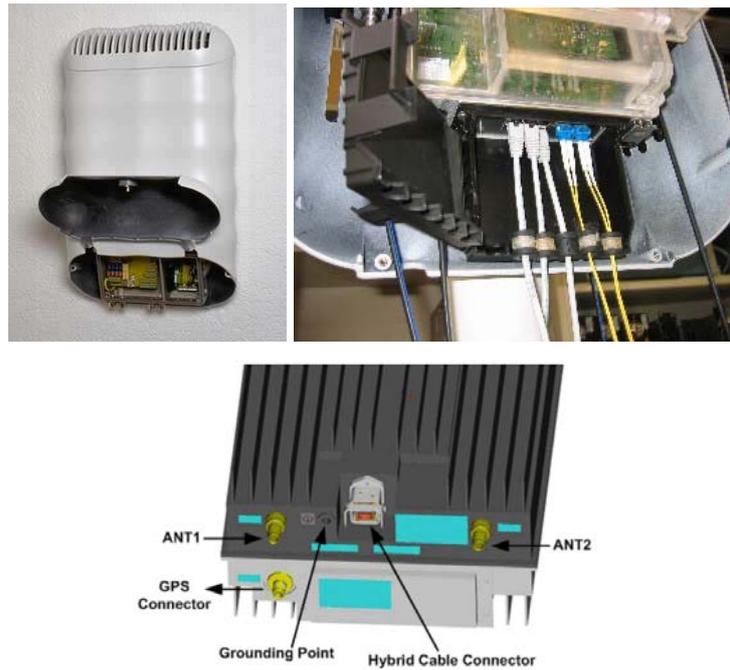


Figura. 4.6. Conexión de las interfaces

- **Dimensiones de la BS.**

Tabla. 4.4. Dimensiones de la BS

Estación Base WiMAX	Opción sin cubierta (indoor)	Opción con cubierta (outdoor)
Longitud	750 mm	940 mm
Ancho	384 mm	450 mm
Profundidad	137 mm	190 mm
Peso	25 Kg	30 kg

#### 4.4.2 Sistema de Antenas Adaptativo (AAS)<sup>8</sup>

Las AAS están formadas por un arreglo de de antenas y un *DSP* que dota de inteligencia a la antena y su misión es la de modificar el diagrama de radiación del

<sup>8</sup> AAS: Adaptive Antenna System

conjunto de antenas maximizando la directividad del lóbulo principal en las direcciones donde se encuentra la señal deseada y a su vez colocando mínimos o nulos en las direcciones donde están las interferencias o señales no deseadas.

La alteración del diagrama de radiación se realiza de forma adaptativa según el estado del entorno ajustando mediante un algoritmo la amplitud y la fase relativa de los diferentes elementos del arreglo. Generalmente están compuestas internamente por varios dipolos, los mismos que deben estar separados de manera coherente por medio de longitudes de onda.

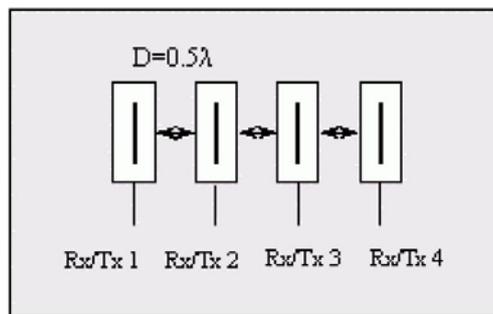
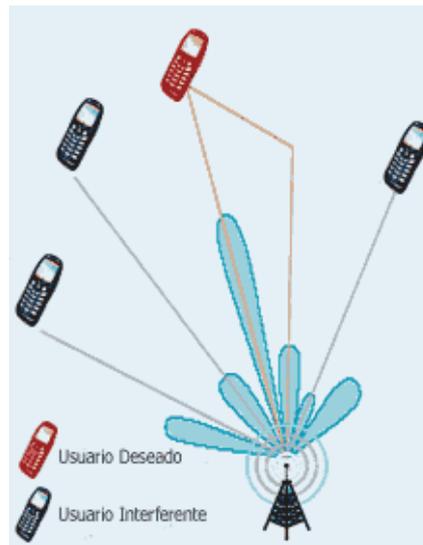


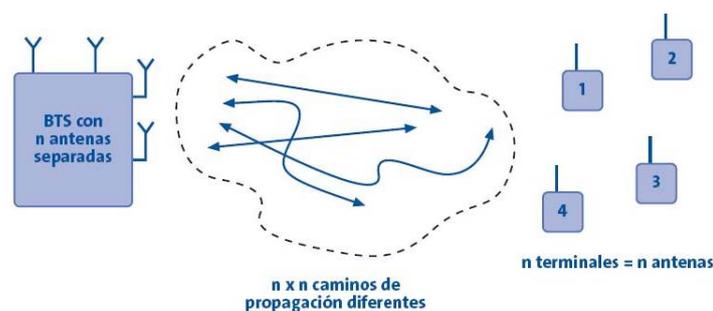
Figura. 4.7. Arreglo de dipolos para antenas inteligentes

Estos sistemas tienen la propiedad de dirigir su lóbulo principal a dirección o direcciones particulares, esto significa que durante la transmisión, la señal puede ser dirigida a la ubicación requerida del receptor, como un reflector; recíprocamente durante la recepción, las AAS se pueden dirigir de tal modo que ilumine solamente en la dirección desde la cual viene la señal generada. Estas antenas forman un haz adaptativo, de modo que se conforma el diagrama de radiación, en el cual se presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios mínimos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.



**Figura. 4.8. Antena forma de haz adaptativo**

También se basan en el multitrayecto, cuyo principio se fundamenta en el hecho de que la señal transmitida se recibe varias veces (generalmente por dos antenas) que viajan por diferentes caminos, recombinándose en una única señal, mucho más fuerte y clara que las señales de manera individual.



**Figura. 4.9. Antenas MIMO**

Las antenas que caracterizan a la tecnología *WiMAX Móvil* van de acuerdo a los requerimientos de los usuarios y los operadores, siendo las de mayor aceptación las de diversidad y las *MIMO*<sup>9</sup>, en donde las primeras utilizan técnicas de diversidad

<sup>9</sup> MIMO: Multiple Input Multiple Output

por polarización vertical y horizontal generando polarizaciones ortogonales que permiten aprovechar al máximo la despolarización que experimenta la señal como consecuencia de las reflexiones y refracciones, obteniendo dos señales simultáneas en el receptor, en tanto que las *MIMO* considera que las señales radio llegan de las antenas transmisoras a las receptoras después de varias reflexiones en obstáculos (edificios, árboles, paredes) y que la combinación de reflexiones es diferente para cada antena receptora, de forma que llega una señal diferente para cada combinación de reflexiones, que al agruparse en el destino forma una señal robusta.



**Figura. 4.10. Prototipos de antena**

De esta forma, las AAS tiene ciertas ventajas de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Extensión en el rango de la celda: se puede lograr una cobertura de hasta en un factor de 2, es decir, que con lo que mediante sistemas de antenas tradicionales en un área determinada se puede llegar a cubrir con 200 Radio Bases, ésta misma área puede llegar a ser cubierta con tan sólo 100 Radio Bases mediante AAS.
- Ganancia de la capacidad de tráfico (*throughput*): Debido a su capacidad multitrayecto y a la supresión de la interferencia hacen que beneficie al rango de la celda, ya que puede alcanzar un rendimiento agregado de hasta 40% en comparación con los sistemas que no son AAS. [24]

La conectorización de las antenas en la *BS* se indica en la siguiente figura:

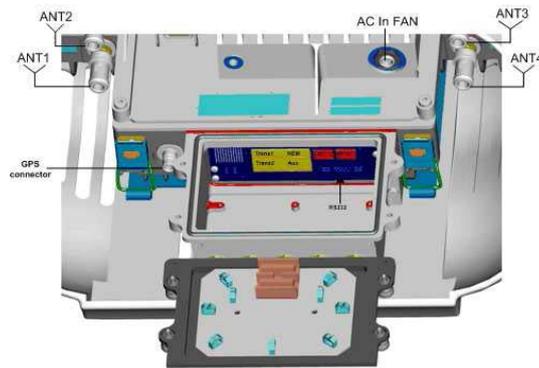


Figura. 4.11. Conectorización de antenas

Las antenas inteligentes que se consideran para el diseño tienen 17dBi de ganancia. Las BSs operan en grupos de 3 conjuntamente con 3 antenas inteligentes por cada Radio Base y cubren los 360° del entorno al que han sido asignadas.

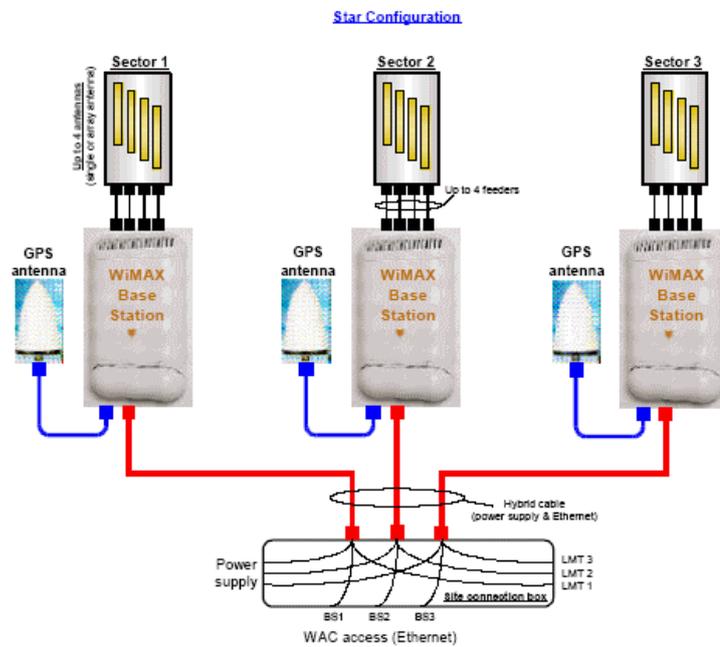


Figura. 4.12. Esquema de BSs con antenas sectoriales [24]

#### 4.4.3 Controlador de Acceso a WiMAX (WAC)

El *WAC* es el módulo que se conecta con las *BSs* dentro de la *RAN*, con la red de núcleo y con el *backbone* de la red, siendo el responsable del control de acceso, conectividad y enrutamiento del tráfico *IP* de la *BSs* con redes externas. Está compuesto por un *Switch LAN* y un Servidor denominado *WAC Server*.

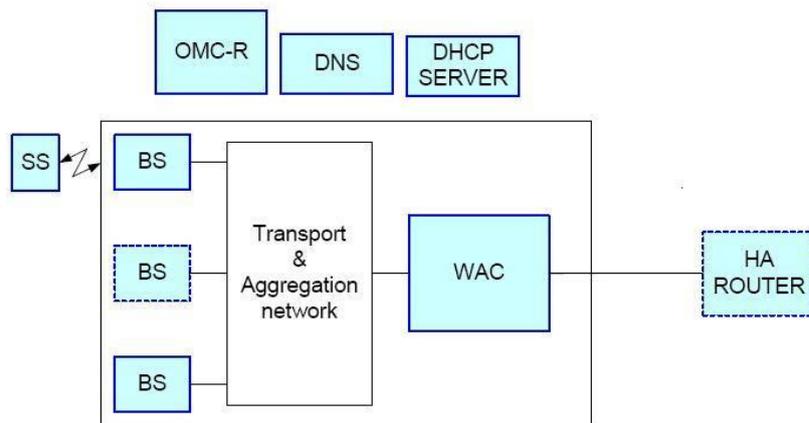


Figura. 4.13. WAC en el entorno RAN [24]

De este gráfico se desprenden los siguientes bloques:

- El *Servidor DHCP*<sup>10</sup> asigna las direcciones *IP* a los elementos suscritos a la *RAN* a través del *WAC*, el cual manipula las tablas de direcciones *IP*.
- El *Servidor DNS*<sup>11</sup> provee a los terminales y equipos de usuario una asignación de nombres de dominio a direcciones *IP*.
- El *HA*<sup>12</sup> *Router* que pertenece a la red de núcleo y no forma parte de la *RAN*, es el encargado de mantener la localización de todas las estaciones móviles que residen en la *RAN* mediante el manejo del protocolo *MIP*<sup>13</sup>; además es el

<sup>10</sup> DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

<sup>11</sup> DNS: Domain Name Service

<sup>12</sup> HA: Home Agent

<sup>13</sup> MIP: Mobile Internet Protocol

responsable de direccionar el tráfico *IP* a las estaciones suscriptoras (*SS*)<sup>14</sup> mediante el empleo de túneles.

- La red de agregación y transporte es la que permite la interconexión de las *BSs* del *WAC* con otras *BSs* remotas, mediante una solución ya sea cableada como fibra óptica o inalámbrica como las microondas, con el fin de transportar el tráfico *IP* hasta las *SSs*.

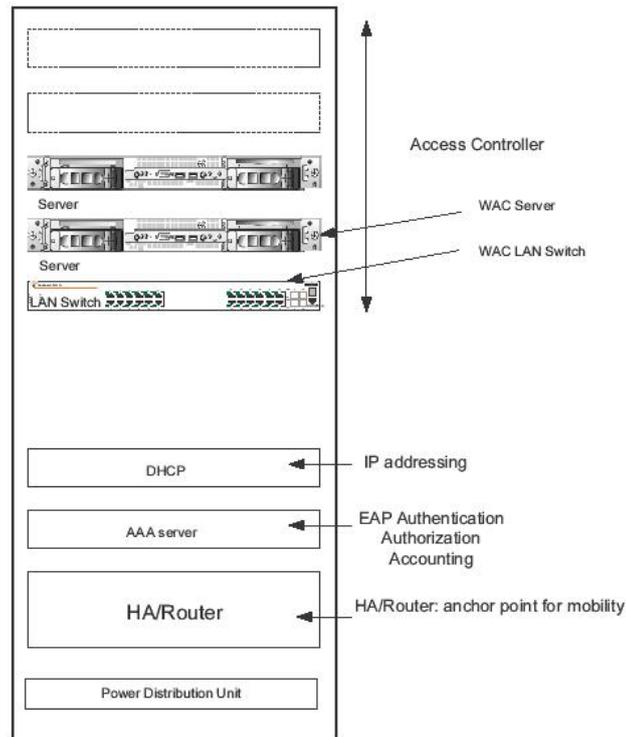
La arquitectura funcional del *WAC* está estructurada en 3 subsistemas principales:

- Subsistema Funcional de Control de Sesión: Está encargado de administrar las estaciones móviles que están dentro del rango de cobertura de una *BS* en el entorno de la *RAN*.
- Subsistema Funcional de Transporte de Datos: Provee las funciones necesarias para transportar el tráfico *IP* entre el *WAC* y otros elementos de red, permitiendo el enrutamiento de datos del usuario entre diversas *BSs*, *WAC* y *HA Router*.
- Subsistema Funcional de Operación y Mantenimiento: Está a cargo del mantenimiento de los recursos de hardware y software utilizados por los dos subsistemas anteriores. Actúa como un agente hacia el *OMC* para la gestión de *QoS* y esquemas de seguridad.

Por su parte la arquitectura hardware del *WAC* está diseñado de manera modular y altamente escalable. Esto permite añadir un amplio rango de requerimiento en términos del tamaño de red y configuraciones adicionales. Básicamente consiste de un *Switch LAN* y de 1 a 4 Servidores, dependiendo del número de usuarios en la red.

---

<sup>14</sup> *SS*: Subscriber Station



**Figura. 4.14. Módulo WAC**

**Switch LAN.** Es el dispositivo de interconexión de las *BSs* con la red de núcleo (*HA*, *Servidor DHCP*, *Servidores AAA*), y agrega el tráfico resuelto por el *Servidor WAC*, a través de interfaces 10/100/1000 Base T, y posee también interfaces auxiliares de 1Gbps.



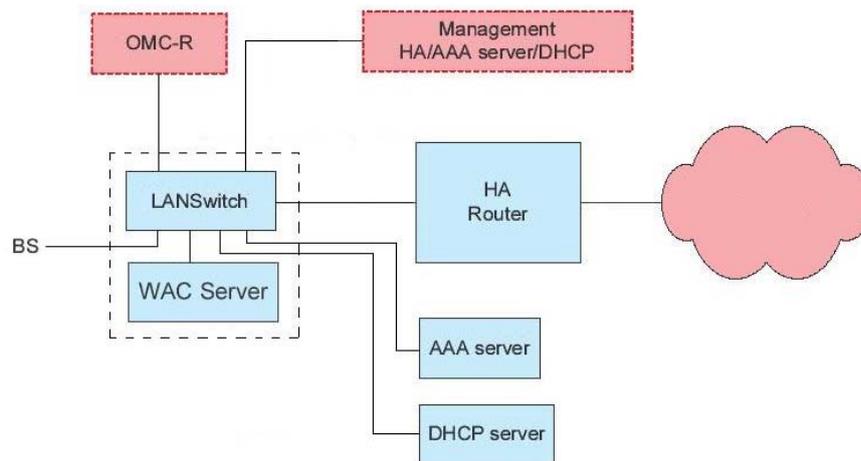
**Figura. 4.15. Switch LAN**

**Servidor WAC.** Es el que realiza el control de acceso de los suscriptores a la *RAN* y también el gestiona el enrutamiento de los datos de usuario desde y hacia la red de núcleo, teniendo como intermediario al *Switch LAN*.



**Figura. 4.16. Servidor WAC**

Los dispositivos considerados para el diseño son el *Switch Alcatel-Lucent 6800-24 o 6850-24X*; y el *Servidor Dell PowerEdge 1850 o Dell PowerEdge 1950*, cualquiera de estos es conocido como *Servidor WAC*.



**Figura. 4.17. Funcionamiento del WAC en la RAN**

- **Dimensiones del WAC.** La tabla resume las características físicas y eléctricas del *Switch LAN* y del *Servidor WAC*:

Tabla. 4.5. Dimensiones del WAC

Unidad	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Peso (kg)	Voltaje (V)	Potencia (Watts)
Switch LAN	42.9	482.6	762	17.7	110 – 220	550
Servidor WAC	44	440	425	6.30	110 – 220	110

**Comunicación del WAC con el Home Agent.** El tráfico *IP* entre el *WAC* y el *Home Agent* se transporta utilizando túneles basados en el protocolo *MIP*, el mismo que garantiza la continuidad de las comunicaciones en curso cuando un nodo móvil cambia su punto de acceso a la red. [25]

El protocolo *MIP* ofrece una solución en el proceso de *handover* en donde los escenarios de los traspasos son poco frecuentes (macromovilidad), y también en donde los escenarios de los traspasos son mucho mayores o muy frecuentes (micromovilidad). Como es lógico darse cuenta en estos últimos escenarios es necesario minimizar el impacto de la señalización que pueda surgir sobre las aplicaciones que ejecutan los usuarios.

Para el desempeño del *MIP*, deben existir al menos 3 elementos: la estación móvil, el *Home Agent*, y el *Foreign Agent*, pero este último es reemplazado en sus funciones por el *Servidor WAC* que posee características similares y es el considerado en el diseño. Cuando una estación móvil sale de su subred de casa (*home subnet*) en la que tiene asignada una dirección *IP*, debe registrarse a la subred visitada (*foreign subnet*) donde se le asigna una segunda dirección *IP* temporal (*care-of-address*) perteneciente a esa nueva subred. El *HA* pertenece a la subred de casa de la estación móvil y se encarga de mantener la información de localización de ésta; además captura el tráfico dirigido a la estación móvil cuando visita otras subredes, lo encapsula (*tunneling*) y lo encamina hacia ésta. En la subred visitada, el *Servidor WAC* actúa como un *Proxy* para recibir el tráfico, lo desencapsula y mediante otro protocolo lo entregará a la *BS* para que este lo entregue a la estación móvil.

**Comunicación del WAC con la BS.** La *BS* se conecta al *WAC* mediante el *Switch LAN* que provee los anchos de banda necesarios así como los mecanismos asociados a *QoS*. Para el tráfico *IP* entre el *WAC* y la *BS*, se utiliza el protocolo *GRE*<sup>15</sup> el cual permite que el direccionamiento *IP* de los usuarios sea completamente independiente de la *RAN*, sin importar el medio de transporte que pueda existir además de establecer túneles, pudiendo transportar hasta 20 protocolos de red distintos [26]:

- Permite emplear protocolos de encaminamiento especializados que obtengan el camino óptimo entre los extremos de la comunicación.
- Soporta la secuencialidad de paquetes y la creación de túneles sobre redes de alta velocidad.
- Establece políticas de encaminamiento y seguridad.

Al tráfico *IP* que va a atravesar el túnel se le proporciona un encabezado del protocolo *PTP* y, a continuación, se coloca dentro de un paquete *GRE*. El paquete *GRE* lleva el tráfico entre los dos extremos del túnel, después de que el paquete *GRE* llega al extremo del túnel, el protocolo *PTP* se descarta y el tráfico *IP* se transmite por medio de la interfaz aire a su destino final.

Con esta arquitectura de túnel, la red de transporte de la *RAN* es ajena a la complejidad del aprendizaje de las direcciones *IP* de usuarios y de las direcciones *MAC* de los equipos.

---

<sup>15</sup> GRE: Generic Routing Encapsulation

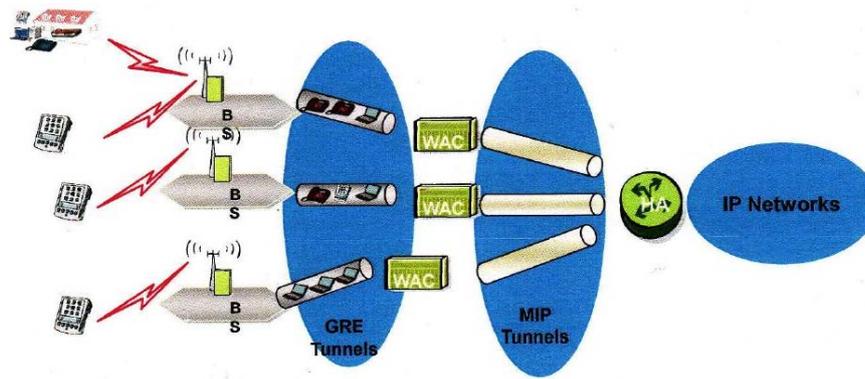


Figura. 4.18. Tunneling entre HA, WAC y BSs

**Manejo de la Movilidad.** Dentro de la tecnología *WiMAX Móvil* propuesta se definen varios escenarios de movilidad, que tienen relación directa con la velocidad que adquiere el usuario, principalmente en el ámbito vehicular durante el proceso de *handover*:

- Portabilidad.
- Movilidad Simple.
- Movilidad Completa.

Tabla. 4.6. Definición de los usos para los escenarios de movilidad

	Portabilidad	Movilidad Simple	Movilidad Completa
<b>Aplicaciones para operaciones móviles</b>	<i>VoIP, video streaming, juegos en Internet, videotelefonía, e-mail, web transferencia FTP</i>	<i>VoIP, video streaming, juegos en Internet, videotelefonía, e-mail, web transferencia FTP</i>	<i>E-mail, web, transferencia de archivos FTP, video streaming, VoIP</i>
<b>Movilidad de la estación suscriptora</b>	< 5 Km/h	< 60 Km/h	< 120 Km/h

Para llevar a cabo el desarrollo de los escenarios de movilidad descritos anteriormente, se contempla 3 principios fundamentales:

1. **IP Móvil:** La movilidad está basada en el empleo del protocolo *MIP*, en donde básicamente el suscriptor será localizado dentro de la red a través del *HA*. La manera en la que funciona la movilidad con el manejo del *HA* es:
  - Durante el ingreso del usuario en la red, el *WAC* maneja una tabla de direcciones *IP* proporcionadas por el *Servidor DHCP* para usarse en la estación móvil.
  - La estación móvil inicia un “*DHCP request*” (petición al *DHCP*) para obtener su configuración *IP*.
  - Esta solicitud “*DHCP request*” hace que se utilice la función *Proxy Mobile IP* en el *Servidor WAC*, el cual realiza un registro *MIP* con el *HA*.
  - Después del registro *MIP*, el *HA* conoce que los paquetes *IP* para la estación móvil tiene que ser enviados al *Servidor WAC*, el cual administra la *BS* con la cual la estación móvil se conecta.

Esto complementa a la definición que anteriormente se indicó, integrando también a los equipos de la red de núcleo.

2. **Break Before Make:** Esto significa que el servicio con la *BS* servidora (donde está conectada inicialmente la estación móvil) se libera antes de establecer el servicio con la *BS* destino (aquella a la que la estación móvil va a conectarse) por lo cual la estación móvil se desconecta de la red entre estos dos eventos. La duración para la desconexión de la estación móvil de la red durante el *handover* está entre 90 y 110 ms (el *handover* en *GSM* es de 150 ms); pero se espera que para futuras actualizaciones la misma sea menor, ya que las pruebas de *VoIP* escuchan un ligero corte pero la sesión de *VoIP* no se cae. El término “*Break Before Make*” sólo aplica a la interfaz de aire y no aplica del lado de la red. [24]

### 3. Solución de handover controlado por la red e iniciado por la estación móvil:

- La estación móvil realiza un escaneo con el objetivo de notificar a la red cuales son las *BSs* sobre las que se podría realizar el *handover*, para lo cual mide la calidad del enlace.
- La red es la responsable de proveer a la estación móvil la información requerida para realizar el escaneo: la lista de posibles *BSs* y el valor del umbral necesario para iniciar el proceso de *handover*.
- Finalmente, la red selecciona la *BS* destino para realizar el *handover* basada en las mediciones realizadas por la estación móvil.

**Escenarios de Movilidad.** Para la movilidad simple y completa se definen 2 tipos de escenarios:

1. **Movilidad intra-WAC:** Define la realización de un *handover* entre las *BSs* que pertenecen a un mismo *WAC*. Generalmente para ciudades medianas y pequeñas.
2. **Movilidad inter-WAC:** Define la realización de un *handover* entre las *BSs* que pertenecen a distintos *WAC*. Generalmente para grandes ciudades y extensos recorridos.

Para el caso del diseño de la red en el *sector de Sangolquí*, sólo es necesaria la movilidad *intra-WAC*.

**Movilidad intra-WAC.** Una vez que la estación móvil se ha conectado con una *BS*, el túnel *GRE* es transportado por el *WAC* hacia la próxima *BS* de la *red WiMAX Móvil*.

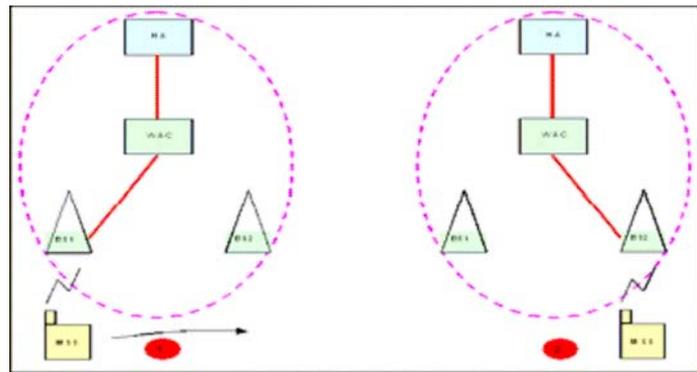


Figura. 4.19. Movilidad intra – WAC

Para el desarrollo de este modelo se consideran las siguientes funciones:

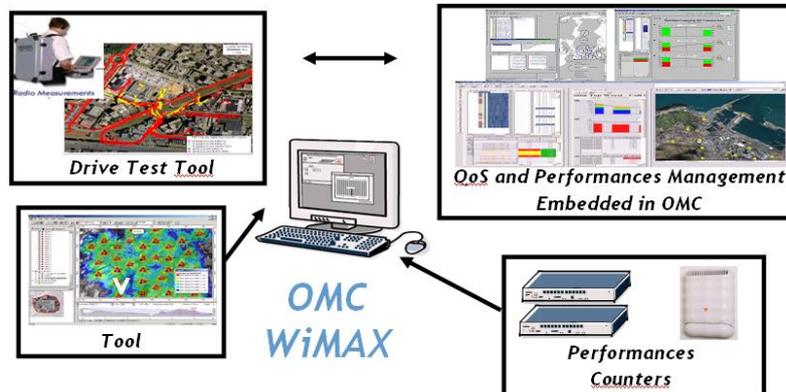
- La red proveerá a la estación móvil la lista de las *BSs* vecinas para realizar un escaneo en base a la calidad del enlace y establecer una re-selección de celda.
- Una vez que se alcanza el umbral del *handover* requerido, la estación móvil inicia el proceso.
- La red selecciona la *BS* destino, reserva los recursos para la estación móvil y le informa que ya ha sido seleccionada una *BS* destino.
- La estación móvil reingresa nuevamente a la red en la *BS* destino.

#### 4.4.4 Centro de Operación y Mantenimiento (OMC)

Es la plataforma de administración del *RAN WiMAX* que permite el monitoreo y configuración del sistema. Cualquier cliente de la red es alcanzable, es solamente asunto de la configuración del Servidor, lo cual se consigue mediante estaciones de trabajo locales.

La arquitectura del *OMC* ha sido diseñada de tal forma que logre administrar una *RAN WiMAX* sin ningún tipo de limitación en el número de estaciones móviles en la red. Su escalabilidad está garantizada por la ampliación de procesadores y capacidades de memoria. Aquí es en donde se almacena todos los datos de la *RAN*,

como inventario del *hardware* y *software*, y todos los parámetros técnico-operacionales de la red.



**Figura. 4.20. Centro de Operación y Mantenimiento (OMC)**

El Servidor más versátil para el *OMC* es el *Netra 440*, ya cumple con los requerimientos para gestionar y operar toda la *RAN*.



**Figura. 4.21. Servidor Netra 440**

El *OMC* integra las siguientes funcionalidades:

- Gestión de Configuración:
  - Gestión de Topología.
  - Gestión de Supervisión.

- Gestión de Equipamiento.
- Gestión de *Software*.
- Gestión de Fallas.
- Gestión de Rendimiento.
- Gestión de Seguridad.

Con propósitos de llevar el control y gestión de la red en aspectos trascendentales como instalación, supervisión, operación y mantenimiento, puede establecerse 2 formas para lograr este objetivo con la gran ventaja de manejarlo vía software: de manera centralizada y local.

**Centralizada.** La administración centralizada de la red se realiza mediante el protocolo *SNMP*<sup>16</sup>, desde un sitio remoto en donde podrían estar ubicados todos los equipos de la red de núcleo o inclusive la misma infraestructura de *red multiservicios*.

**Local.** Para llevar a cabo esta actividad, se utiliza el *LMT*: el procedimiento radica en la conexión de una *PC* al *WAC* y/o de una *PC* a la *BS*, en el sitio mismo donde están montadas las Radio Bases.

*LMT de PC a WAC (WAC NEM*<sup>17</sup>*)*

- Configuración de equipo local, como por ejemplo *hardware*.
- Configuración de parámetros para el transporte entre celdas.
- Administración local del *Software*, para gestión de módulos y ciertas aplicaciones.
- Administración de fallas.
- Inventario del *Hardware*, para llevar información del sistema y el listado de elementos físicos instalados.

---

<sup>16</sup> SNMP: Simple Network Management Protocol

<sup>17</sup> NEM: Network Element Manager

- Inventario del *Software*: para llevar información del sistema, y los programas utilizados en toda la arquitectura.

#### *LMT de PC a BS (BS NEM)*

- Configuración de equipo local, hardware y puertos de las antenas.
- Configuración de los parámetros de celda local.
- Administración local del *Software*, para gestión de módulos y ciertas aplicaciones.
- Administración de fallas.
- Acceso al estado operacional de los componentes lógicos (módulos de la *BS*, interfaces, etc.).
- Inventario del *Hardware*, para llevar información del sistema y el listado de elementos físicos instalados.
- Inventario del *Software*, para llevar información del sistema, y los programas utilizados en toda la arquitectura.

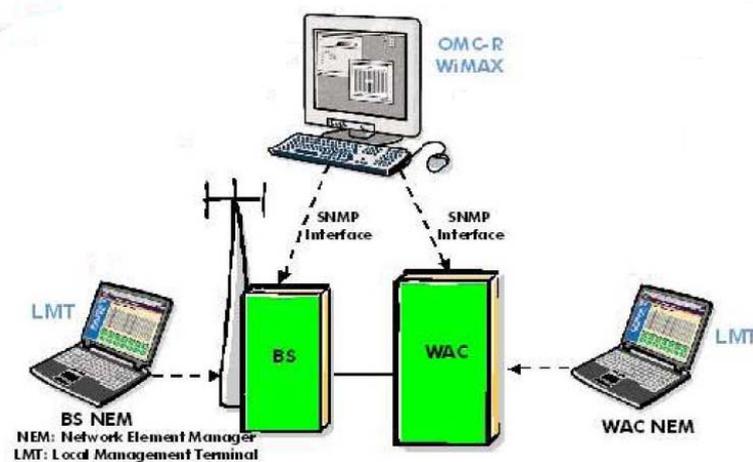


Figura. 4.22. Gestión de la red: centralizada y local

Esta es la forma en la que opera la *RAN* con sus 3 bloques principales: *BSs*, *WAC* y *OMC*:

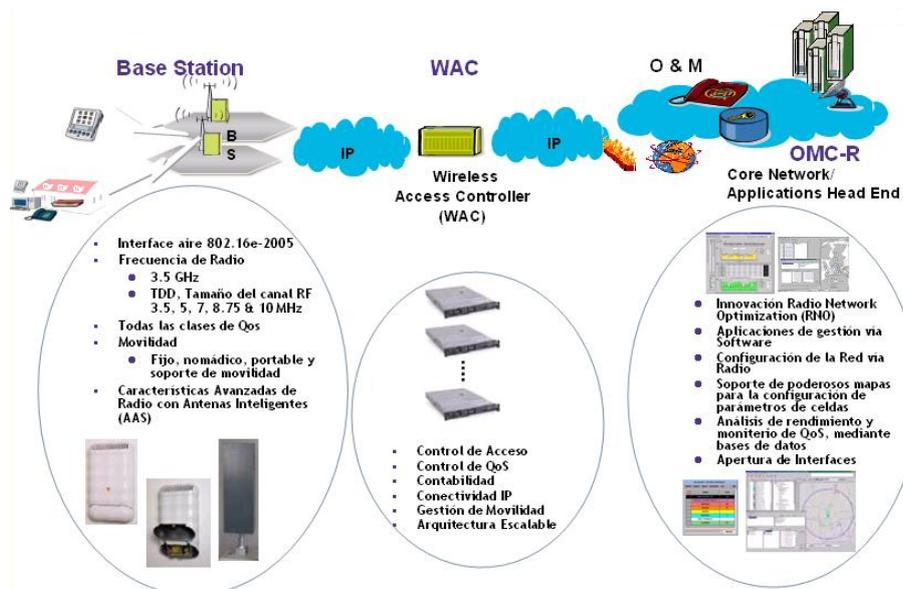


Figura. 4.23. Bloques funcionales del RAN WiMAX [16]

Para llevar a cabo la descripción de la arquitectura *WiMAX Móvil* se tomó como referente al equipamiento *Alcatel 9100 Evolium® WiMAX*, ya que se debe enfatizar en que los equipos que cumplen con el estándar *IEEE 802.16e*, aún siguen siendo soluciones propietarias, y esperan ser certificados por el *WiMAX Forum* en el segundo semestre del 2008; esto se debe a que primero están siendo certificados los equipos del estándar *IEEE 802.16d* y este proceso ha tomado más tiempo del que se esperaba.

#### 4.4.5 Unidades de Suscriptor

Son los dispositivos que permiten al usuario o suscriptor del servicio acceder a la *red WiMAX Móvil*.

El *CPE* puede ser de características *ODU* similar a una antena; o a su vez un accesorio interno *IDU* que constituye un *módem*, los mismos que contienen una antena direccional que el suscriptor debe orientar de tal manera que pueda obtener la mejor recepción posible proveniente de la estación base, pero debido a la operación

*NLOS*, no se producen mayores pérdidas, por lo que pueden ser instalados en cualquier lugar. Ambos *CPEs* generalmente se utilizan para ambientes fijos y portables, pero requieren ser instalados por personal técnico calificado.



**Figura. 4.24. CPE Indoor - Outdoor**

De la misma manera, las *laptops* necesitan tarjetas inalámbricas (similares a las de *Wi-Fi*), y para eso se emplean las *PCMCIA*<sup>18</sup>, que permitirán mantenerse enlazadas a la red, en ambientes fijos pero principalmente nomádicos y móviles.



**Figura. 4.25. Tarjeta PCMCIA**

Se tiene previsto que para futuras actualizaciones puedan existir terminales y equipos que internamente ya dispongan incorporada la solución *WiMAX Móvil* mediante chips inteligentes, sin necesidad de añadir accesorios complementarios.

La configuración general del *RAN WIMAX* con la participación de las unidades de suscriptor, queda definida de la siguiente manera:

---

<sup>18</sup> PCMCIA: Personal Computer Memory Card International Association

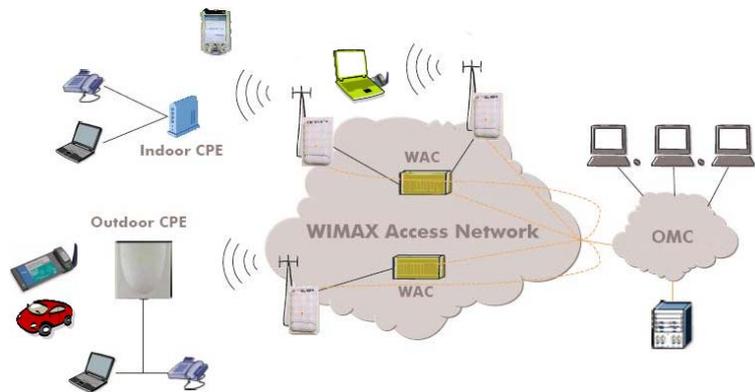


Figura. 4.26. Configuración general del RAN WiMAX

#### 4.5 INTERCONEXIÓN DE LA RAN WIMAX CON REDES EXTERNAS

La *RAN WiMAX* se interconecta con redes externas mediante la red de núcleo, es decir, con la *NGN* e *Internet* para el despliegue de los servicios propuestos en el *sector de Sangolquí*.

Para realizar la interconexión entre la *RAN WIMAX* y la red de núcleo se la realiza mediante el *HA*; a su vez éste se interconecta con la *NGN* mediante el equipo *SBC*<sup>19</sup>. El *SBC* tiene por función principal tomar los mensajes *SIP*, *RTP* y *RTCP* para el establecimiento y aplicación de *VoIP*, *streaming* audio/video, permitiendo el manejo y priorización de paquetes (*QoS*), que se transmiten a la *RAN WiMAX*.

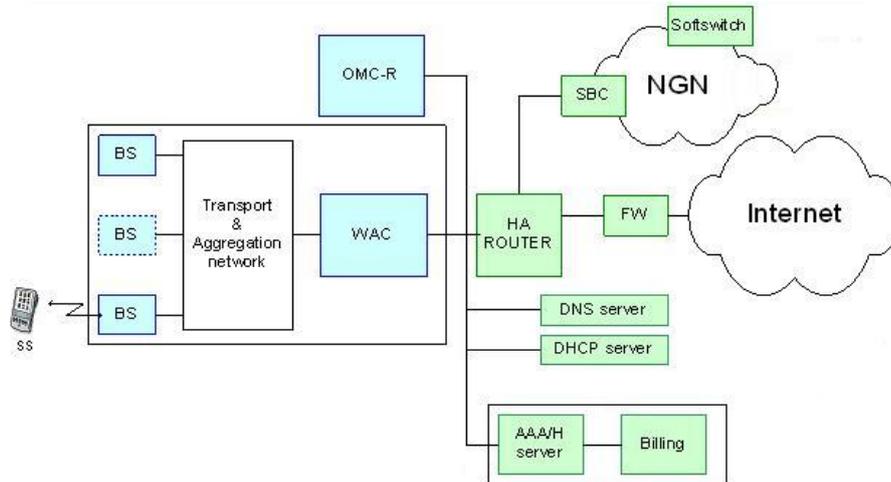
Por otro lado, para la interconexión entre el *HA* e *Internet*, sólo es necesario el tradicional cortafuegos (*FW*)<sup>20</sup>, para evitar los ataques de entes no autorizados a la red, además se utilizan los *CID*<sup>21</sup> que son usados para conducir mensajes de administración (autenticación del servicio) entre las estaciones suscriptoras y la *BS*; esto significa que los perfiles de usuario autenticados previamente por el *Servidor AAA* son transmitidos desde el *WAC* hacia la *BS*. De esta forma se puede brindar *HSI*

<sup>19</sup> SBC: Session Border Controller

<sup>20</sup> FW: Firewall

<sup>21</sup> CID: Connection Identifier

pero al ser una aplicación *Best Effort* tiene la última prioridad de *QoS*, razón por la cual aún no se la considera dentro de la *NGN*.



**Figura. 4.27. Interconexión de la RAN con redes externas**

Al ser una red tan versátil, es necesario de un *Servidor Billing* que es el encargado de establecer la facturación del servicio de acuerdo a tarifas planas, por uso o planes controlados.

Cabe señalar, que cuando se interconecta una *NGN* e *Internet* a la *RAN*, el acceso *WiMAX* o *RAN WiMAX* está delimitado entre las *BSs* y el *HA Router*.

## 4.6 SEGMENTACIÓN DE TRÁFICO

La previsión de la demanda, los requerimientos de ancho de banda y las velocidades de transmisión son aspectos claves dentro del proceso de planificación de un sistema de comunicaciones; mediante ellos se puede determinar la capacidad de los usuarios, así como los equipos necesarios que se deben instalar.

La población de *Sangolquí* es de aproximadamente 68.860 habitantes [27], y se toma en cuenta un promedio de 5 personas por familia:

$$\text{Número de Familias} = \frac{68.860 \text{ habitantes}}{5 \frac{\text{habitantes}}{\text{familia}}} = 13.772$$

Sin embargo, no se puede asegurar que las 13.772 familias o posibles clientes adquirirán el servicio de *WiMAX Móvil*, pero si se puede hacer una estimación de que inicialmente el 5% de éstos requerirán y podrán adquirir el servicio en cuestión, ya que esta tecnología deberá entrar en el mercado a competir tanto con soluciones cableadas establecidas como con soluciones inalámbricas existentes, lo cual implica que se tendrían aproximadamente 688,6 clientes (se consideran 690 clientes) tomando en cuenta que cada lugar que caracteriza al *sector de Sangolquí* posee estrato socio-económico diverso, lo que conlleva a tener prioridad hacia clientes potencialmente solventes a quienes se les debe suministrar el mejor servicio, así como también a las entidades comerciales, industriales y empresariales que ahí coexisten.

Por lo tanto, los usuarios de acuerdo a su jerarquía, llegan a tener diferentes comportamientos en el tráfico que requieran del sistema de comunicaciones inalámbrico, y los clientes potenciales serán quienes tengan los mejores rendimientos de velocidades de transmisión, por lo que los mismos tendrán que estar muy cerca de las Radio Bases planificadas.

De esta manera, inicialmente la *red WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí* tendrá la siguiente segmentación de tráfico, basada en los tipos de demanda actual acordes a nuestro medio:

Tabla. 4.7. Distribución de clientes de acuerdo a la velocidad contratada [28]

Clientes (%)	Velocidad DL (Kbps)	Velocidad UL (Kbps)	Número de clientes	Tipo
45	128	64	311	Popular
40	256	128	276	Residencial
10	512	256	69	Comercial
5	1024	512	35	Corporativo Elite

#### 4.7 DISEÑO DE CELDAS

El principal motivo de la elaboración del presente proyecto de titulación es proporcionar una solución de servicios de voz, video y datos en el sector de *Sangolquí* a quienes no es posible llegar por medios cableadas como *ADSL* y *Cable Módem* a través de la infraestructura existente, brindar soporte a las conexiones de pequeñas redes inalámbricas, y complementar a soluciones inalámbricas preexistentes como *3G*.

Para el diseño de las celdas es necesario analizar los cálculos y parámetros que permitan establecer la cobertura y performance en el área prevista, por esta razón para realizar el diseño de un enlace inalámbrico de Banda Ancha se debe considerar:

- Pérdidas de trayectoria.
- Presupuesto del enlace (*Link Budget*).
- Margen de desvanecimiento.
- Confiabilidad del sistema.

##### 4.7.1 Pérdidas de trayectoria

Para la determinación de pérdidas de trayectoria en aplicaciones inalámbricas se lleva a cabo la utilización de los modelos de propagación. Estos modelos están basados en mediciones empíricas y son usados para predeterminar coberturas de gran escala e inicialmente fueron adaptados en aplicaciones celulares, pero que en la actualidad han sido mejorados para las tecnologías con aplicaciones inalámbricas fijas y móviles, los cuales intentan caracterizar el entorno de RF y predecir el alcance de sus intensidades.

El estándar *IEEE 802.16e* al basarse en un sistema *NLOS* y con características de comunicaciones móviles, debe considerar como parte del modelo de propagación aspectos fundamentales como pérdidas en el espacio libre, difracción y dispersión de señal, así como pérdidas multi-pantallas.

El *modelo Cost 231 Walfish-Ikegami (W-I)* se adapta bastante al estándar *WiMAX*, ya que puede ser usado en las bandas de *UHF* y de *SHF*, considerando aspectos claves para la operación de las *BSs* con estaciones móviles en situaciones *NLOS* de entornos urbanos y suburbanos. Este modelo de propagación es muy específico ya que toma en cuenta los siguientes parámetros para su desarrollo:

- Altura promedio de los edificios ( $h_{roof}$ )
- Altura de las estaciones base ( $h_{base}$ ),
- Altura de las estaciones móviles ( $h_{mobile}$ ).
- Anchura de las calles ( $w$ ).
- Orientación de la calle con respecto al rayo directo de la antena transmisora y el móvil ( $\varphi$ ).
- Distancia entre los centros de edificios y predios ( $b$ ).

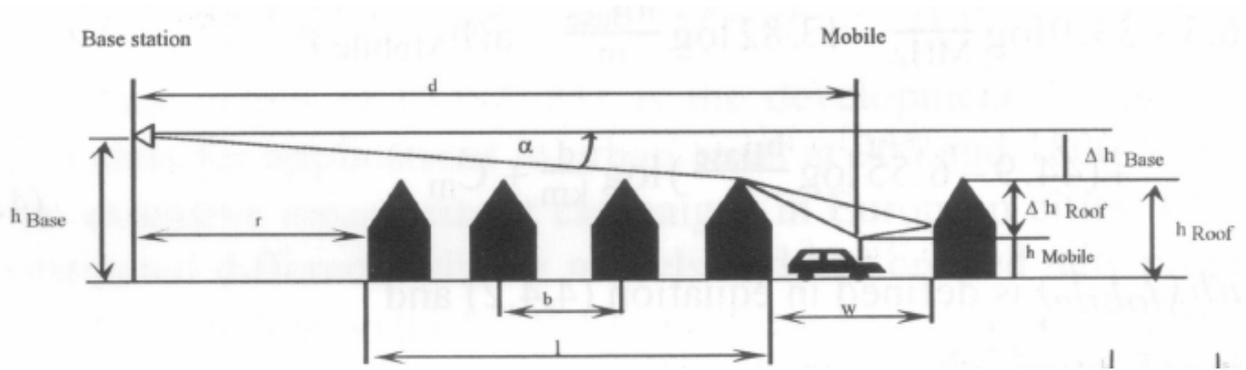


Figura. 4.28. Parámetros del modelo Cost 231 Walfish - Ikegami

En este modelo existen tres componentes importantes que determinan las pérdidas de trayectoria  $L_b$ :

$$L_b = L_o + L_{rts} + L_{msd}$$

Donde:

$L_o$  = Pérdidas en el espacio libre

$L_{rts}$  = Difracción azotea a calle

$L_{msd}$  = Pérdidas multi-pantallas

**Pérdidas en el espacio libre.** Mide la pérdida de potencia en el espacio libre sin considerar cualquier tipo de obstáculos. La señal de radio se debilita en el espacio libre debido a la expansión en una superficie esférica.

$$L_o = 32.4 + 20 \log \left( \frac{d}{Km} \right) + 20 \log \left( \frac{f}{MHz} \right)$$

Donde:

$d$  = Distancia desde la BS hasta el CPE o a la estación móvil

$f$  = Frecuencia de operación

Los cálculos para el diseño de la red se realizarán considerando distancias referenciales desde los 0.5 Km hasta los 5 Km, y su frecuencia de operación es de 3.5 GHz.

**Tabla. 4.8. Resultados obtenidos para las pérdidas en el espacio libre**

$d(Km)$	$L_o(dB)$
0.5	97.260
1	103.281
1.5	106.80
2	109.301
2.5	111.240
3	112.823
3.5	114.162
4	115.322
5	117.260

#### Difracción azotea a calle.

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log\left(\frac{w}{m}\right) + 10 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) + 20 \log\left(\frac{\Delta h_{mobile}}{m}\right) + L_{ori}$$

Donde:

$$\Delta h_{mobile} = h_{roof} - h_{mobile}$$

$$L_{ori} = -10 + 0.354 \frac{\varphi}{deg} \quad \text{para } 0^\circ \leq \varphi \leq 35^\circ$$

$$L_{ori} = 2.5 + 0.075 \left( \frac{\varphi}{deg} - 35 \right) \quad \text{para } 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ$$

$$L_{ori} = 4.0 - 0.114 \left( \frac{\varphi}{deg} - 55 \right) \quad \text{para } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$$

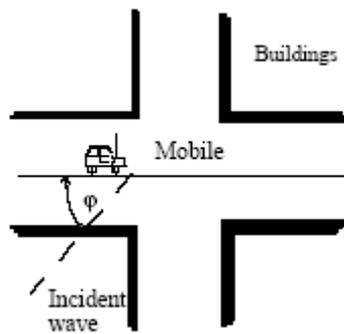


Figura. 4.29. Orientación de la calle con respecto al rayo directo

Debido a la irregularidad en las estructuras de edificios, predios y calles en el *sector de Sangolquí*, es recomendable usar los siguientes valores estándar para las fórmulas anteriormente indicadas:

$$w = 10m$$

$$\varphi = 90^\circ$$

$$h_{roof} = 10.5m$$

$$h_{mobile} = 2m$$

$$\Delta h_{mobile} = 8.5m$$

Tabla. 4.9. Resultados obtenidos para las pérdidas por difracción azotea a calle

$L_{rts} (dB)$
27.139

### Pérdidas de multi-pantalla.

$$L_{msd} = L_{beh} + k_a + k_d \log\left(\frac{d}{Km}\right) + k_f \log\left(\frac{f}{MHz}\right) - 9 \log\left(\frac{b}{m}\right)$$

$$L_{beh} = -18 \log \left( 1 + \frac{\Delta h_{base}}{m} \right) \quad \text{para } h_{base} > h_{roof}$$

$$\Delta h_{base} = h_{base} - h_{roof}$$

$$k_a = 54 \quad \text{para } h_{base} > h_{roof}$$

$$k_d = 18 \quad \text{para } h_{base} > h_{roof}$$

$$k_f = -4 + 0.7 \left( \frac{f / \text{MHz}}{925} - 1 \right); \quad \text{para ciudades de mediano y pequeño tamaño y centros suburbanos con densidad moderada de árboles}$$

$$b = 2w$$

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos al aplicar las fórmulas anteriores, considerando los valores estándar:

$$h_{roof} = 10.5m$$

$$h_{base} = 24m$$

$$\Delta h_{base} = 13.5m$$

$$b = 20m$$

**Tabla. 4.10. Resultados obtenidos para las pérdidas por multi-pantalla**

$d(Km)$	$L_{msd}(dB)$
0.5	8.698
1	14.117
1.5	17.287
2	19.535
2.5	21.280
3	22.705
3.5	23.910
4	24.954
5	26.698

### 4.7.2 Cálculo del presupuesto del enlace (Link Budget)

En base a los resultados anteriores se procede a realizar los cálculos correspondientes al cálculo del presupuesto del enlace:

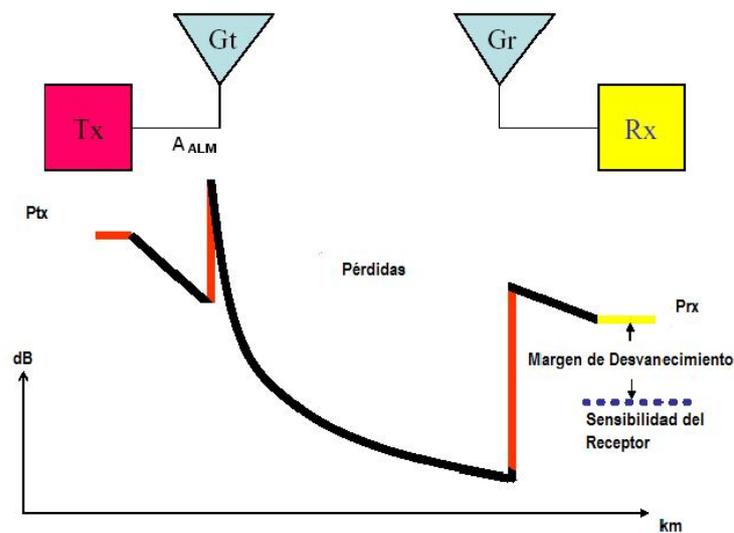


Figura. 4.30. Esquema de presupuesto de enlace [29]

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - A_{ALM} - L_b$$

Donde:

$P_{RX}$  = Potencia nominal de recepción: valor de potencia recibida en el receptor

$P_{TX}$  = Potencia de transmisión, dada por la BS.

$G_{TX}$  = Ganancia de la antena de transmisión, dada por la antena sectorial.

$G_{RX}$  = Ganancia de la antena de recepción, dada por la antena de la SS.

$A_{ALM}$  = Pérdidas por cableado, inserción e implementación.

$L_b$  = Pérdidas de trayectoria.

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos al aplicar las fórmulas anteriores, considerando los siguientes valores de acuerdo al equipamiento especificado:

$$P_{TX} = 35dBm$$

$$G_{TX} = 17dBi$$

$$G_{RX} = 17dBi$$

$$A_{ALM} = 0.7dB + 0.2427dB + 0.5dB \quad [30]$$

**Tabla. 4.11. Resultados obtenidos del cálculo de la potencia recibida en el receptor**

$d(Km)$	$L_b(dB)$	$P_{RX}(dBm)$
0.5	133.097	-65.54
1	144.537	-76.98
1.5	151.226	-83.669
2	155.975	-88.418
2.5	159.659	-92.102
3	162.667	-95.11
3.2	163.732	-96.175
3.3	164.24	-96.683
3.5	165.211	-97.654
4	167.415	-99.858
5	171.097	-103.54

### 4.7.3 Margen de desvanecimiento (FM)<sup>22</sup>

Se define como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia nominal de recepción  $P_{RX}$  y el nivel mínimo de potencia denominada potencia umbral del

<sup>22</sup> FM: Fading Margin

receptor o sensibilidad de recepción  $U_{RX}$ , que asegura una tasa de error ( $BER$ ) entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ , y se lo calcula:

$$FM = P_{RX} - U_{RX}$$

El cálculo del  $FM$  es importante pues determina la fluctuación del nivel recibido en el receptor por debajo del nivel teórico de recepción calculado (en la tabla 4.10). La sensibilidad de recepción de los  $CPEs$  y tarjetas  $PCMCIA ZYXEL$  es de  $U_{RX} = -96.2dBm$ . [31]

**Tabla. 4.12. Resultados obtenidos del cálculo del FM**

$d(Km)$	$FM(dB)$
0.5	30.66
1	19.22
1.5	12.531
2	7.782
2.5	4.098
3	1.09
3.2	0.025
3.3	-0.483
3.5	-1.454
4	-3.658
5	-7.34

Esta tabla se presenta extendida, debido a que el margen de desvanecimiento se puede ver reducido debido a la presencia de obstáculos, interferencias y desvanecimiento, además existe un punto en el que el margen de desvanecimiento empieza a ser negativo, razón por la que se amplió la cantidad de puntos referenciales, pues aquellos puntos en los que el  $FM$  empieza a ser negativo no son útiles. [29]

Dadas estas condiciones y basados en los resultados anteriores, se determina que hasta la distancia de 3.2 Km existe un margen de desvanecimiento, con lo cual se concluye que la cobertura que se tendría llegaría hasta ese límite, es decir que el diámetro de cobertura tiene aproximadamente 6.4 Km por Radio Base.

#### 4.7.4 Confiabilidad (R)<sup>23</sup>

La Confiabilidad permite determinar el porcentaje de tiempo que el enlace estará disponible:

$$R = 1 - P$$

$$P = 6 \times 10^{-7} \times C \times f \times d^3 \times 10^{-FM/10}$$

Donde:

$d$  = Distancia desde la *BS* hasta el *CPE* o a la estación móvil.

$f$  = Frecuencia de operación en GHz.

FM= Margen de desvanecimiento.

$C$  = Factor dependiente del tipo de terreno;  $C = 1$  (Terreno y clima promedio con condiciones promedio de propagación).

La siguiente tabla resume los resultados del porcentaje de Indisponibilidad del sistema:

---

<sup>23</sup> R: Reliability

**Tabla. 4.13. Resultados obtenidos del cálculo de indisponibilidad del sistema**

$d(Km)$	$FM(dB)$	$P(\%)$
0.5	30.66	$2.255 \times 10^{-10}$
1	19.22	$2.513 \times 10^{-8}$
1.5	12.531	$3.957 \times 10^{-7}$
2	7.782	$2.8 \times 10^{-6}$
2.5	4.098	$1.277 \times 10^{-5}$
3	1.09	$4.411 \times 10^{-5}$
3.2	0.025	$6.842 \times 10^{-5}$
3.3	-0.483	$8.436 \times 10^{-5}$
3.5	-1.454	$1.258 \times 10^{-4}$
4	-3.658	$3.12 \times 10^{-4}$
5	-7.34	$1.423 \times 10^{-3}$

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para la Confiabilidad del sistema al aplicar  $R = 1 - P$ :

**Tabla. 4.14. Resultados obtenidos del cálculo de confiabilidad del sistema**

$d(Km)$	$R(\%)$
0.5	0.9999999999
1	0.9999999974
1.5	0.9999999604
2	0.99999972
2.5	0.99998723
3	0.99995589
3.2	0.99993158
3.3	0.99991564
3.5	0.9998742
4	0.999688
5	0.998577

#### 4.8 UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES

La red *WiMAX Móvil* a desplegarse tendrá un área de cobertura que va desde el sector de “*El Triángulo*” hasta la *Urbanización “Club Los Chillos”*. La densidad de usuarios en todo el *sector de Sangolquí* no es uniforme, por lo que es necesario ubicar las zonas donde están concentrados los usuarios potenciales para la implantación de las Radio Bases, pero para esto primeramente es necesario realizar visitas de campo a varias estaciones de transmisión existentes.

Para las visitas de campo hacia las estaciones o lugares preseleccionados, es importante hacer uso del siguiente equipo que permita verificar con mayor claridad sus especificaciones:

- Mapas topográficos con escala de 1:50000 que son apropiadas para el diseño, ya que permiten localizar los puntos claves y reflejan una idea de la magnitud que puede llegar a tener la cobertura de la red.

- *GPS* permite verificar las coordenadas geográficas de las estaciones de manera electrónica, con la captación de al menos 3 satélites geoestacionarios.
- Altimetro proporciona la altura real del sitio tomando como referencia el nivel del mar (msnm).
- Binoculares, para verificar las posibles estaciones que no sean divisibles a simple vista, y constatar si el entorno es propicio para montar una Radio Base.

Una vez llevado a cabo el procedimiento anterior, ahora se debe establecer las estaciones o emplazamientos apropiados para el montaje de la infraestructura propuesta y verificar el área de cobertura en cada lugar con buenas prestaciones; para ello se utilizará el software de simulación para sistemas inalámbricos *SIRENET 3.0*, que permitirá seleccionar los sitios definitivos mediante el siguiente procedimiento:

- Ubicar los sitios visitados en el simulador mediante sus coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar.
- Definir las especificaciones técnicas y valores de los parámetros requeridos.
- Generar los perfiles topográficos del terreno entre cada uno de los sitios preseleccionados y verificar si existe *LOS* entre las mismas para los enlaces microondas pertinentes con el fin de transmitir los servicios desde una Radio Base central hacia Radio Bases remotas.
- Generar las áreas de cobertura para cada una de las Radio Bases, exportarlas a *GOOGLE EARTH* y verificar si las mismas tienen el grado de penetración esperado.
- Debido a que la distribución de los servicios se realizará mediante un *backbone* microondas, se debe determinar si la topología de red para los radioenlaces deben ser *PTP* (sólo entre 2 Radio Bases) o *PMP* (entre más de 2 Radio Bases).
- Los perfiles topográficos del terreno definitivos serán simulados también en el software *ALCATEL PATH LOSS V.4*, ya que el mismo considera los posibles obstáculos que pueden existir en la trayectoria de los enlaces microondas, confirmando la posibilidad de llevarlos a cabo en la práctica.
- Comparar los resultados teóricos con los resultados obtenidos en la simulación, para el alcance de la cobertura de la *red WiMAX Móvil*.

Mediante esta secuencia se pudo comprobar que las estaciones y emplazamientos escogidos para desplegar los servicios previstos en el *sector de Sangolquí* mediante la tecnología *WiMAX Móvil* son los siguientes:

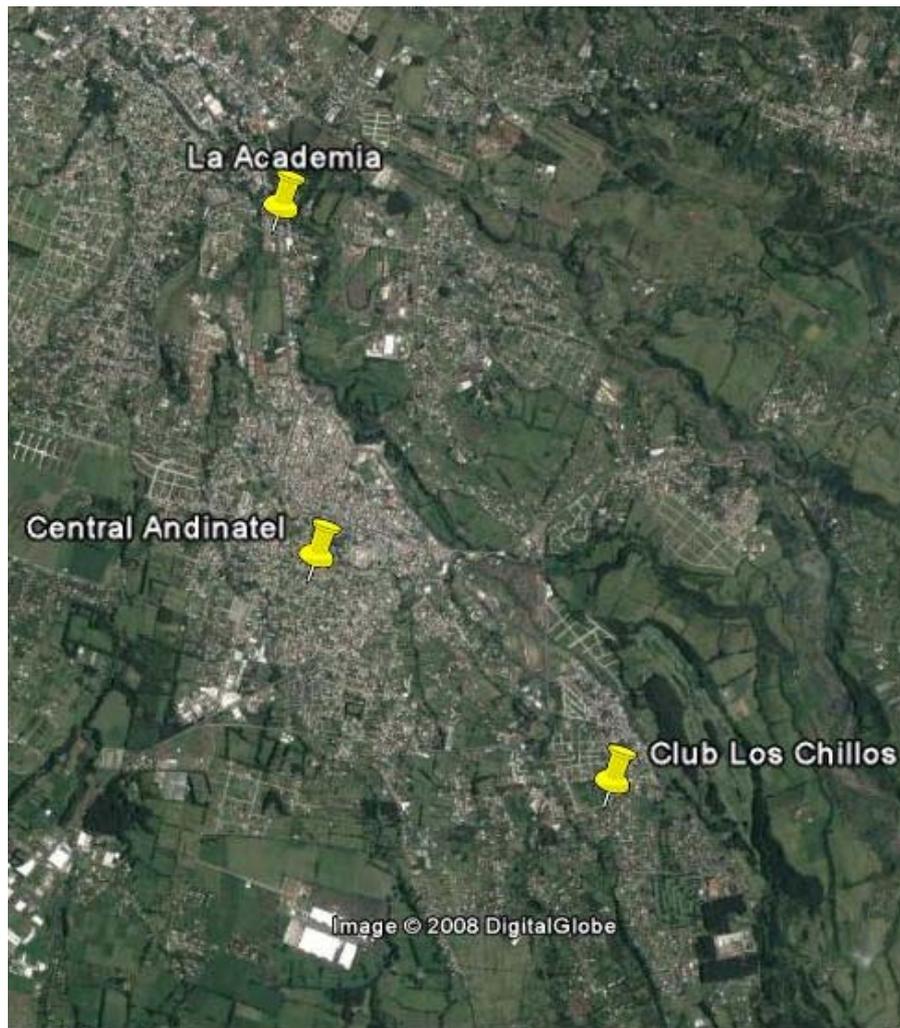
**Tabla. 4.15. Puntos Geográficos de las Radio Bases escogidas**

Lugar de emplazamiento de la Radio Base	Altura sobre el nivel del mar (msnm)	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
La Academia	2498	0° 18' 50" S	78° 27' 04" O
Central Andinatel de Sangolquí	2525	0° 20' 10" S	78° 26' 56" O
Club Los Chillos	2558	0° 21' 00" S	78° 25' 50" O

Inicialmente se tenía previsto sólo utilizar 2 Radio Bases (una en el *Centro Comercial “River Mall”* y la otra en la *Urbanización “Club Los Chillos”*) pero al llevar a cabo el estudio, se obtuvo una brecha de cobertura entre ambas celdas que hubiese afectado el proceso de *handover*, y además la cobertura generada no llegaba a todos los clientes potenciales, razón por la que hubo la necesidad de replantear la ubicación de infraestructuras y considerar una Radio Base más pero en diferentes localidades. Es por esto que las Radio Bases que han sido elegidas estarán en las siguientes direcciones:

- “*La Academia*”, ubicada en la calle *Aurelio Naranjo* y *Av. Gral. Enríquez*, paralela a la *Escuela Politécnica del Ejército*.
- “*Central Andinatel de Sangolquí*”, ubicada entre las calles *España* y *Altar*, 700m al suroeste del *Parque Turismo*.
- “*Club Los Chillos*”, ubicado en la calle *Francisco Guarderas*, cercana a la *Urbanización “Club Los Chillos”*, contigua a *Selva Alegre* en el punto extremo de *Sangolquí*.

La siguiente figura muestra las estaciones contempladas en *GOOGLE EARTH* de acuerdo a su posición geográfica. Además se indica los reportes técnicos generados en el Software SIRENET 3.0 de acuerdo a la ubicación geográfica basados también en parámetros de Tx/Rx para cada emplazamiento considerado y que se encuentran en el [ANEXO 1](#):



**Figura. 4.31. Ubicación Geográfica de las Radio Bases [32]**

Cada uno de los sitios anteriormente descritos posee las siguientes características de infraestructura:

- En la Estación “*La Academia*” existe una torre de 36m de telefonía celular con disponibilidad para instalación de equipos.
- En la “*Central Andinatel de Sangolquí*”, se tiene previsto montar un monopolo de 6m, que al ser sumados a los 18m del predio dan un total de 24m. Además en este predio, existe espacio disponible para la instalación de equipos de red, por lo que se considera que algunos de los equipos de la *RAN* y los de la red de núcleo estarán ubicados en esta unidad base. Por otro lado, para lograr la interconexión de la *RAN* con redes externas (*NGN, Internet*), se asumirá el empleo de tendido de fibra óptica desde el lugar de ubicación del operador, lo cual no se incluye en este proyecto de estudio.
- En el *sector de Selva Alegre* no existe infraestructuras de antenas, razón por la cual se ha considerado al sector del “*Club Los Chillos*” como una localidad idónea para el presente estudio, con una implantación de una torre o mástil de 24m, para la ubicación del equipamiento.

Estos emplazamientos se los puede visualizar gráficamente en el [ANEXO 2](#).

Estas alturas se podrán comprobar al momento de generar los perfiles topográficos del terreno y corroborar las alturas mínimas a las que estarán las antenas microondas, y por consiguiente también las antenas sectoriales.

A continuación se detalla los requerimientos que deben cumplir los equipos de la *RAN WiMAX* a utilizarse en la red considerada:

Tabla. 4.16. Parámetros de Radio Base [33]

ESTACIÓN BASE		
Tipo	Característica	Soportada por la BS
De Radio	Banda de Frecuencia	3.5 GHz
	Ancho de banda del canal	5, 10 MHz
	Modo de duplexación	TDD
	Máxima salida de RF	35 dBm
	Acceso múltiple	<i>OFDMA (SOFDMA) según 802.16e.</i>
	Modulación	<i>QPSK, 16 QAM, 64 QAM</i>
De Red	Interfaz de Red	10/100 Base T <i>Ethernet</i>
	<i>VLAN</i> <sup>24</sup>	<i>802.1q</i>
ANTENAS INTELIGENTES		
	Característica	Soportada por antena
	Bandas de Frecuencia	3.5 GHz
	Polarización	Vertical/Horizontal
	Impedancia de Entrada	50 Ohms
	Ganancia	17 dBi

<sup>24</sup> VLAN: Virtual Local Area Network

Tomando como antecedentes todo lo señalado anteriormente, pero sobre todo la ubicación de los sectores a los que se requiere dar servicio, la solución más eficiente es la de tener 3 BSs por Radio Base, empleando 3 antenas sectoriales con lóbulos de radiación de 120°, distribuidas alrededor de una torre o mástil central.

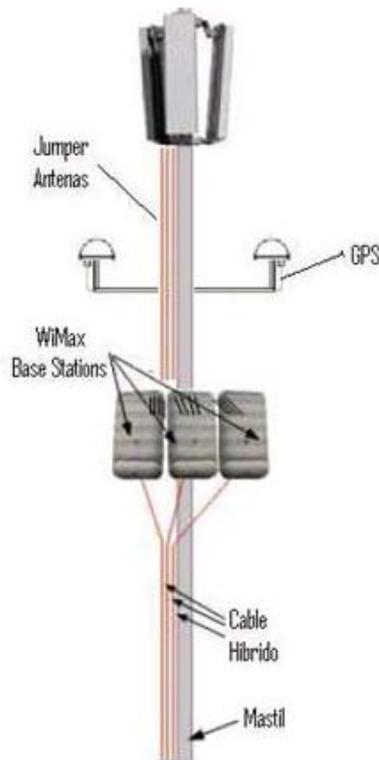
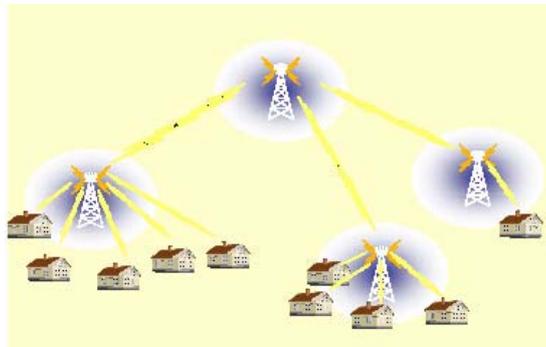


Figura. 4.32. Sectorización de las BSs

#### 4.9 TOPOLOGÍA DE LA RED

*WiMAX Móvil* es una tecnología que puede ser tratada tanto en enlaces *PTP* como en enlaces *PMP*, sin embargo se ha orientado más al acceso de última milla. Por esta razón, existen otros medios dedicados a su transporte, por lo que es posible desplegar una red cableada dedicada a la interconexión de Radio Bases, o bien realizar estas conexiones vía enlaces microondas *PTP* o *PMP* hacia Radio Bases remotas, como solución al *backbone* de la red.

Para el diseño de la red se utilizará una topología *PMP*, en donde la *Central Andinatel de Sangolquí* será el transmisor hacia las 2 Radio Bases remotas, es decir la Estación “*La Academia*” y la Estación “*Club Los Chillos*”, respectivamente, por medio de enlaces microondas en la interfaz aire para transportar los servicios a desplegarse en sus respectivos sectores de cobertura. Además esta topología representa la arquitectura más extendida que permite al operador de red alcanzar el mayor número de usuarios limitando el número de equipos (especialmente los equipos de red) para la operación de la misma. De esta manera todos los segmentos de la red estarán conectados mediante un *backbone* microondas.



**Figura. 4.33. Topología de red PMP**

Los equipos *WiMAX* como los *Switch LAN* que se encuentran en la *Central Andinatel de Sangolquí* tienen interfaces 10/100 Base T *Ethernet* y se conectan a una Radio *IDU/ODU* para enlazarse con 2 antenas microondas que permiten transportar por medio de la interfaz aire los servicios hacia las 2 Radio Bases remotas respectivamente.

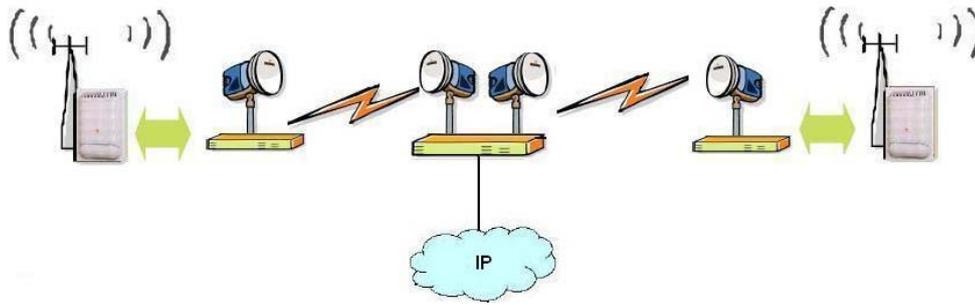


Figura. 4.34. Backbone Microondas

#### 4.10 ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LAS ZONAS

El sector de Sangolquí se encuentra en la zona del “Valle de Los Chillos” en donde el terreno tiene una forma regular bastante definida.

Para la generación de los perfiles topográficos del terreno, inicialmente se consideró a *SIRENET 3.0* pero al necesitar comprobar parámetros más determinantes como *LOS* y libertad en la *1era. Zona de Fresnel* para varios factores de curvatura *K*, se utilizó el *Software ALCATEL PATH LOSS 4.0*, el cual considera la altura promedio de los diversos obstáculos a 12m (edificaciones, árboles, etc), así como también la libertad en la *1era. y 2da. Zona de Fresnel* en las trayectorias de los enlaces microondas propuestos.

##### 4.10.1 Enlace Central Andinatel – La Academia

Transmisor:

Nombre: *Central Andinatel*

Latitud:  $0^{\circ} 20' 10''$  S

Longitud:  $78^{\circ} 26' 56''$  O

Altura: 2525 m

Antena: 24 m

Receptor:

Nombre: *La Academia*

Latitud: 0° 18' 50" S

Longitud: 78° 27' 04" O

Altura: 2498 m

Antena: 24 m

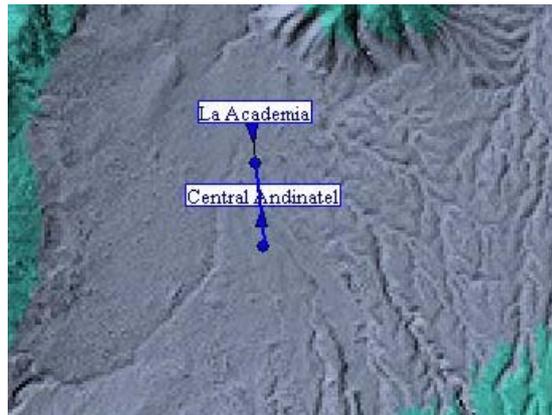


Figura. 4.35. Ubicación Geográfica Central Andinatel – La Academia [34]

La distancia del radioenlace entre la “*Central Andinatel de Sangolquí*” y la Estación remota “*La Academia*”, es de 2.47 Km, y la frecuencia de operación para las antenas microondas es de 7.5 GHz:

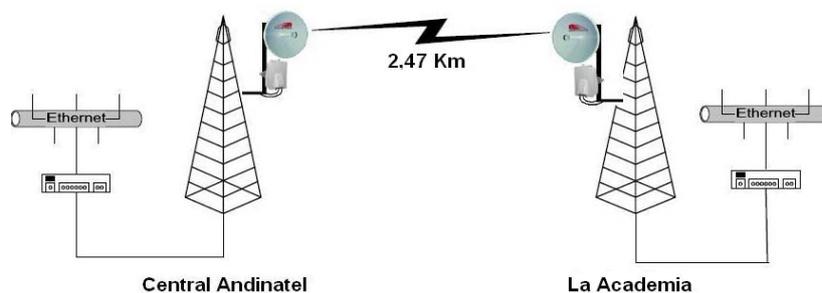


Figura. 4.36. Diagrama del enlace Central Andinatel – La Academia

El perfil topográfico del terreno se generó para 2 factores de curvatura de la Tierra: un factor de curvatura real ( $K = 1.33$ ) y un factor de curvatura severamente crítico ( $K = 0.01$ ):

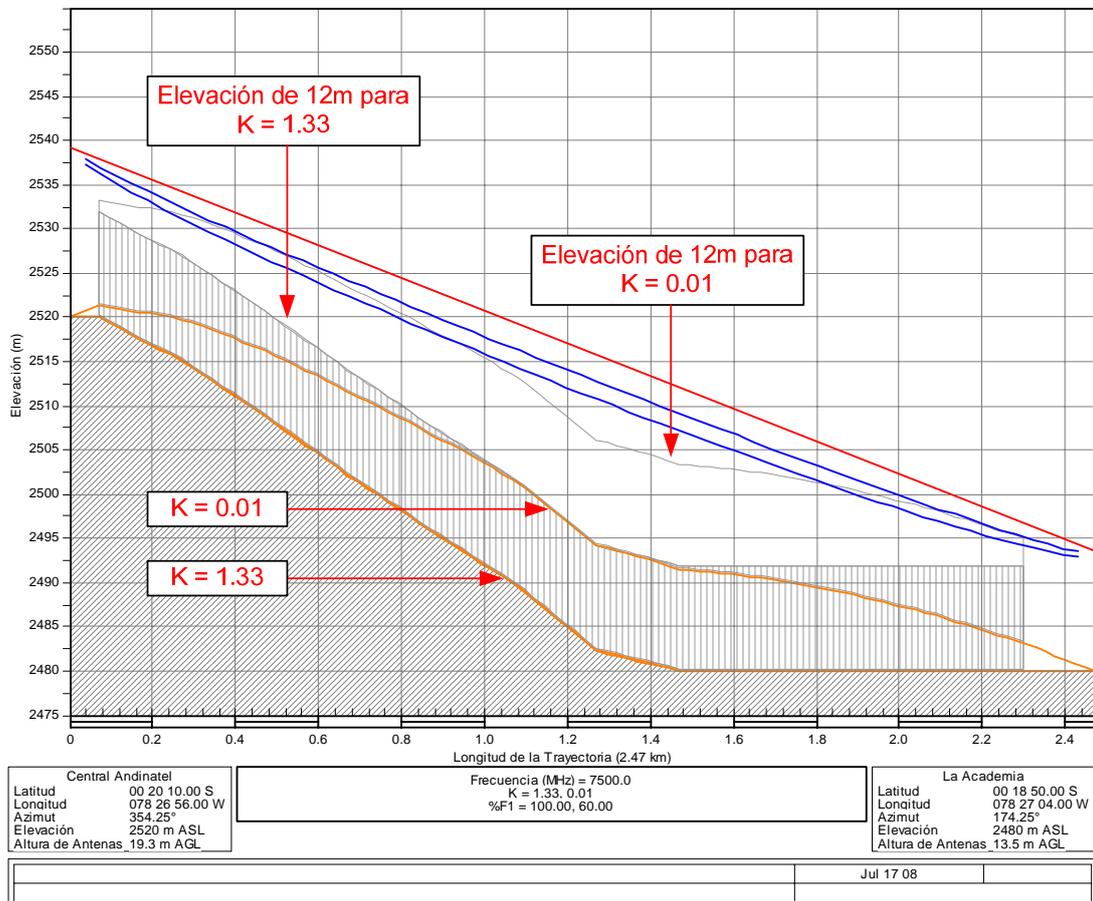


Figura. 4.37. Enlace Central Andinatel – La Academia [35]

**Cálculo de la 1era. y 2da. Zona de Fresnel:**

$$F_1 = 548 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}}$$

$$F_1 = 548 \sqrt{\frac{(2.2)(0.2)}{(7500)(2.47)}}$$

$$F_1 = 2.67m$$

$$0.6F_1 = 1.6m$$

$$F_2 = \sqrt{2}F_1$$

$$F_2 = 3.78m$$

### Cálculo de Potencia de Recepción

La Radio *IDU/ODU* y las antenas microondas respectivamente, poseen las siguientes características eléctricas:

$$P_t = 21dBm$$

$$G_t = G_r = 31.3dBi$$

$$P_r = P_t + G_t + G_r - A_{eL} - A_{ALM}$$

$$A_{eL} = 32.5 + 20\log f(MHz) + 20\log d(Km)$$

$$A_{eL} = 32.5 + 20\log(7500) + 20\log(2.47)$$

$$A_{eL} = 32.5 + 77.5 + 7.85$$

$$A_{eL} = 117.85dB$$

Las pérdidas de cableado e inserción ( $A_{ALM}$ ) en la guía de onda son aproximadamente 1 dB, la cual solamente tiene una longitud de 1 m desde la *ODU* hasta la antena microonda, por lo tanto:

$$P_r = 21 + 31.3 + 31.3 - 117.85 - 1$$

$$P_r = -35.25dBm$$

#### 4.10.2 Enlace Central Andinatel – Club Los Chillos

Transmisor:

Nombre: *Central Andinatel*

Latitud: 0° 20' 10" S

Longitud: 78° 26' 56" O

Altura: 2525 m

Antena: 24 m

Receptor:

Nombre: *Club Los Chillos*

Latitud: 0° 21' 00" S

Longitud: 78° 25' 50" O

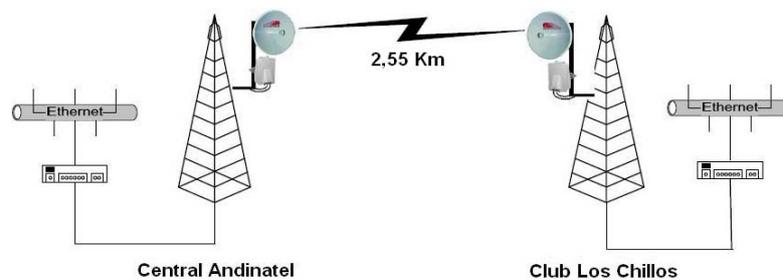
Altura: 2558 m

Antena: 24 m



**Figura. 4.38.** Ubicación Geográfica Central Andinatel – Club Los Chillos [34]

La distancia del radioenlace entre la “*Central Andinatel de Sangolquí*” y la Estación remota “*Club Los Chillos*”, es de 2.55Km , y la frecuencia de operación para las antenas microondas es de 7.5 GHz:



**Figura. 4.39.** Diagrama del enlace Central Andinatel – Club Los Chillos

De igual manera que el anterior, el perfil topográfico del terreno se generó para 2 factores de curvatura de la Tierra: para un factor de curvatura real ( $K = 1.33$ ) y un factor de curvatura severamente crítico ( $K = 0.02$ ):

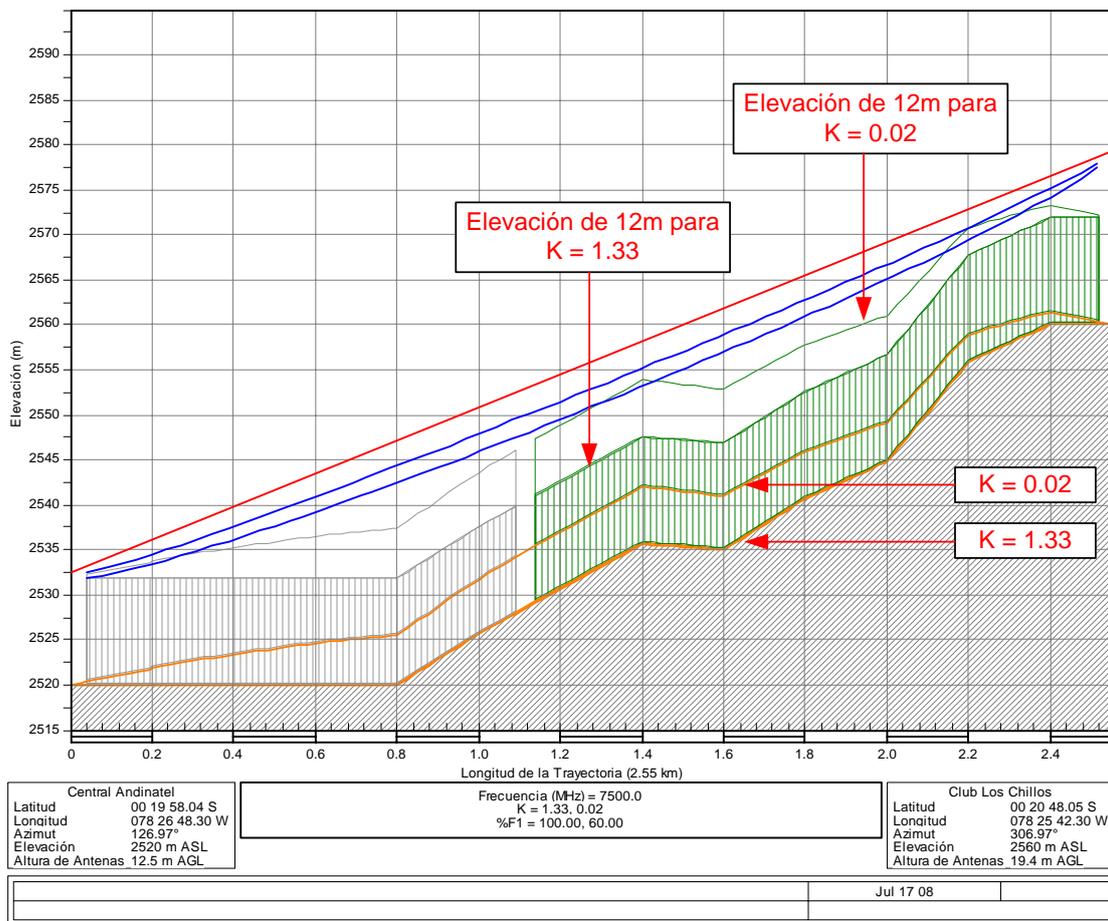


Figura. 4.40. Enlace Central Andinatel – Club Los Chillos [35]

**Cálculo de la 1era. y 2da. Zona de Fresnel:**

$$F_1 = 548 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}}$$

$$F_{1(i)} = 548 \sqrt{\frac{(2.39)(0.16)}{(7500)(2.55)}}$$

$$F_{1(i)} = 2.45m$$

$$0.6F_{1(i)} = 1.47m$$

$$F_2 = \sqrt{2}F_1$$

$$F_2 = 3.46m$$

### Cálculo de Potencia de Recepción

La Radio *IDU/ODU* y las antenas microondas respectivamente, poseen las siguientes características eléctricas:

$$P_t = 21dBm$$

$$G_t = G_r = 31.3dBi$$

$$P_r = P_t + G_t + G_r - A_{eL} - A_{ALM}$$

$$A_{eL} = 32.5 + 20\log f(MHz) + 20\log d(Km)$$

$$A_{eL} = 32.5 + 20\log(7500) + 20\log(2.55)$$

$$A_{eL} = 32.5 + 77.5 + 8.13$$

$$A_{eL} = 118.13dB$$

Las pérdidas de cableado e inserción ( $A_{ALM}$ ) en la guía de onda son aproximadamente 1 dB, la cual solamente tiene una longitud de 1 m desde la *ODU* hasta la antena microonda, por lo tanto:

$$P_r = 21 + 31.3 + 31.3 - 118.13 - 1$$

$$P_r = -35.53dBm$$

En ambos casos se puede apreciar que para el factor de curvatura severamente crítico  $K = 0.01$  y  $K = 0.02$  respectivamente, ya existe restricción de libertad en la *1era. Zona de Fresnel*, por lo que las simulaciones efectuadas han determinado las condiciones con respecto a las alturas mínimas que deben tener las antenas:

**Tabla. 4.17. Altura mínima de las antenas microondas**

<b>Altura mínima de las antenas</b>	
La Academia	13.5 m
Central Andinatel de Sangolquí	19.3 m
Club Los Chillos	19.4 m

Por esta razón se ha considerado factible ubicar a las antenas microondas a 22m, a las *BSs WiMAX* a 23m, y a las antenas sectoriales a 24m (ver [ANEXO 2](#)), ratificando las alturas que inicialmente estaban consideradas para monopolos y torres que se indicó en los subtítulos 4.10.1 y 4.10.2 respectivamente.

Para los 2 enlaces microondas considerados (Central Andinatel de Sangolquí – La Academia y Central Andinatel de Sangolquí – Club Los Chillos), se generaron reportes técnicos en donde se indican todos los parámetros relacionados a estos eventos, los mismos que se encuentran en el [ANEXO 3](#).

#### **4.11 ÁREAS DE COBERTURA**

Para la obtención de la cobertura preestablecida, se han considerado los parámetros calculados anteriormente, así como la determinación de los perfiles topográficos del terreno para todos los sectores donde se encuentran localizados los clientes a los que se quiere proporcionar el servicio.

Los diagramas obtenidos para cada una de las áreas de cobertura de las Radio Bases fueron generados en *SIRENET 3.0* y exportados a *GOOGLE EARTH*, que es el programa en el que se los representa:

#### 4.11.1 Estación “La Academia”

Provee cobertura con gran penetración y desempeño en sectores estratégicos como “El Triángulo”, “Club de Oficiales”, Urbanizaciones: “Virgen de Fátima”, “La Colina”, “Los Ángeles”, entre otros, y centros de gran concurrencia como el “San Luis Shopping”, “ESPE”, “River Mall”.

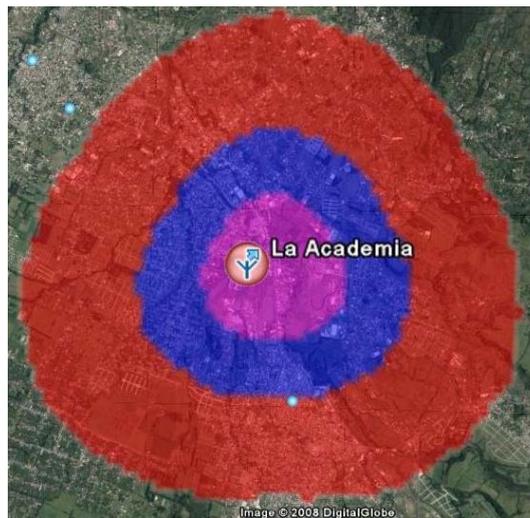


Figura. 4.41. Área de Cobertura “La Academia”

#### 4.11.2 Estación “Central Andinatel de Sangolquí”

Provee cobertura con gran penetración y desempeño en la parte céntrica de la localidad, en donde se encuentra la mayor concentración de la población además de varios entornos comerciales.

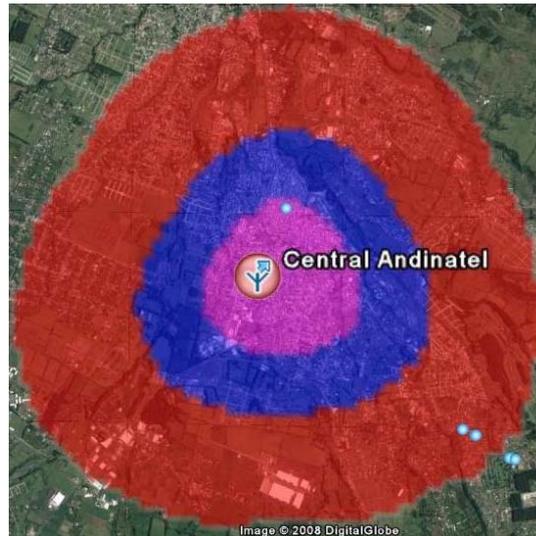


Figura. 4.42. Área de Cobertura “Central Andinatel de Sangolquí”

#### 4.11.3 Estación “Club Los Chillos”

Provee cobertura con gran penetración y desempeño en sectores como *Selva Alegre*, *Urbanización “Club Los Chillos”*, *“Alcanara”*, entre otros, además de varios focos industriales y empresariales circundantes al lugar.

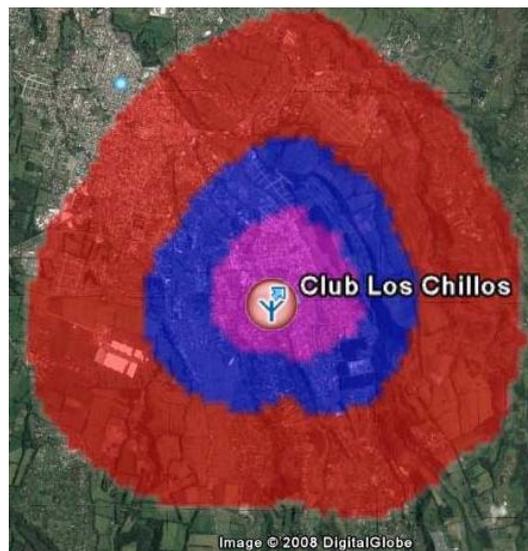


Figura. 4.43. Área de Cobertura “Club Los Chillos”

Cada uno de los colores obtenidos en los diagramas anteriores define los niveles de sensibilidad de recepción de las unidades de suscriptor (*PCMCIA*, *CPEs*), que contribuyen a las modulaciones y velocidades de transmisión para el desempeño de la tecnología *WiMAX Móvil*, en función de la distancia que existe desde las *BSs* hasta las estaciones móviles y de suscriptor.

**Tabla. 4.18. Rango de señal generada**

Sensibilidad de recepción (dBm)	d (Km)	Velocidad de transmisión	Color
-76.2	0.93	14.5Mbps	
De -76.2 a -86.2	1.72	9.5Mbps	
De -86.2 a -96.2	3.16	4.76Mbps	

Por lo obtenido en los cálculos teóricos inicialmente analizados en todo el título 4.7 y en la simulación de cobertura efectuada en el título 4.11, los mismos no difieren mucho ya que se logró un alcance de 3.2Km y 3.16Km desde la *BS* hasta el mínimo nivel de sensibilidad de las estaciones suscriptoras, respectivamente. Con esto se demuestra que la cobertura de una Radio Base está aproximadamente entre los 6 Km de diámetro, aseverando lo que indican los fabricantes de los equipos bajo el estándar *IEEE 802.16e*.

Se puede apreciar que los valores de sensibilidad de recepción obtenidos en la tabla. 4.18. son muy semejantes a los de la tabla. 4.3., lo que indica una relación de concordancia total para las velocidades de transmisión en función de la distancia desde la Radio Base *WiMAX Móvil* hasta el *CPE* o la estación móvil.

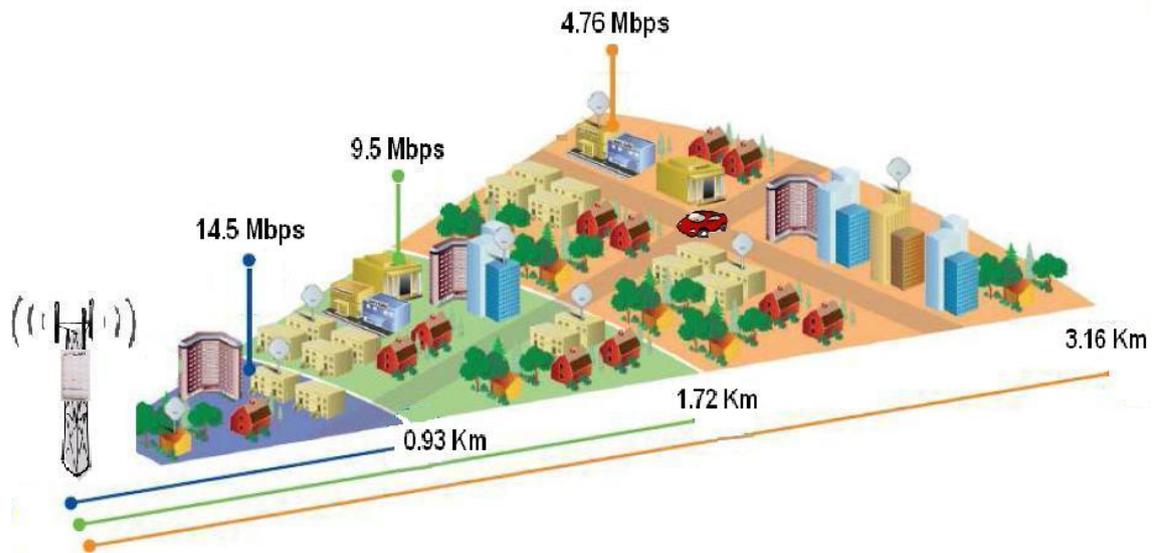


Figura. 4.44. Relación velocidad de transmisión – distancia desde la BS

En base a esto, y a cada uno de los diagramas anteriormente resueltos, al unificar las 3 Radio Bases consideradas para el despliegue total de la tecnología *WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí*, el área de cobertura total queda definida de la siguiente forma:

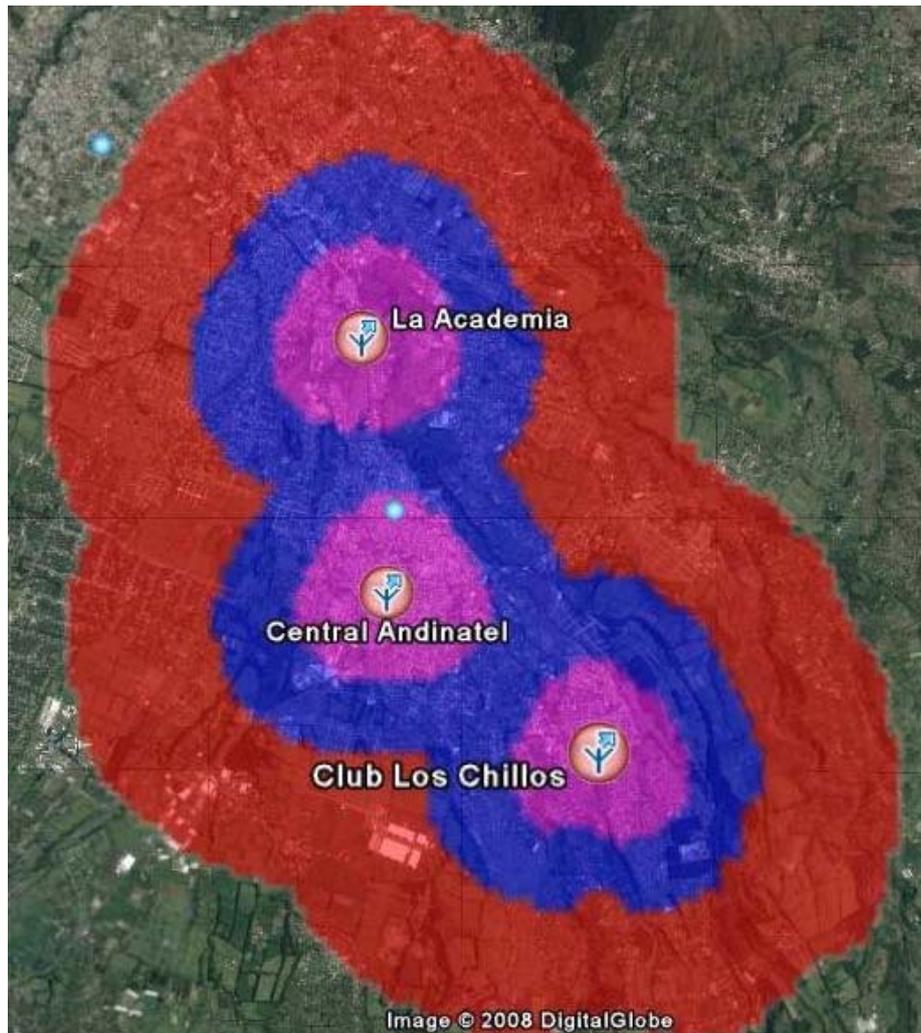
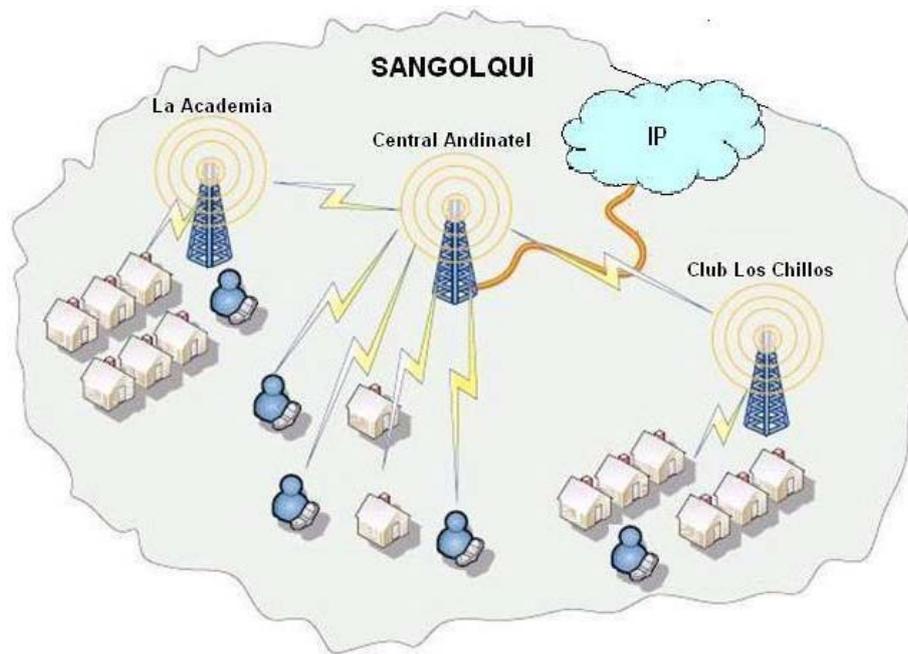


Figura. 4.45. Área de Cobertura en el sector de Sangolquí [32]

Con esto se concluye que el área de cobertura total es de  $63.63 \text{ Km}^2$  ( $10.10 \text{ Km}$  de largo y  $6.3 \text{ Km}$  de ancho), y cubre un poco más allá de los  $57 \text{ Km}^2$  de Sangolquí [27], con un amplio rango de penetración para brindar los servicios a los clientes potenciales de las zonas consideradas.

La red WiMAX Móvil para el sector de Sangolquí queda constituida de la siguiente manera:



**Figura. 4.46. Red WiMAX Móvil en el sector de Sangolquí**

De cada una de las figuras establecidas como ubicación de coordenadas geográficas, trazados de perfiles topográficos del terreno, áreas de cobertura, fueron generados reportes técnicos en los 2 programas simuladores utilizados (*SIRENET 3.0* y *ALCATEL PATH LOSS 4.0*), que están adjuntos en los ANEXOS que se indicaron anteriormente.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 5.1 INTRODUCCIÓN

El principio fundamental del análisis de costos es la Evaluación del Proyecto, es decir, medir su valor económico a través de ciertas técnicas e indicadores que permitan establecer un estudio comparativo de las inversiones y beneficios previstos, con los cuales se determina una alternativa viable para la toma de decisiones respecto a la ejecución o no de un proyecto.

Para llevar a efecto el análisis de costos, se utilizarán los indicadores de rentabilidad como el *VAN (Valor Actual Neto)* y el *TIR (Tasa Interna de Retorno)*, los cuales permitirán verificar si una *red WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí* es rentable de realizarse.

Por lo tanto, en el presente capítulo se considera los parámetros que permitan determinar si el proyecto es viable de realizar desde el punto de vista financiero, razón por la cual primeramente es necesario especificar todos los costos necesarios para el despliegue del proyecto (egresos), así como también todos los beneficios (ingresos) que se percibirán por su comercialización.

#### 5.2 COSTOS DE LA RED WIMAX MÓVIL

Para realizar el análisis de costos, primeramente es necesario describir todos los costos que están implicados en el proyecto de la *red WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí*, y han sido considerados los siguientes:

- Costos de los equipos para la *RAN WiMAX*.
- Costos de los equipos microondas.
- Costos de los equipos de usuario (*CPEs, PCMCIA*).
- Costo por *Software* y licencias.
- Costos de infraestructura por obra civil.
- Costos de transportación, instalación y operación.
- Costo por la concesión de título habilitante y por el uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
- Costo por el pago de arrendamiento de frecuencias a empresa concesionadora de la banda.
- Costos por pago de sueldos.
- Costos varios e imprevistos.
- Costos por venta de equipos de usuario.
- Costos por comercialización del servicio.

### **5.2.1 Costos de los equipos para RAN WiMAX**

Como se analizó en el diseño de la red, la *RAN WiMAX* está compuesta por varios equipos como son: Estaciones Base, Antenas Sectoriales, Switch *LAN* y *Servidor WAC*, *Servidor* para *OMC* y su respectivo Gestor:

**Tabla. 5.1. Costos referenciales de la infraestructura Alcatel 9100 Evolium® WiMAX**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario [\$]</b>	<b>Valor Total [\$]</b>
Estación Base <i>Alcatel Evolium® 9116 WiMAX</i>	3	50.000,00	150.000,00
Arreglo de 3 Antenas Sectoriales marca <i>QPCOM</i>	3	1.392,00	4.176,00
<i>Switch LAN Alcatel-Lucent 6800-24</i>	3	3.584,55	10.753,65
<i>Servidor Dell PowerEdge 1850</i>	1	3.855,00	3.855,00
<i>Servidor Netra 440</i>	1	3.000,00	3.000,00
<i>Gestor HP Workstation XW 4400</i>	1	2.391,00	2.391,00
<b>TOTAL</b>			<b>174.175,65</b>

El componente más costoso es la Estación Base ya que en este equipamiento están incluidos todos sus accesorios: Juego de cables (cables o guías de onda RF para la interconexión entre las *BSs* y las antenas sectoriales, cables para la interconexión entre las *BSs* y los *Switch LAN*), antenas de sincronización *GPS*, banco de baterías, fuentes de alimentación, *fan shelf*, *rack*, conectores y gabinetes de soporte.

Cabe señalar que en esta descripción de costos no se considerará dentro del presupuesto indicado a los equipos que conforman redes externas, debido a que como se indicó en el Capítulo 4 el acceso *WiMAX* o la *RAN WiMAX* está delimitado entre la Estación Base y el *Home Agent Router*, por lo tanto los equipos de la Red de Núcleo (como el *Servidor DHCP*, *Servidor DNS*, *Servidores AAA* y el mismo *Home Agent Router*), así como los de la Red Multiservicios (como *Softswitch*, *SBC*, granja de Servidores, entre otros) no son tomados en cuenta.

### 5.2.2 Costos de los equipos microondas

Se debe tomar en cuenta los costos para el *backbone* microondas que interconecta la red mediante la topología PMP: se utilizará 4 antenas microondas, en donde 2 de éstas estarán ubicadas en la *Central Andinatel de Sangolquí* y cada una se enlazarán hacia otra antena ubicada en cada una de las estaciones remotas; para hacer esto posible se necesita de 3 Radios *IDU/ODU* (con una unidad *ODU* adicional) y tomando en cuenta que las mismas se encuentran a casi 24 m de altura hay que establecer una longitud de cable Fi de 120m por todo el enlace, considerando que los equipos pueden estar a 5m de los pies de las torres y monopolos:

**Tabla. 5.2. Costos referenciales para los enlaces microondas**

Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
Antena microondas <i>Kathrein 813 024 / A0678DHP</i>	4	1.200,00	4.800,00
Cable Fi de 50 ohmios 1x500, 1x350	120 metros	5,00	600,00
Radio <i>Alcatel - Lucent 9400 AWY</i>	3	2.171,00	6.513,00
<b>TOTAL</b>			<b>11.913,00</b>

### 5.2.3 Costos de las unidades de suscriptor

Los equipos de usuario también forman una parte importante dentro este análisis, ya que su comercialización y demanda depende del número de usuarios que estarán integrados a la *red WiMAX Móvil*; debido a que en el *sector de Sangolquí* existen casi 690 clientes, se ha considerado inicialmente a las tarjetas *PCMCIA* y a los *CPEs Indoor - Outdoor* en una proporción de 2 a 1, es decir las 2/3 partes están destinadas a tarjetas *PCMCIA* y la parte restante es para los *CPEs Indoor - Outdoor*:

**Tabla. 5.3. Costos referenciales de las Unidades de Suscriptor ZYXEL**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario \$</b>	<b>Valor Total \$</b>
Tarjetas <i>PCMCIA MAX - 100</i>	460	170,00	78.200,00
<i>CPEs Indoor MAX - 200, CPEs Outdoor MAX - 300</i>	230	190,00	43.700,00
<b>TOTAL</b>			<b>121.900,00</b>

En los siguientes años existirá un incremento de clientes, razón por la cual se deberán adquirir más equipos de usuario. Teniendo en cuenta que la tasa de crecimiento poblacional en el sector es de 1,6% por año [36], se espera que de los 690 clientes iniciales, por cada año exista un crecimiento de casi 12 clientes para todos los tipos de tráfico; entonces por estos nuevos clientes y manteniendo la proporcionalidad de la tabla. 5.3., 8 nuevos clientes obtendrán tarjetas *PCMCIA MAX - 100*; y 4 clientes los *CPEs Indoor MAX - 200* y *CPEs Outdoor MAX - 300*; para lo que se requerirán de \$2.120,00.

#### **5.2.4 Costo por Software y licencias**

Para la gestión, administración y monitoreo de la *red WiMAX Móvil*, se requiere de la operatividad de un software especializado, así como de una licencia propietaria para las tarjetas *PCMCIA* y *CPEs*. El Software de gestión *NetSpan* para 2.000 *CPEs* tiene un costo de \$15.500,00 [37], es el que mejor se considera en base a la planificación concebida, además está dentro del contrato las respectivas actualizaciones del *Software*, por lo que no es necesario hacer gastos adicionales:

Tabla. 5.4. Costo referencial de la licencia del software de gestión

Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
<i>NetSpan</i>	1	15.500,00	15.500,00

### 5.2.5 Costos de infraestructura por obra civil

Inicialmente se tenía previsto utilizar torres de transmisión existentes con el fin de evitar gastos por instalación de infraestructura adicional, pero al no existir una torre con equipos de transmisión en el sector de *Selva Alegre*, es necesaria la ubicación de un monopolo de 24 m y una caseta para el *Rack* de equipos; además en la *Central de Andinatel de Sangolquí*, también se debe fijar el montaje de un monopolo de 6 m, con sus respectivas escalerillas para el tendido del cable híbrido desde los pies de la torre y monopolos hasta los equipos operantes:

Tabla. 5.5. Costos de infraestructura por obra civil

Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
Monopolo de 24 m con riostras y escalerilla	1	8.000,00	8.000,00
Monopolo de 6 m con riostras y escalerilla	1	2.000,00	2.000,00
Caseta para <i>Rack</i> de equipos	1	1.500,00	1.500,00
<b>TOTAL</b>			<b>11.500,00</b>

### 5.2.6 Costos de transportación, instalación y operación

También se deben considerar costos por transportación del equipamiento, infraestructura y del personal técnico hacia los lugares de ubicación de las Radio Bases, instalación de equipamientos e infraestructuras, así como su operación y mantenimiento:

**Tabla. 5.6. Costos de transportación, instalación y operación**

<b>Descripción</b>	<b>Valor [\$]</b>
Transportación	1.040,00
Instalación	6.000,00
Operación	3.200,00
<b>TOTAL</b>	<b>10.240,00</b>

### **5.2.7 Costo por la concesión de título habilitante y por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico**

Se debe considerar los costos que conlleva los pagos al *SENATEL* correspondientes a la concesión del título habilitante y tarifas por el uso de frecuencias de acuerdo al número de estaciones implicadas en los enlaces con Modulación Digital de Banda Ancha, así como el arriendo de frecuencias a empresas concesionadora de la banda.

El presente proyecto operará en la banda de 3.5 GHz, por lo que se calculará la tarifa por el uso de frecuencias de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico. Se debe calcular la tarifa mensual por el uso de frecuencias para enlaces punto-multipunto, además de calcular la tarifa por la concesión del uso de frecuencias para el sistema. [38]

El *CONATEL*<sup>1</sup> en su revisión 4.5.1 realizada al reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico en el 2003,

<sup>1</sup> CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones

expidió varios artículos de importancia, que permiten determinar el cálculo para la tarifa mensual por uso de frecuencias para los enlaces Punto - Multipunto que hacen uso de multiacceso, siendo éstos los siguientes:

- ▶ **Artículo 11: Tarifa A.-** Para el cálculo de la tarifa por uso de frecuencias por cada Estación Base del Servicio multiacceso, se utilizará la siguiente ecuación:

$$T (\$) = K_a * \alpha_4 * \beta_4 * A * D^2$$

En donde:

$T (\$)$  = Tarifa mensual en dólares de los *Estados Unidos de América*.

$K_a$  = Factor de ajuste por inflación. Tiene un valor de 1.

$\alpha_4$  = Coeficiente de valoración del Espectro para el Servicio Fijo y Móvil (Multiacceso). Para la frecuencia de 2690 MHz – 10 GHz para el Servicio Punto - Multipunto el valor de  $\alpha_4$  es igual a 0,018568711.

$\beta_4$  = Coeficiente de corrección para la tarifa por Estación Base. Tiene un valor de 1.

$A$  = Anchura de banda del bloque de frecuencias en MHz.

$D$  = Radio de cobertura de la Estación Base, en Km. [39]

Como ya se mencionó en el capítulo 4 una de las ventajas que tiene el equipamiento *Alcatel 9100 Evolium® WiMAX* es la diversidad de tamaños de canal que se puede escoger. Con este antecedente y de acuerdo a la estimación de tráfico, se destinará un ancho de banda de 5 MHz por Estación Base por lo que se asignan 15 MHz por cada Radio Base; además su radio de cobertura es de 3 Km:

$$T (\$) = 1 * 0,018568711 * 1 * 15 * 3^2$$

$$T (\$) = 2,51 \text{ dólares}$$

Cabe señalar que este valor es sólo por una Radio Base, dado que existen 3 Radio Bases en el *sector de Sangolquí*, el valor total es  $T (\$) = 7,53$  dólares.

- **Artículo 13: Tarifa C.-** El cálculo de la tarifa mensual por Estaciones Radioeléctricas de Abonado activadas en el Servicio Multiacceso, se realizará aplicando la siguiente ecuación:

$$T_{\text{US\$}} = K_a * \alpha_s * F_d$$

En donde:

$T_{\text{US\$}}$  = Tarifa mensual en dólares de los *Estados Unidos de América* por Estaciones de Abonado fijas y móviles activadas en el sistema.

$K_a$  = Factor de ajuste por inflación. Tiene un valor de 1.

$\alpha_s$  = Coeficiente de valoración del espectro por Estaciones de Abonado fijas y móviles para el Servicio Fijo y Móvil (Multiacceso). Para la frecuencia de 2690 MHz – 10 GHz para servicio Fijo y Móvil (Punto - Multipunto) el valor de  $\alpha_s$  es igual a 1. [40]

$F_d$  = Factor de capacidad (de acuerdo al Servicio Fijo y Móvil (Multiacceso)).

Para un número de hasta 25000 estaciones de abonado móviles  $F_d$  tiene un valor de 3939. [41]

$$T_{\text{US\$}} = 1 * 1 * 3939$$

$$T_{\text{US\$}} = 3.939,00 \text{ dólares}$$

El costo mensual total por el pago de las tarifas en el uso de las frecuencias del Espectro Radioeléctrico es el siguiente:

**Tabla. 5.7. Costo mensual por el uso de frecuencia con el equipamiento Alcatel 9100 Evolium®  
WiMAX**

Descripción	Costo Mensual [\$]
Pago en el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico por las 3 Radio Bases	7,53
Pago en el uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico por las Estaciones de Abonado	3.939,00
<b>Pago a SENATEL por tarifas en el uso de frecuencias</b>	<b>3.946,53</b>

Para obtener el valor por el Pago anual a *SENATEL* por tarifas en el uso de frecuencias, al valor mensual se lo debe multiplicar por 12 meses, y se obtiene un total de \$ 47.358,36.

Para la inversión inicial del proyecto, el Pago a *SENATEL* por tarifas en el uso de frecuencias todavía permanecerá en \$0,00 ya que se considera que la comercialización del servicio aún no está vigente.

- ▶ **Artículo 30:** Los Derechos de Concesión serán determinados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$D_C = T_{US\$} * T_C * F_{cf}$$

En donde:

$D_C$  = Derecho de concesión.

$T_{US\$}$  = 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.

$T_C$  = Tiempo de concesión en meses. Se considera un tiempo de 5 años, es decir 60 meses.

$F_{cf}$  = Factor de concesión de frecuencias, para la frecuencias de 1 a 5 GHz es de 0,0330652. [42]

$$D_C = 3.946,53 * 60 * 0,0330652$$

$$D_C = 7.829,57 \text{ dólares}$$

El derecho de concesión de frecuencia ( $D_C$ ) es un rubro que se paga una sola vez al inicio del período de concesión.

De la misma manera, se debe considerar el pago por el arrendamiento de frecuencias a alguna de las empresas concesionadoras de la banda, el cual tiene un valor estimado referencial de \$40.000,00 anuales, que deberán ser tomados en cuenta en la inversión inicial del proyecto.

### 5.2.8 Costos por pago de sueldos

Para el despliegue de la tecnología *WiMAX Móvil*, existen diferentes departamentos que contribuyen a su desempeño, por lo tanto es necesario establecer un capital para el pago de sueldos a los empleados del personal técnico, administrativo, publicitario, de mercadeo, entre otros, que contribuyen al rendimiento de la tecnología prevista. Para este rubro se considerará el 15 % del subtotal de la inversión inicial del proyecto y será dividida por 12 meses para establecer la cantidad monetaria destinada al pago de sueldos del primer mes. De la misma forma, para el análisis anual la inversión inicial se multiplicará por 12 meses y se mantendrán valores fijos por cada año.

### 5.2.9 Costos varios e imprevistos

En este proyecto se debe tomar en cuenta costos extras que se pudiesen presentar, ya sea tangibles o intangibles (incluye seguros de los equipos). Para este rubro se asignará el 10 % del subtotal de la inversión inicial del proyecto.

### 5.2.10 Costo total inicial para la implementación del proyecto

En este punto se considerarán todos los costos que intervienen en la implementación inicial de la *red WiMAX Móvil*, objeto del presente proyecto. Se consideran los costos anteriormente establecidos:

**Tabla. 5.8. Costos referenciales para la implementación del proyecto**

Descripción	Valor \$
Costos de los equipos para <i>RAN WiMAX</i>	174.175,65
Costos de los equipos microondas	11.913,00
Costos de los equipos de suscriptor	121.900,00
Costo por <i>Software</i> y licencias	15.500,00
Costos de infraestructura por obra civil	11.500,00
Costos de transportación, instalación y operación	10.240,00
Costo estimativo de arriendo de frecuencia a empresa concesionadora de la banda	40.000,00
Solicitud de concesión de título habilitante	7.829,57
<b>SUBTOTAL DE LA INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>393.058,22</b>
Costos mensuales por pago de sueldos (15% de la inversión inicial dividida para 12 meses)	4.913,23
Costos varios e imprevistos (10 % de la inversión inicial)	39.305,82
<b>TOTAL DE LA INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>437.277,27</b>

### 5.2.11 Costos por venta de equipos de usuario

Los costos por venta de equipos de usuario que permitirán al usuario acceder a la *red WiMAX Móvil*, se incrementarán en \$10 cada uno para su definitiva comercialización:

**Tabla. 5.9.** Costos referenciales para venta de las Unidades de Suscriptor ZYXEL

Descripción	Cantidad	Valor Unitario [\$]	Valor Total [\$]
Tarjetas <i>PCMCIA MAX - 100</i>	460	180	82.800,00
<i>CPEs Indoor MAX - 200, CPEs Outdoor MAX - 300</i>	230	200	46.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>128.800,00</b>

Por cada uno de los siguientes años, 8 nuevos clientes obtendrán tarjetas *PCMCIA MAX – 100*, 4 clientes los *CPEs Indoor MAX – 200* y *CPEs Outdoor MAX – 300*, por lo que se percibirán \$2.240,00.

### 5.2.12 Costos por comercialización de servicio

Se requiere de un plan de negocio para la comercialización de los servicios de voz, video y datos, con el fin de determinar los precios más convenientes tanto para los usuarios como para el propietario de la tecnología inalámbrica de Banda Ancha.

Para tener una idea de la cuota mensual, se tomará la tabla. 4.7. del Capítulo 4, la cual está basada en el servicio de Banda Ancha *ADSL* que actualmente provee *ANDINATEL S.A.* y se la complementará con su costo de acuerdo a la velocidad contratada [28]:

**Tabla. 5.10. Costos estimados por comercialización de servicio**

<b>Número de clientes</b>	<b>Velocidad (Kbps)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor Unitario [\$]</b>	<b>Valor Total [\$]</b>
311	128	Popular	24,90	7.743,90
276	256	Residencial	39,90	11.012,40
69	512	Comercial	65,00	4.485,00
35	1024	Corporativo Elite	79,90	2.796,50
<b>TOTAL MENSUAL</b>				<b>26.037,80</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>				<b>312.453,60</b>

Debido a que el incremento anual será de 12 nuevos clientes, la facturación por la comercialización del servicio para los siguientes 5 años quedaría establecida de la siguiente manera:

**Tabla. 5.11. Costos estimados por comercialización de servicio para los próximos 5 años**

<b>1er. Año</b> [\$]	<b>2do. Año</b> [\$]	<b>3er. Año</b> [\$]	<b>4to. Año</b> [\$]	<b>5to. Año</b> [\$]
312.453,60	317.887,58	323.321,55	328.755,53	334.189,50

### 5.3 FLUJO DE CAJA

Generalmente se lo calcula en base a datos anuales, y se lo hace diferenciando los ingresos y egresos ubicándolos de la manera más precisa dentro de los periodos proyectados.

La información básica para la construcción de un flujo de caja también toma en cuenta las depreciaciones y amortizaciones que tienen todos los costos que incurren en el proyecto por cada año del mismo.

Los activos fijos tangibles están expuestos a depreciación conforme transcurre el tiempo, en tanto que los activos fijos intangibles no sufren depreciación debido a que es un desembolso de efectivo por el que no se recibe ningún bien físico, por lo tanto se lo amortiza durante el tiempo que dura la proyección.

En la tabla. 5.12. se muestra la depreciación de los equipos (*RAN WiMAX*, microondas, equipos de usuario) y de obra civil; las amortizaciones de *Software* y licencias, transportación, instalación y operación, e imprevistos, así como los gastos por pago de sueldos, pago a *SENATEL*, gastos estimativos de arriendo de frecuencias a empresa concesionadora de banda, y gastos por futuros equipos de usuario.

El proyecto está pactado para 5 años por lo que en cada año cada uno de los puntos acotados anteriormente tendrá un equivalente del 20% del valor inicial:

**Tabla. 5.12. Flujo de Caja del Proyecto WiMAX Móvil**

<b>INGRESOS</b>	Año 0 [\$]	1er. Año [\$]	2do. Año [\$]	3er. Año [\$]	4to. Año [\$]	5to. Año [\$]
Costos por ventas de equipos de usuario	0	128.800,00	2.240,00	2.240,00	2.240,00	2.240,00
Costos por comercialización de servicio	0	312.453,60	317.887,58	323.321,55	328.755,53	334.189,50
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>0</b>	<b>441.253,60</b>	<b>320.127,58</b>	<b>325.561,55</b>	<b>330.995,53</b>	<b>336.429,50</b>
<b>EGRESOS</b>						
Depreciación de los equipos (20%)		61.597,73	61.597,73	61.597,73	61.597,73	61.597,73
Depreciación de obras civiles (20%)		2.300,00	2.300,00	2.300,00	2.300,00	2.300,00
Amortización <i>Software</i> (20%)		3.100,00	3.100,00	3.100,00	3.100,00	3.100,00
Amortización de transporte (20%)		2.048,00	2.048,00	2.048,00	2.048,00	2.048,00
Amortización de imprevistos (20%)		7.861,16	7.861,16	7.861,16	7.861,16	7.861,16
Gasto referido pago de sueldos		58.958,76	58.958,76	58.958,76	58.958,76	58.958,76
Gasto por pago a <i>SENATEL</i>		47.448,48	47.448,48	47.448,48	47.448,48	47.448,48
Gasto estimativo de arriendo de frecuencias a empresa concesionadora de banda		40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00
Gasto de futuros equipos de clientes		2.120,00	2.120,00	2.120,00	2.120,00	2.120,00
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>225.344,01</b>	<b>225.344,01</b>	<b>225.344,01</b>	<b>225.344,01</b>	<b>225.344,01</b>
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>215.909,59</b>	<b>94.783,57</b>	<b>100.217,54</b>	<b>105.651,52</b>	<b>111.085,49</b>

El siguiente gráfico resume el Flujo de Caja para este proyecto:

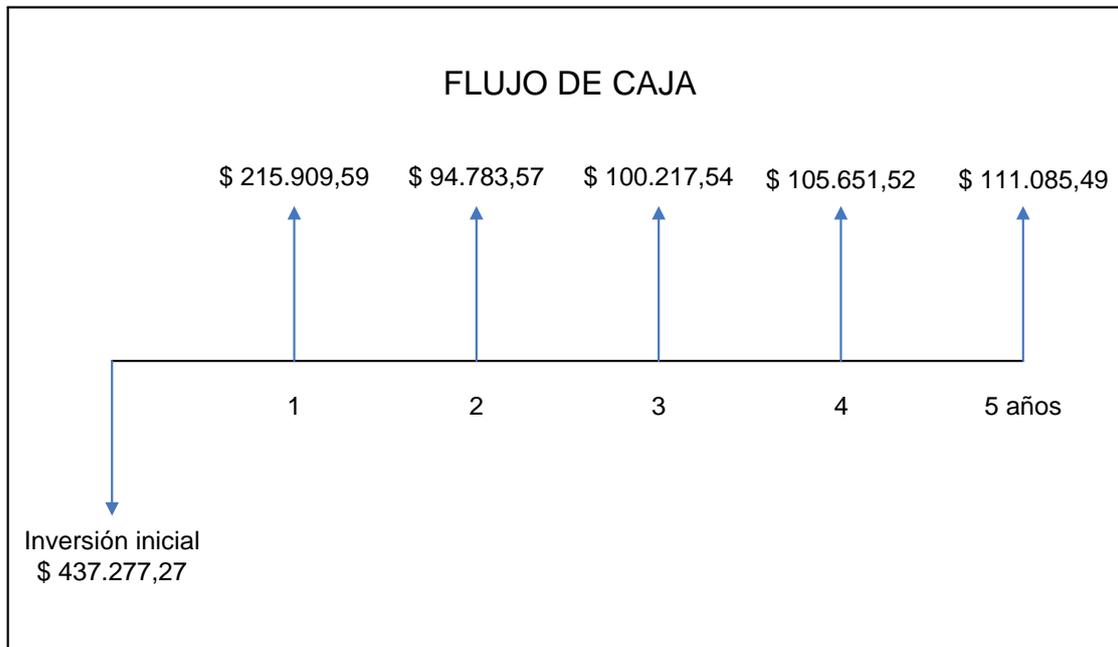


Figura. 5.1. Flujo de Caja

## 5.4 INDICADORES DE RENTABILIDAD

Son aquellos indicadores financieros que sirven para medir la efectividad de un proyecto. Para llevar a cabo la evaluación económica del presente proyecto se utilizarán los indicadores de rentabilidad para una inversión:

- *VAN.*
- *TIR.*

### 5.4.1 VAN

Se entiende por *VAN* a la diferencia entre el valor actual de los ingresos esperados de una inversión y el valor actual de los egresos que la misma ocasiona. Es la rentabilidad mínima pretendida por el inversor, por debajo de la cual estará dispuesto a efectuar su inversión, es decir mide la rentabilidad en términos monetarios.

El *VAN* es calculado a partir del Flujo de Caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente, lo que se conoce como valor presente de flujos. Es importante mencionar que la tasa de interés que se utilizará es de 9,83% [43], y corresponde a la tasa de interés activa máxima proporcionada por los indicadores financieros vigentes del *Banco Central del Ecuador* referida hasta el 31 de julio del 2008.

La fórmula que permite calcular el *VAN* es:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1+i)^n} - I_o$$

En donde:

$I_n$  = Ingresos

$E_n$  = Egresos; se toma como negativo ya que representa desembolsos de dinero.

$N$  = Es el número de períodos considerados, por lo que  $I_n - E_n$  indica los flujos de caja estimados de cada período o conocido también como flujo de fondos netos.

$i$  = Tasa de interés.

$I_o$  = Inversión inicial

Tabla. 5.13. Valor Actual Neto del Proyecto WiMAX Móvil

Valor Actual Neto del Proyecto WiMAX Móvil						
Descripción	Año 0 [\$]	1er. Año [\$]	2do. Año [\$]	3er. Año [\$]	4to. Año [\$]	5to. Año [\$]
Flujo de Caja	(437.277,27)	215.909,59	94.783,57	100.217,54	105.651,52	111.085,49
Valor presente de los flujos	492.926,62	196.585,26	78.576,21	75.645,10	72.609,23	69.510,82
<b>VAN</b>	<b>\$ 55.649,35</b>					

El VAN obtenido manifiesta que el proyecto está en condiciones de devolver el capital invertido, de pagar una tasa del 9,83% de interés anual y de generar un valor monetario por un monto de \$ 55.649,35, razón suficiente para indicar que el proyecto es viable desde el punto de vista económico.

#### 5.4.2 TIR

Es la tasa que iguala a la suma de los ingresos actualizados, con la suma de los egresos actualizados (igualando al egreso inicial). Está definida como la tasa de interés con la cual el VAN del proyecto es igual a cero.

Ayuda a medir en términos relativos la rentabilidad de una inversión, es decir, esta tasa es un criterio de rentabilidad y no de ingreso monetario neto como lo es el VAN, y logra medir la rentabilidad en términos porcentuales.

$$0 = \sum_{t=1}^5 \frac{I_t - E_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

En donde:

$I_n$  = Ingresos

$E_n$  = Egresos; se toma como negativo ya que representa los desembolsos de dinero

$t$  = Vida del proyecto igual a 5 años.

$I_o$  = Inversión inicial

**Tabla. 5.14. Tasa Interna de Retorno del Proyecto WiMAX Móvil**

<b>Tasa Interna de Retorno del Proyecto WiMAX Móvil</b>						
<b>Descripción</b>	<b>Año 0</b> [\$]	<b>1er. Año</b> [\$]	<b>2do. Año</b> [\$]	<b>3er. Año</b> [\$]	<b>4to. Año</b> [\$]	<b>5to. Año</b> [\$]
Flujo de Caja	(437.277,27)	215.909,59	94.783,57	100.217,54	105.651,52	111.085,49
<b>TIR</b>	<b>15%</b>					

El *TIR* al ser en este caso mayor en comparación con la tasa de interés, se puede afirmar que el proyecto tiene una rentabilidad estimable dentro del contexto económico actual.

### 5.4.3 Relación Costo/Beneficio

La relación costo/beneficio muestra la rentabilidad en términos relativos y la interpretación del resultado se expresa en centavos o dólares ganados por cada dólar invertido en el proyecto, y por ende este valor tiene que ser mayor que uno para determinar que un proyecto es económicamente factible.

Esta relación se calcula al dividir la sumatoria de los valores presentes de los flujos a partir del 1er. Año y el valor de la inversión al año cero (inversión total inicial).

**Tabla. 5.15. Relación Costo/Beneficio del Proyecto WiMAX Móvil**

<b>Relación Costo/Beneficio</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor [\$]</b>
Valor presente de los flujos	492.926,62
Inversión inicial	437.277,27
<b>Relación Costo/Beneficio</b>	<b>1,13</b>

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

#### 5.4.4 Período de recuperación de la inversión

Se define como el tiempo durante el cual el capital es recuperado a partir del Flujo de Caja, es decir en cuanto tiempo una inversión genera los recursos suficientes para indicar la rentabilidad proporcionada por el monto de dicha inversión.

**Tabla. 5.16. Recuperación de la inversión**

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Inversión menos flujo de caja</b>
0			(437.277,27)
1	215.909,59	215.909,59	(221.367,68)
2	94.783,57	310.693,16	(126.584,11)
3	100.217,54	410.910,70	(26.266,57)
4	105.651,52	516.562,22	79.384,95
5	111.085,49	627.647,71	190.470,44

Según este indicador, la recuperación de la inversión inicial neta se logra en el 4to año, es decir, cuando el acumulado de los flujos netos de efectivo igualan al monto de la inversión inicial neta.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien es cierto que las *redes WiMAX Móvil* son propicias para transmisión de voz, video y datos, y supone múltiples ventajas como la optimización en el ancho de banda por canal, adaptabilidad de diversos tipos de redes, escalabilidad de usuarios, infraestructura reducida y tiempo mínimo de instalación, entre otros, sin embargo en la operación es necesario tener en cuenta ciertos aspectos como latencia, pérdida de paquetes, seguridad y calidad en la comunicación, fisuras en la conectividad para los procesos de *handover*, entre otros.

Para llevar a cabo el diseño de la *red WiMAX Móvil* se tomó como referente al equipamiento *Alcatel 9100 Evolium® WiMAX* o denominado también *A 9100 RAN WiMAX*, el cual está compuesto por 3 Estaciones Base que conjuntamente con *AAS* permiten brindar cobertura en el sitio de implantación (por Radio Base), antenas *GPS* que manejan el nivel de tráfico asimétrico para *DL/UL*; *WAC* que realiza el control de usuarios y transporte de datos a las estaciones suscriptoras además de intervenir en los procesos de *handover*; *OMC* que permite gestionar y administrar toda la infraestructura de red mediante *SNMP* y *LMT*.

Sangolquí tiene una población de alrededor de 68.860 habitantes, considerando 5 personas por hogar se determinó que existen cerca de 13.772 familias de las cuales se asume que inicialmente el 5% podrían adquirir los servicios de la *red WiMAX Móvil*, es decir aproximadamente 690 clientes. De la misma forma, para la segmentación de tráfico se tomó como valores referenciales al servicio de Banda Ancha *ADSL* que actualmente provee *ANDINATEL S.A.* con sus respectivas tarifas planas, ya que las mismas podrían ser las que mejor se adapten a la realidad de nuestro medio.

Para realizar el diseño de las celdas de la *red WiMAX Móvil*, fue indispensable realizar visitas de campo a varias estaciones de transmisión existentes en el sector de Sangolquí, con el objetivo de verificar la mejor ubicación para las Radio Bases planificadas, evitando en todo momento que entre las mismas existiera brechas y solapamientos que afecten el desempeño de la red propuesta. Con base en esto y mediante simulaciones efectuadas en un *Software* especializado se concluyó la necesidad de utilizar 3 celdas que logran cubrir todo el *sector de Sangolquí*, y las mismas se ubicarían en las localidades de “*La Academia*”, “*Central Andinatel de Sangolquí*” y “*Club Los Chillos*”.

La *red WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí* tiene un despliegue de cobertura aproximado de  $63.63\text{Km}^2$  con un amplio rango de penetración en urbanizaciones como “*Club Los Chillos*”, “*La Colina*”, “*Los Ángeles*”, “*Virgen de Fátima*”, “*Club de Oficiales*”, entre otras, así como 2 Centros Comerciales de gran concurrencia como el “*San Luis Shopping*” y el “*River Mall*”, además del establecimiento de la *Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE)* que posee un Campus Politécnico de gran extensión, todas éstas con gran número de posibles clientes potenciales, debido a que en estos lugares a más de la creciente expansión residencial que se evidencia, se concentran importantes movimientos comerciales, empresariales, educativos e industriales.

Para el *backbone* de red se utilizó enlaces microondas con topología *PMP*, la misma que permitió interconectar los 3 segmentos considerados para la *red WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí*; previamente se verificó *LOS* y libertad en la *1era. Zona de Fresnel* desde el nodo principal ubicado en la “*Central Andinatel de Sangolquí*” hacia las 2 estaciones remotas de “*La Academia*” y “*Club Los Chillos*” respectivamente.

Al llevar a cabo el análisis de costos, se pudo observar claramente la rentabilidad que supone el presente proyecto; en donde el *VAN* es de \$ 55.649,35, el *TIR* es del 15% siendo mayor que la tasa de interés utilizada en el proyecto; la relación costo/beneficio es 1,13, lo que significa que es mayor a la unidad indicando que existen ingresos por cada dólar invertido y la recuperación de la inversión inicial se indica que se logrará en el 4to año desde que entre en vigencia la operatividad de la red; todo esto demuestra la viabilidad de desplegar una *red WiMAX Móvil* en el *sector de Sangolquí*.

Afirmar que *WiMAX Móvil* viene a desplazar o eliminar a las soluciones como *Wi – Fi* y *3G* sería injusto e impreciso, ya que su objetivo definitivo es brindar soporte y complementariedad a múltiples soluciones cableadas e inalámbricas, basada en la interoperabilidad y coexistencia de tecnologías. Si bien los estudios e investigaciones llevadas a cabo por quienes se encuentran aliados a estas tecnologías muestran una ventaja a favor de *WiMAX Móvil* en cuanto a su desempeño, es necesario llevar a la práctica estudios reales de la tecnología para verificar los resultados que se puedan generar; además, una de las principales desventajas de *WiMAX Móvil* frente a *Wi – Fi* es que este es el estándar comúnmente utilizado por la mayoría de usuarios de redes inalámbricas, dada su simplicidad económica y desempeño técnico moderado para proveer acceso a *Internet*; de la misma manera, frente a sistemas *3G* como *UMTS* y *CDMA2000*, es que éstas son tecnologías ya establecidas que se encuentran actualmente posicionadas, cuentan con millones de usuarios a nivel mundial, una gran cantidad de equipos para su operación, continúan evolucionando, y muchas compañías siguen impulsándolas. Estas son razones suficientes por lo cual *WiMAX Móvil* deberá demostrar ser una tecnología muy competitiva, de mejores prestaciones, para que pueda desarrollarse en un mercado mundial de comunicaciones que cada vez se muestra más exigente. En el ámbito económico, uno de los principales problemas con los que cuenta *WiMAX Móvil* radica en los precios de los equipos como las estaciones base con todos sus accesorios y componentes, ya que el costo de éstos dependerá del número de unidades y del mercado que pretende cubrir (debido a que el costo no será el mismo para el despliegue en una ciudad pequeña al que podría suponerse en una ciudad grande); de la misma manera, los equipos de usuario como las tarjetas *PCMCIA* y los *CPEs* aún tienen costos elevados para su adquisición, lo que en algunos casos los vuelve poco atractivos. De esta forma se puede concluir que lo que mejor perdura desde el punto de vista tecnológico, no es lo que siempre triunfa y perdura en el mercado. En base a esto habrá que ver en que desembocan los conceptos y situaciones previstas ya que para muchos *WiMAX Móvil* es aún una tecnología de carácter sombrío y desconocido, para otros se presenta como una solución lujosa y hasta cierto punto innecesaria e inalcanzable, pero por lo pronto se espera que *WiMAX Móvil* alcance mayor auge y masificación en el transcurso del próximo año, y trate de convencer a sus detractores de que puede llegar a ser la tecnología predominante debido a la preponderancia cada vez mayor que tiene el acceso a *Internet* y telefonía móvil celular.

Para el estudio de algún equipamiento basado en el estándar *IEEE 802.16e*, se recomienda contactar a los fabricantes de estas infraestructuras, ya que es bastante difícil conseguir información concreta y específica en *Internet* acerca de sus características y precios reales. Asimismo para adquirir el equipamiento basado en el *IEEE 802.16e* deben realizarse pruebas de campo que confirmen sus alcances y capacidades reales, pues las especificaciones que los fabricantes ponen a disposición del cliente están basadas en condiciones ideales y no se toma totalmente en cuenta ciertos factores, por lo que en la mayoría de casos el desempeño de un equipo puede llegar a ser muy inferior al ofertado.

Es necesario visitar los sitios propuestos en donde se prevee el diseño de la red para la toma de datos relevantes como coordenadas geográficas, alturas sobre el nivel del mar, y compararlas con programas o *Software* especializado que permita verificar la veracidad entre ambos procedimientos, ya que es muy probable que existan ciertas diferencias pero las mismas no deben ser muy distantes. También en la medida de lo posible se debe verificar en que condiciones se encuentran cada uno de los sitios de transmisión existentes y documentarlos en *Site Survey* y *Check List* con el fin de notificar si la misma permite llevar a cabo instalaciones, futuras ampliaciones, e intervenciones para la implantación tanto de equipos como de infraestructuras posteriores.

Para comunicaciones inalámbricas de Banda Ancha se debe estudiar un modelo de propagación propicio de acuerdo a las características propias de la tecnología y de la localidad, ya que esto confirmará el alcance permisivo de cobertura que puede tener una celda y en base a esto determinar cuantas de las mismas serán necesarias en todo el sector.

Es necesario tener Radio Bases con coberturas bien definidas, es decir, evitar brechas entre celdas que determinarían vacíos e interrupciones en la conexión a la red; o a la vez solapamiento excesiva entre las mismas, que disminuirían el alcance de la tecnología y no permitiría su desempeño total; todo esto a fin de brindar servicios confiables, evitar molestias a los clientes, y con el mayor rango de penetración posible. Con base en lo anterior, cuando se utilizan enlaces microondas para el *backbone* de la red, se debe tomar en cuenta que la distancia entre las Radio Bases implicadas no sea mayor que el radio de cobertura que soporta una celda WiMAX Móvil, ya que de ser mayor la distancia, sólo se estará cubriendo una localidad y se generarán vacíos entre celdas afectando los procesos de *handover*.

Se debe tener muy en cuenta el número de habitantes que posee una localidad para poder realizar una estimación de posibles clientes que pueden adquirir el servicio de una tecnología inalámbrica de Banda Ancha, con el fin de establecer parámetros legibles al momento de realizar su correspondiente análisis de costos.

Para este tipo de proyectos, es imprescindible evaluar su carácter económico a través de los indicadores de rentabilidad como el *VAN* y el *TIR*, con los cuales se determina la alternativa viable u óptima de inversión, previa a la toma de decisiones respecto a la ejecución o no ejecución de un proyecto. Por esta razón y debido a los altos costos que aún experimentan las unidades de suscriptor, se deben encontrar nichos de mercado con sectores potencialmente solventes que estén dispuestos a cancelar tarifas planas como las que ofrecen *ADSL* o *Cable Módem*, o por consumo y planes controlados similares a los de *3G*.

Es importante saber que en el *Ecuador* se regula servicios no redes ni tecnologías, y para propósitos de futuras implementaciones de *redes WiMAX Móvil*, es recomendable que los entes reguladores definan claramente todos los aspectos que conlleva el despliegue de un sistema de estas características.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **REPORTE TÉCNICO DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y PARÁMETROS DE TX/RX DE LAS RADIO BASES**

Tabla. A1.1 Características y Parámetros de las Radio Bases en el sector de Sangolquí

<b>Características Y Parámetros</b>	<b>La Academia</b>	<b>Central Andinatel de Sangolquí</b>	<b>Club Los Chillos</b>
<i>Longitud</i>	78 27 04.000W	78 26 56.000W	78 25 50.000W
<i>Latitud</i>	0 18 50.000S	0 20 10.000S	0 21S
<i>Cota</i>	2498 m	2525 m	2558 m
<i>Servicio</i>	WiMAX		
<i>Polarización</i>	Vertical		
<i>Antena</i>	3_Sect360_17dBi		
<i>Altura de Antena</i>	24 m		
<i>Ganancia</i>	17dBi		
<i>Diagrama copolar</i>	Sect3(360)_12dBi		
<i>Diagrama contrapolar</i>	x-isotropía		
<i>Frecuencia</i>	3500 MHz		
<i>PRA</i>	96.6051 w (35dBm)		
<i>Potencia Umbral</i>	-96.2 dBm		
<i>Factor K</i>	1.33333		

## **ANEXO 2**

### **EMPLAZAMIENTOS DE LAS RADIO BASES**

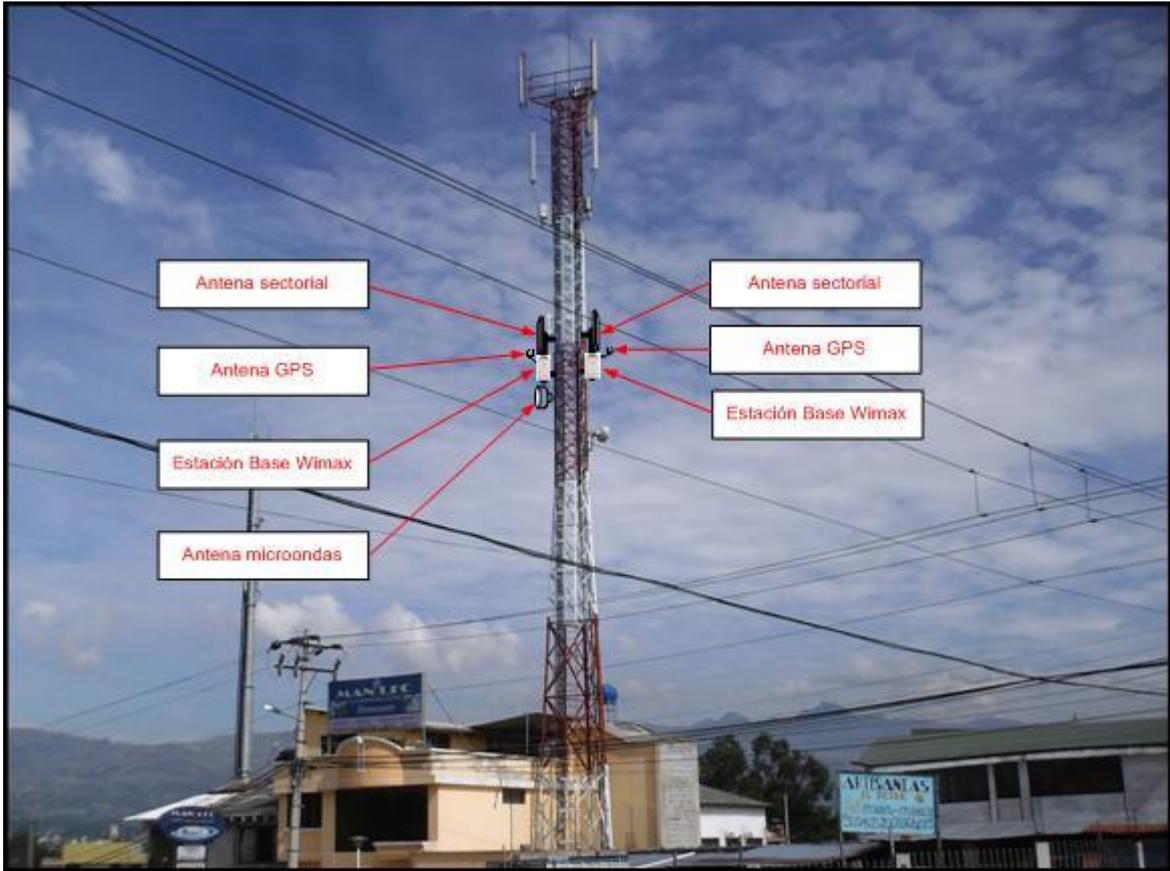


Figura. A2.1. Estación “La Academia”

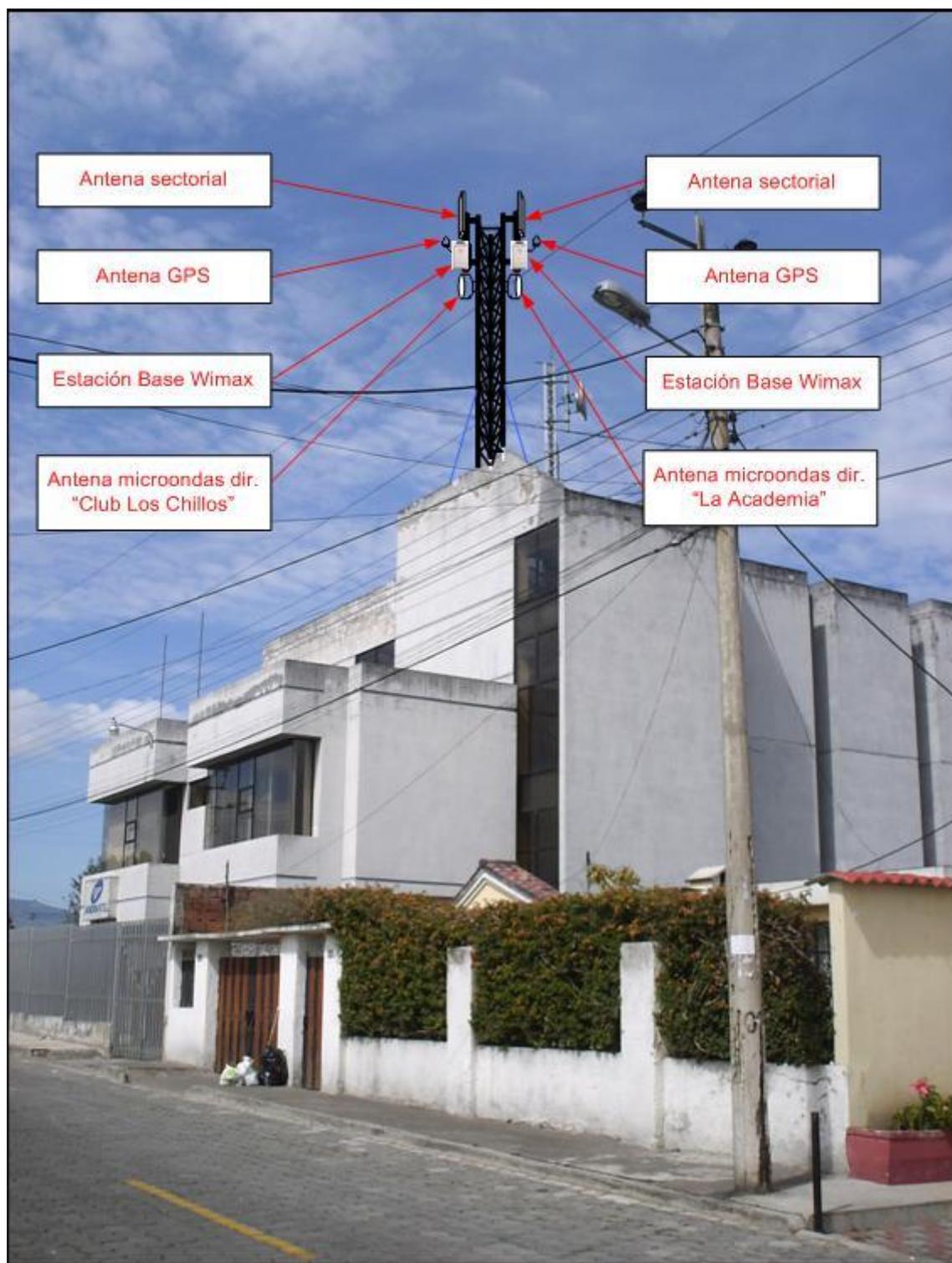


Figura. A2.2. Estación "Central Andinatel de Sangolquí"

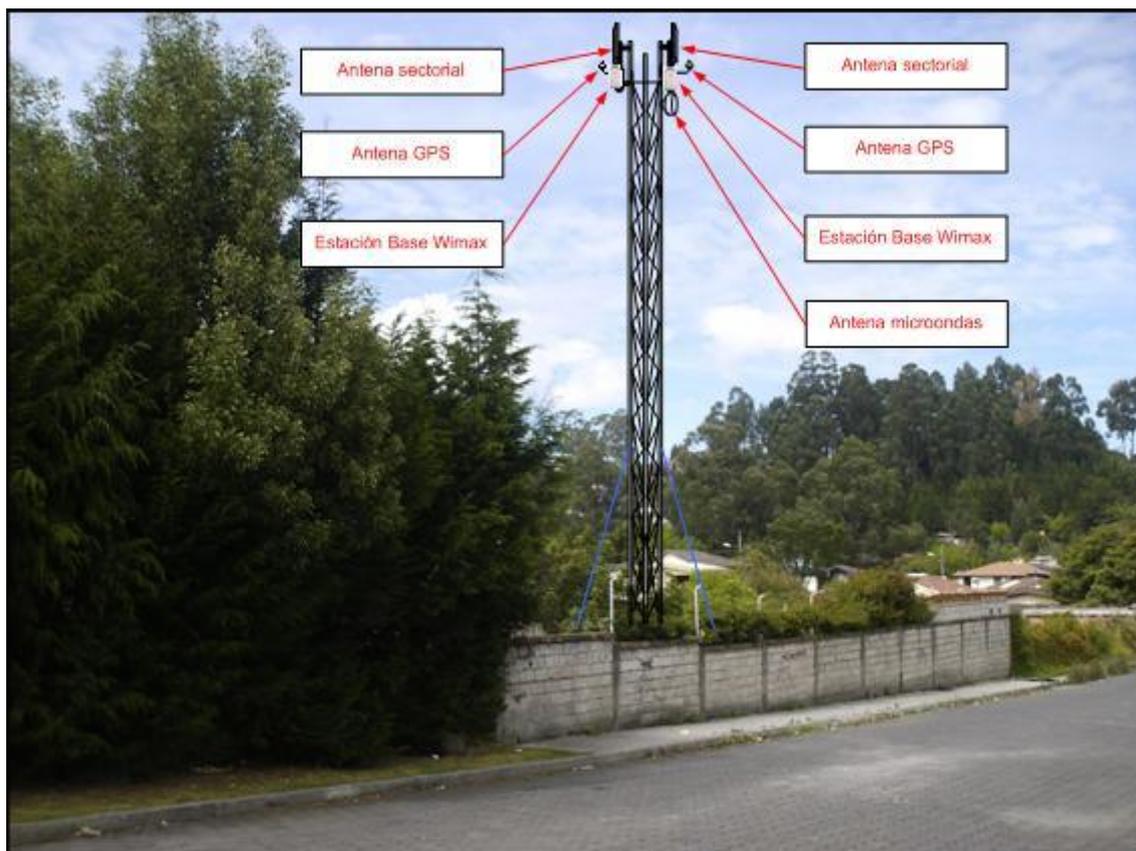


Figura. A2.3. Estación “Club Los Chillos”

**ANEXO 3**

**REPORTE TÉCNICO DE LOS ENLACES MICROONDAS**

Tabla. A3.1 Enlace Microondas “Central Andinatel de Sangolquí – La Academia”

<b>Características y Parámetros</b>	<b>Central Andinatel de Sangolquí</b>	<b>La Academia</b>
<i>Elevación (m)</i>	2520.00	2480.00
<i>Latitud</i>	00 20 10.00 S	00 18 50.00 S
<i>Longitud</i>	078 26 56.00 W	078 27 04.00 W
<i>Azimuth Verdadero (°)</i>	354.25	174.25
<i>Ángulo Vertical (°)</i>	-1.07	1.05
<i>Altura mínima de Antena (m)</i>	19.28	13.52
<i>Ganancia de Antena (dBi)</i>	31.30	
<i>Frecuencia (MHz)</i>	7500.00	
<i>Polarización</i>	Vertical	
<i>Longitud de la Trayectoria (km)</i>	2.47	
<i>Pérdidas de Espacio Libre (dB)</i>	117.82	
<i>Pérdidas de Absorción Atmosférica (dB)</i>	0.02	
<i>Pérdidas Netas del Enlace (dB)</i>	55.25	
<i>Modelo de Radio</i>	9470AWY016-16E1	
<i>Potencia de Transmisión (w)</i>	0.13	
<i>Potencia de Transmisión (dBm)</i>	21.00	
<i>PIRE (dBm)</i>	52.30	
<i>Criterio de Umbral de Recepción</i>	BER 10-6	
<i>Nivel de Umbral (dBm)</i>	-81.00	
<i>Nivel de Señal RX Máximo (dBm)</i>	-15.00	
<i>Señal Recibida (dBm)</i>	-34.25	
<i>Margen de Desv. - Térmico (dB)</i>	46.75	
<i>Margen de Desv. - Dispersivo (dB)</i>	61.00	
<i>Margen de Desv. - Efectivo (dB)</i>	45.49	
<i>Factor Geoclimático</i>	4.44E-07	
<i>Inclinación del Trayecto (mr)</i>	18.53	
<i>Temperatura Anual Promedio (°C)</i>	30.00	
<i>Fuera de Servicio del Peor Mes por Multitrayecto (sec)</i>	8.01e-07	
<i>Fuera de Servicio Anual por Multitrayecto (sec)</i>	3.60e-06	
<i>Región de Precipitación</i>	ITU Región N	
<i>0.01% Intensidad de Lluvia (mm/hr)</i>	95.00	
<i>Margen de Desv. - Plano por Lluvia (dB)</i>	46.75	
<i>Intensidad de Lluvia (mm/hr)</i>	5112.53	
<i>Atenuación por Lluvia (dB)</i>	46.75	

Tabla. A3.2 Enlace Microondas “Central Andinatel de Sangolquí – Club Los Chillos”

<b>Características y Parámetros</b>	<b>Central Andinatel de Sangolquí</b>	<b>Club Los Chillos</b>
<i>Elevación (m)</i>	2520.00	2560.00
<i>Latitud</i>	00 19 58.04 S	00 20 48.05 S
<i>Longitud</i>	078 26 48.30 W	078 25 42.30 W
<i>Azimuth Verdadero (°)</i>	126.97	306.97
<i>Ángulo Vertical (°)</i>	1.04	-1.06
<i>Altura mínima de Antena (m)</i>	12.46	19.40
<i>Ganancia de Antena (dBi)</i>	31.30	
<i>Frecuencia (MHz)</i>	7500.00	
<i>Polarización</i>	Vertical	
<i>Longitud de la Trayectoria (km)</i>	2.55	
<i>Pérdidas de Espacio Libre (dB)</i>	118.11	
<i>Pérdidas de Absorción Atmosférica (dB)</i>	0.03	
<i>Pérdidas Netas del Enlace (dB)</i>	55.54	
<i>Modelo de Radio</i>	9470AWY016-16E1	
<i>Potencia de Transmisión (w)</i>	0.13	
<i>Potencia de Transmisión (dBm)</i>	21.00	
<i>PIRE (dBm)</i>	52.30	
<i>Criterio de Umbral de Recepción</i>	BER 10-6	
<i>Nivel de Umbral (dBm)</i>	-81.00	
<i>Nivel de Señal RX Máximo (dBm)</i>	-15.00	
<i>Señal Recibida (dBm)</i>	-34.54	
<i>Margen de Desv. - Térmico (dB)</i>	46.46	
<i>Margen de Desv. - Dispersivo (dB)</i>	61.00	
<i>Margen de Desv. - Efectivo (dB)</i>	45.27	
<i>Factor Geoclimático</i>	4.44E-07	
<i>Inclinación del Trayecto (mr)</i>	18.38	
<i>Temperatura Anual Promedio (°C)</i>	30.00	
<i>Fuera de Servicio del Peor Mes por Multitrayecto (sec)</i>	9.62e-07	
<i>Fuera de Servicio Anual por Multitrayecto (sec)</i>	4.33e-06	
<i>Región de Precipitación</i>	ITU Región N	
<i>0.01% Intensidad de Lluvia (mm/hr)</i>	95.00	
<i>Margen de Desv. - Plano por Lluvia (dB)</i>	46.46	
<i>Intensidad de Lluvia (mm/hr)</i>	4947.27	
<i>Atenuación por Lluvia (dB)</i>	46.46	

## **ANEXO 4**

### **DESPLIEGUE DE COBERTURA**

Tabla. A4.1 Despliegue de Cobertura en el sector de Sangolquí

<b>Características Y Parámetros</b>	<b>La Academia</b>	<b>Central Andinatel de Sangolquí</b>	<b>Club Los Chillos</b>
<i>Longitud</i>	78 27 04.000W	78 26 56.000W	78 25 50.000W
<i>Latitud</i>	0 18 50.000S	0 20 10.000S	0 21S
<i>Cota</i>	2498 m	2525 m	2558 m
<i>Sistema de Proyección</i>	WGS 84		
<i>Servicio</i>	WiMAX		
<i>Frecuencia</i>	3500 MHz		
<i>Polarización</i>	Vertical		
<i>PRA</i>	96.6051 w (35dBm)		
<i>Antena</i>	3_Sect360_17dBi		
<i>Altura de Antena</i>	24 m		
<i>Ganancia</i>	17dBi		
<i>Diagrama copolar</i>	Sect3(360)_12dBi		
<i>Diagrama contrapolar</i>	x-isotropía		
<i>Velocidad</i>	14.5 Mbps		

<i>Modulación</i>	64 QAM
<i>MTBF (h)</i>	62500.00
<i>MTTR (h)</i>	5.00
<i>Potencia Umbral Sensibilidad</i>	-96.2 dBm
<i>Impedancia</i>	50 ohms
<i>Método de Cálculo</i>	COST 231 Ciudad pequeña
<i>Factor K</i>	1.33333
<i>BER 10E-3</i>	- 97.00 dBm
<i>BER 10E-6</i>	- 83.00 dBm

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARTÍNEZ, Jorge, *Redes de Comunicaciones*, Coedición: Alfaomega-Universidad Politécnica de Valencia.
- [2] Espectro Electromagnético,  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico)
- [3] González García, Pablo, *Diseño de una herramienta de planificación de sistemas WiMAX*, Julio 2006.
- [4] Charro Simbaña, Francisco Fausto; Erazo Arias, Paulina del Rocío *Estudio, Diseño de una red LAN híbrida, utilizando las tecnologías WIMAX y WI-FI, para brindar servicios de video sobre IP e internet de banda ancha incluyendo transmisión de voz y datos, en la Universidad Central del Ecuador*, Julio 2006.
- [5] Sánchez Sierra, Carlos, *Diseño e implementación con DSP de un modulador Wimax*, Noviembre 2007.
- [6] <http://es.wikipedia.org/wiki/MAN>
- [7] Guanotoa Pachacama, Diego Mauricio, *Diseño de una red inalámbrica de voz y datos utilizando tecnología WIMAX para interconectar las dependencias de Petroproducción con el Bloque 15 en el Distrito Quito*, Octubre 2007.
- [8] Bonelli, Fabiola, *WiMAX móvil y el Futuro de las Telecomunicaciones*, Ertach, evolución inalámbrica,  
<http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/asp/PANEL%20ACCESO%20AL%20USUARIO-%20Bonelli.pdf>, Octubre 2007.
- [9] Oviedo Salazar, Fausto David; Quishpe Jácome, Carlos Gustavo Marzo, *Diseño de una red comunitaria, utilizando tecnología WiMAX entre el Colegio Universitario, Laboratorios y el Cámpus Central de la Universidad Técnica del Norte*, 2007.

- [10] Usbeck, Carlos, *Tutorial del Seminario Nuevas Tecnologías Inalámbricas para las Infocomunicaciones*
- [11] “Initial Certification Profiles and the European regulatory framework”, *WiMAX Forum Regulatory Working Group*, 2004.
- [12] “Mobile WiMAX – PartI: A Technical Overview and Performance Evaluation”, *WiMAX Forum*, 2006.
- [13] Steller Solórzano, Juan Miguel, *WiMAX Móvil*, Octubre 2006.
- [14] 3G vs. Tecnologías Inalámbricas Emergentes,  
<http://www.libera.net/website/tecnologia/whitepapers/3G.pdf>
- [15] Mobile WiMAX: tres tecnologías claves para Mobile WiMAX,  
<http://www.huawei.com/es/catalog.do?id=701>
- [16] *WiMAX Architecture & Services*, Alcatel – Lucent, 2007.
- [17] “Mobile WiMAX – PartII: A Technical Overview and Performance Evaluation”, *WiMAX Forum*, 2006.
- [18] <http://www.wimaxforum.org>
- [19] Tutorial de la Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 18, N. 1, 9-16.
- [20] Fratini, Carlos, *Redes de Próxima Generación*, Instituto Tecnológico de Buenos Aires Escuela de Postgrado, 2007.
- [21] Integración de infraestructuras mediante NGN,  
[http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo\\_11.pdf](http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_11.pdf)
- [22] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/551/3/T10468CAP3>

- [23] WiMAX RAN System Introduction, Alcatel WiMAX.
- [24] WiMAX Product & Features, Alcatel – Lucent, Enero 2007.
- [25] Martínez Arrúe, I; Martínez Bauset, J, “Medida de prestaciones de Mobile IP y Hierarchical Mobile IP”, *Boletín de Red IRIS*, no. 70-71, diciembre 2004 - enero 2005.
- [26] <http://es.wikipedia.org/wiki/GRE>
- [27] Plan General de Desarrollo Provincial de Pichincha, Diagnóstico Provincial, Parroquia Sangolquí,  
<http://www.pichincha.gov.ec/download/plandesaplandesaii224.pdf>
- [28] <http://www.andinatel.com/home>
- [29] Villacrés, Grace, *Análisis y diseño de un sistema de acceso inalámbrico fijo de banda ancha para brindar servicio portador a los sectores de San Rafael, Sangolquí y Conocoto para ANDINATEL S.A.*
- [30] González, Enrique, “Diseño Preliminar WIMAX – Indoor Ecutel – Guayaquil”, Mayo 2007.
- [31] WiMAX Customer Premise Equipment White Paper, Octubre 2006.
- [32] Software GOOGLE EARTH, 2008.
- [33] Informe de Factibilidad para la instalación de una Radio Base WiMAX, Alcatel-Lucent, Octubre 2007.
- [34] Software SIRENET 3.0.
- [35] Software ALCATEL PATH LOSS 4.0.

- [36] Plan Equinoccio XXI, Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito, <http://www.quito.gov.ec>
- [37] Alvear Pacheco, Christian Ernesto; García Pallaroso, Galo Patricio, *Diseño de un "Backbone" inalámbrica utilizando tecnología WiMax, para la integración de puntos de acceso WIFI de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios*, Julio 2006.
- [38] Median Vélez, Karen Fernanda; Revelo Arias, Ivonne Alexandra, *Diseño y planificación de una red inalámbrica basada en los estándares IEEE 802.16 (WIMAX) y 802.11 (WIFI) para proveer de internet de banda ancha a poblaciones de las Provincias de Loja y Zamora Chinchipe*, Agosto 2006.
- [39] Tomado de la Tabla 1, Anexo 4 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
- [40] Tomado de la Tabla 2, Anexo 4 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
- [41] Tomado de la Tabla 5, Anexo 4 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
- [42] Tomado de la Tabla 1, Anexo 7 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
- [43] Página web del Banco Central del Ecuador, <http://www.bce.fin.ec>

## **FECHA DE ENTREGA**

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército.

Sangolquí a 26 de septiembre de 2008

### **ELABORADO POR:**

---

**Álex Eduardo Yáñez Castellanos**  
**171473546-9**

### **AUTORIDAD:**

---

**Dr. Gonzalo Olmedo Cifuentes**  
**Coordinador de la Carrera de Ingeniería en**  
**Electrónica y Telecomunicaciones**