

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA APLICANDO TECNOLOGÍA
WIMAX PARA LOS CANTONES DE CAYAMBE, PEDRO
MONCAYO Y OTAVALO PARA LA CORPORACIÓN NACIONAL DE
TELECOMUNICACIONES CNT S.A.**

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

FERNANDO RENE ALBUJA OÑATE

CRISTIAN ANTONIO HERNANDEZ VELASCO

DIRECTOR: ING. OSWALDO BUITRÓN

Quito, enero 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Fernando René Albuja Oñate y Cristian Antonio Hernández Velasco declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Fernando René Albuja Oñate

Cristian Antonio Hernández Velasco

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fernando René Albuja Oñate y Cristian Antonio Hernández Velasco, bajo mi supervisión.

Ing. Oswaldo Buitrón
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

La culminación de otra de mis metas, quizás la más importante, no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional, tenacidad y consejos de mis padres, y de mi hermano quienes han sido la base fundamental para mi desarrollo como ser humano. A Dios y Jesús mi guía espiritual para sortear las pruebas de la vida, y celebrar los éxitos de la misma. Un gracias infinito no basta para demostrar toda mi gratitud a ustedes, mi querida familia.

Fernando

El ser humano con cada paso que da obtiene nuevos conocimientos y responsabilidades, la oportunidad se me ha dado y no se como compensar todas las bendiciones de Dios y de mis Padres Gloria y Carlos quienes con su apoyo, compañía, enseñanzas y sobre todo amor me han enseñado valores como la responsabilidad y cooperación que hoy me llevan a cumplir con una mas de mis metas. Los amo tanto Padres, *gracias*

Cristian

DEDICATORIA

A mi Abuelo paterno, mi segundo padre, que desde los inicios de mi vida supo inculcarme con amor y palabras inolvidables los valores fundamentales para enfrentar la vida. A toda mi familia, tíos, tías, primos, primas, que con su ejemplo de unión jamás me dejaron solo. A todos ustedes va dedicado este logro.

Fernando

Este proyecto lo dedico a mis padres Carlos y Gloria por su paciencia, mis hermanos Roberto y David por su apoyo, mis tíos Anita y Ángel mi segundo hogar a María Fernanda, la compañera de mi vida y a Sebastián mi querido hijo; ahora se que sin su impulso no hubiese alcanzado este triunfo.

Cristian

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
PRESENTACIÓN.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII

CONTENIDO

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA WIMAX.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA WIMAX	3
1.2.1 <i>Tecnologías de Comunicación Inalámbrica</i>	5
1.2.1.1 Espectro de radiofrecuencia.....	8
1.2.1.2 Tipos de Redes Inalámbricas de datos	14
1.2.2 <i>Telefonía Celular</i>	16
1.2.3 <i>Comunicaciones Satelitales</i>	18
1.2.4 <i>Bluetooth (802.15.1)</i>	19
1.2.5 <i>ZigBee (802.15.4)</i>	20
1.2.6 <i>HomeRF</i>	20
1.2.7 <i>HiperLAN</i>	20
1.2.8 <i>Wi-Fi (802.11)</i>	21
1.2.9 <i>Otras tecnologías</i>	21
1.2.10 <i>WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)</i>	22
1.3 ESTÁNDAR IEEE 802-16.....	25
1.3.1 <i>Bandas de Frecuencia</i>	25
1.3.1.1 Bandas licenciadas 10–66 GHz	25
1.3.1.2 Frecuencias bajo los 11 GHz	26

1.3.1.3 Frecuencias bajas sin licencia 11 GHz (principalmente 5–6 GHz)	26
1.3.2 Modelo de referencia	26
1.3.3 Calidad de Servicio (QoS)	28
1.3.3.1 Modo Mesh	28
1.3.3.2 Modo PMP	29
1.3.4 Arquitectura (Topología punto-multipunto y de malla)	29
1.3.4.1 Redes Punto-Multipunto (PMP):	29
1.3.4.2 Redes Enmalladas (Mesh)	30
1.3.5 Subcapa de Seguridad	31
1.3.5.1 Arquitectura	31
1.3.6 Capa Física (PHY)	32
1.3.6.1 WirelessMAN-SC PHY	32
1.3.6.2 WirelessMAN-Sca PHY	33
1.3.6.3 WirelessMAN-OFDM PHY	33
1.3.6.4 WirelessMAN-OFDMA PHY	33
1.3.6.5 WirelessHUMAN PHY	33

CAPÍTULO 2

SITUACIÓN ACTUAL, FUTURA Y DESCRIPCIÓN DE LAS APLICACIONES DE WIMAX	34
2.1 ¿QUÉ ES WIMAX?	34
2.1.1 Servicios y prestaciones de WiMAX	36
2.1.1.1 WiMAX usado para transmisión de datos	37
2.1.1.2 WiMAX usado para transmisión de voz	37
2.1.1.3 WiMAX usado para transmisión de video	39
2.1.1.4 WiMAX usado para brindar conectividad a Internet	40
2.1.2 Evolución de WiMAX fijo a WiMAX móvil	41
2.1.3 Futuro de WiMAX	43
2.1.4 Características técnicas	46
2.1.4.1 Calidad de Servicio mejorada (QoS)	46
2.1.4.2 Interfaz Aire mejorada	47
2.1.4.3 Altas velocidades o tasas de transmisión	47

2.1.4.4	Escalabilidad	47
2.1.4.5	Movilidad	47
2.1.4.6	Conectividad y Acceso a una red con esta tecnología	48
2.1.4.7	Seguridad	49
2.1.4.8	Ventajas y rendimiento de WiMAX móvil.....	49
2.1.4.9	Técnicas de Acceso al medio.....	51
2.1.5	<i>Tipos de modulación</i>	58
2.1.5.1	PSK	58
2.1.5.2	QAM	61
2.1.5.3	Modulación adaptativa	63
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL, ENTORNO DE MERCADO DE LA CNT PARA LA TRANSMISIÓN DE VOZ, DATOS E INTERNET Y DEMÁS SERVICIOS CONVERGENTES BRINDADOS POR LA EMPRESA	68
2.2.1	<i>Situación Actual</i>	70
2.2.2	<i>Descripción de la Tecnología XDSL</i>	75
2.2.2.1	ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)	77
2.2.2.2	ADSL 2; ADSL 2+.....	78
2.2.2.3	RADSL (Rate adaptative ADSL).....	79
2.2.2.4	GigADSL o G.HDLS	80
2.2.2.5	VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line).....	81
2.2.2.6	HDSL (High speed Digital Subscriber Line)	82
2.2.2.7	SDSL y SHDSL (Symetric High speed Digital Subscriber Line) ..	83
2.2.2.8	IDSL (ISDN Digital Suscriber Line).....	83
2.2.3	<i>Red Actual de transmisión de la CNT a nivel nacional</i>	84
2.2.3.1	Redes NGN situación actual y futura	84
2.2.3.2	Core de la red Backbone IP/MPLS.....	85
2.2.3.3	Fibra Óptica.....	86
2.2.4	<i>Red Actual de transmisión de la CNT instalada en los sectores de Cayambe, Tabacundo y la zona turística de Otavalo</i>	87
2.2.4.1	PSTN del sector, capacidad, tecnologías.....	87
2.2.4.2	Requerimientos Actuales, demanda del sector en estudio para servicios de telecomunicaciones	88
2.3	SITUACIÓN ACTUAL DE WIMAX EN EL ECUADOR	89

2.3.1 Tecnología WiMAX en la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A.	89
2.3.2 Otras redes WiMAX instaladas en el país por empresas privadas.....	90

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA ARQUITECTURA E INFRAESTRUCTURA DE LA RED BASADA EN WIMAX	91
3.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.....	92
3.1.1 Banda de frecuencia a utilizarse.....	93
3.1.1.1 Análisis y Reuso de Frecuencias	95
3.1.2 Antenas a utilizarse	97
3.1.2.1 MRA (Maximum Response Angle)	97
3.1.2.2 MIMO (Multiple Input; Multiple Output).....	98
3.1.2.3 AAS (Adaptative Array System)	98
3.2 SOFTWARE DE SIMULACIÓN A UTILIZARSE	100
3.2.1 Que es radio mobile	100
3.2.1.1 Algoritmo de propagación ITM	101
3.2.2 Cartografía Digital y Modelos Digitales del Terreno	102
3.2.2.1 Modelo digital de terreno GTOPO30 / STRM30.....	102
3.2.2.2 Modelo digital de terreno STRM – DTED.....	103
3.3 COMPONENTES DE UNA RED WIMAX.....	103
3.4 ARQUITECTURA DE RED PROPUESTA (CORE DE LA RED)	106
3.4.1 Sistema simple con funciones de red de banda ancha de acceso inalámbrico compatible.....	106
3.4.2 Arquitectura de conexión de red wimax +dsl.....	107
3.4.3 Arquitectura de conexión de red wimax + ngn.....	109
3.5 TOPOLOGÍA DE LA RED.....	110
3.6 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	113
3.6.1 Determinación de las áreas de servicio.....	113
3.6.2 Suscriptores	113
3.6.3 Información georeferenciada de la demanda	114
3.6.3.1 Sector Uno: Demanda en el centro de Cayambe.....	114
3.6.3.2 Sector Dos: Demanda en la ciudad de Tabacundo	115

3.6.3.3	Sector Tres: Demanda sector Florícola 1 (sur de la ciudad de Cayambe)	115
3.6.3.4	Sector Cuatro: Demanda sector Florícola 2 (sector rural de Guachalá hacia el sur del sector tres)	116
3.6.3.5	Sector Cinco: Demanda en la ciudad de Otavalo.....	117
3.6.3.6	Sector Seis: Demanda en la zona del Lago San Pablo.....	117
3.7	CÁLCULOS TEÓRICOS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL ENLACE	118
3.7.1	<i>Cálculos estación base uno, torre autosoportada otecel cayambe. .</i>	<i>118</i>
3.7.2	<i>Cálculos estación base cuatro, torre autosoportada otecel lago san pablo.</i>	<i>124</i>
3.8	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA INTERFAZ AIRE Y ENLACES DE RADIO	130
3.8.1	<i>Ubicación y mapa de cobertura radial de los Sitios de los Transmisores</i>	<i>130</i>
3.8.1.1	Estación Base torre auto soportada Otecel Cayambe.....	135
3.8.1.2	Estación Base torre auto soportada CNT Tabacundo.....	139
3.8.1.3	Estación Base torre auto soportada Telecsa Guachalá - Cayambe	143
3.8.1.4	Estación Base torre auto soportada Otecel Lago San Pablo	147
3.8.1.5	Estación Base torre auto soportada Otecel - Telecsa Otavalo..	151
3.8.2	<i>Red esquemática total para el diseño</i>	<i>155</i>
3.9	RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PREDICCIÓN DE COBERTURA Y SIMULACIÓN	157
3.9.1	<i>Estación Base Uno.....</i>	<i>157</i>
3.9.2	<i>Estación Base Dos</i>	<i>158</i>
3.9.3	<i>Estación Base Tres</i>	<i>158</i>
3.9.4	<i>Estación Base Cuatro.....</i>	<i>159</i>
3.9.5	<i>Estación Base Cinco</i>	<i>159</i>
3.9.6	<i>TABLAS COMPARATIVAS DE LOS CÁLCULOS TEÓRICOS VS. VALORES OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN.....</i>	<i>160</i>
3.10	CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS A UTILIZARSE	161
3.10.1	<i>Estación Base (HUAWEI DBS3900 WiMAX).....</i>	<i>161</i>
3.10.1.1	BBU.....	161

3.10.1.2 RRU	163
3.10.1.3 Especificaciones de rendimiento	164
3.10.2 (CPE) terminal de usuario Wimax (echolife bm635)	165
3.10.2.1 Sensibilidad del receptor	166
3.10.2.2 Especificaciones de la antena	167
CAPÍTULO 4	
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA RED INALÁMBRICA CON TECNOLOGÍA WIMAX	168
4.1 WIMAX FORUM Y PRINCIPALES FABRICANTES DE EQUIPOS WIMAX	168
4.1.1 Principales fabricantes Miembros del wimax forum.....	169
4.2 COSTOS ACTUALES DE EQUIPOS WIMAX EN EL MERCADO DE TELECOMUNICACIONES.....	169
4.2.1 EQUIPOS DEL FABRICANTE Alcatel.....	170
4.2.2 EQUIPOS DEL PROVEEDOR Descaserv	171
4.2.3 EQUIPOS DEL PROVEEDOR Ghozanty.....	172
4.2.4 EQUIPOS DEL FABRICANTE Huawei.....	173
4.3 COSTOS EXTRAS POR ARRENDAMIENTO DE FACILIDADES	174
4.4 FACTORES DETERMINANTES PARA LA SELECCIÓN DEL PROVEEDOR.....	176
4.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS TOTALES PARA LA RED WIMAX EN LAS CIUDADES DE CAYAMBE, TABACUNDO Y OTAVALO PARA LA CNT S.A..	178
CAPÍTULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	181
5.1 CONCLUSIONES	181
5.2 RECOMENDACIONES	184
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	174
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura No. 1.1 Esquema básico de una red WiMAX	5
Figura No. 1.2 Evolución de las Comunicaciones Inalámbricas.....	8
Figura No. 1.3 Espectro radioeléctrico	11
Figura No. 1.4 Tipos de redes inalámbricas.....	15
Figura No. 1.5 Cobertura de a) redes WLAN y b) redes WIMAX	23
Figura No. 1.6 IEEE Std 802.16 protocolo de capas, exposición de SAPs	27
Figura No. 1.7 Topología PMP	30
Figura No. 1.8 Topología Malla	30
Figura No. 1.9 Subcapa de seguridad.....	32

CAPÍTULO 2

Figura No. 2.1 Equipos WiMAX + WiFi + 3G/2.5G interactúan en el entorno de las comunicaciones inalámbricas.....	35
Figura No. 2.2 Equipos para transmisión de video IP sobre WiMAX.....	40
Figura No. 2.3 Evolución de la tecnología WiMAX	42
Figura No. 2.4 Representación de los dos estándares principales WiMAX y su contexto de aplicación.....	48
Figura No. 2.5 Arquitectura básica del Sistema OFDMA	54
Figura No. 2.6 Una simple estructura de trama OFDMA.....	57
Figura No. 2.7 Modulación PSK	59
Figura No. 2.8 Constelación QAM-16.....	63
Figura No. 2.9 Modulación adaptativa.....	63
Figura No. 2.10 Señal ASK	64
Figura No. 2.11 Señal FSK.....	64
Figura No. 2.12 Señal Adaptativa – BPSK.....	65
Figura No. 2.13 Señal Adaptativa - QPSK	66
Figura No. 2.14 a) y b) Modulación Adaptativa - 16-QAM.....	67
Figura No. 2.15. Modulación respecto a la cobertura sobre WiMAX.....	68
Figura No. 2.16 Penetración de usuarios de Internet en los últimos años a nivel mundial	71
Figura No. 2.17 Penetración de Internet en países de Sudamérica	72

Figura No. 2.18 Número de Usuarios de Internet en Ecuador. Datos a diciembre de 2008	72
Figura No. 2.19 Participación de los diferentes proveedores según los usuarios de Internet	73
Figura No. 2.20 Mercado de Cuentas Dedicadas por proveedor	74
Figura No. 2.21 Sistema ADSL	77
Figura No. 2.22 Sistema ADSL	78
Figura No. 2.23 Descripción de GigADSL	81
Figura No. 2.24 Variedad de servicios sobre SHDSL.....	83

CAPÍTULO 3

Figura No. 3.1 Sub-bandas de frecuencias para servicios inalámbricos	94
Figura No. 3.2 Re-uso de frecuencia fraccional	96
Figura No. 3.3 Cobertura del modelo digital STRM – DTED	103
Figura No. 3.4 Arquitectura de una red WiMAX	104
Figura No. 3.5 Red WiMAX Independiente.....	107
Figura No. 3.6 WiMAX + red DSL	108
Figura No. 3.7 Diagrama de una red WiMAX + NGN.	109
Figura No. 3.8 Red de Backbone de Fibra Óptica Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones.....	111
Figura No. 3.9 Conexión de las tres primeras estaciones base ubicadas en las ciudades de Cayambe y Tabacundo al backbone de FO.....	112
Figura No. 3.10 Conexión de las dos estaciones base ubicadas en la ciudad de Otavalo y sus sectores turísticos al backbone de FO.....	112
Figura No. 3.11 Demanda georeferenciada Sector Uno (Cayambe centro).....	114
Figura No. 3.12 Demanda georeferenciada Sector Dos (Centro de Tabacundo).....	115
Figura No. 3.13 Demanda georeferenciada Sector Tres (Sector Florícola 1)	116
Figura No. 3.14 Demanda georeferenciada Sector Cuatro (Zona Florícola 2) ...	116
Figura No. 3.15 Demanda georeferenciada Sector Cinco (Ciudad de Otavalo). ..	117
Figura No. 3.16 Demanda georeferenciada Sector Seis (Lago San Pablo)	118
Figura No. 3.17 Configuración del mapa de trabajo Radio Mobile	131
Figura No. 3.18 Ubicación de las estaciones base y equipos de usuario.....	131
Figura No. 3.19 Parámetros Generales de la Red	132

Figura No. 3.20 Topología de la Red	132
Figura No. 3.21 Parámetros de configuración de los equipos.....	133
Figura No. 3.22 Configuración de Parámetros para el gráfico de cobertura	134
Figura No. 3.23 Entorno Radio Base Otecel Cayambe	136
Figura No. 3.24 Ubicación Radio Base Otecel Cayambe.....	136
Figura No. 3.25 Ubicación de la Radio Base Uno, y CPE de prueba	137
Figura No. 3.26 Cobertura Radio Base Uno sobre el mapa de trabajo	138
Figura No. 3.27 Cobertura Radio Base Uno 3D	138
Figura No. 3.28 Cobertura Radio Base Uno fusionada con imagen satelital.....	139
Figura No. 3.29 Entorno Radio Base CNT Parque Central Tabacundo	140
Figura No. 3.30 Ubicación Radio Base CNT Parque Central Tabacundo	140
Figura No. 3.31 Ubicación de la Radio Base Dos, y CPE de prueba	141
Figura No. 3.32 Cobertura Radio Base Dos sobre el mapa de trabajo	142
Figura No. 3.33 Cobertura Radio Base Dos 3D	142
Figura No. 3.34 Cobertura Radio Base Dos fusionada con imagen satelital.....	143
Figura No. 3.35 Entorno Radio Base Telecsa sector Guachalá	144
Figura No. 3.36 Ubicación Radio Base Telecsa sector Guachalá.....	144
Figura No. 3.37 Ubicación de la Radio Base Tres, y CPE de prueba	145
Figura No. 3.38 Cobertura Radio Base Tres sobre el mapa de trabajo.....	146
Figura No. 3.39 Cobertura Radio Base Tres 3D.....	146
Figura No. 3.40 Cobertura Radio Base Tres fusionada con imagen satelital	147
Figura No. 3.41 Entorno Radio Base Otecel Lago San Pablo.....	148
Figura No. 3.42 Ubicación Radio Base Otecel Lago San Pablo.....	148
Figura No. 3.43 Ubicación de la Radio Base Cuatro, y CPE de prueba	149
Figura No. 3.44 Cobertura Radio Base Cuatro sobre el mapa de trabajo	150
Figura No. 3.45 Cobertura Radio Base Cuatro 3D	150
Figura No. 3.46 Cobertura Radio Base Cuatro fusionada con imagen satelital..	151
Figura No. 3.47 Entorno Radio Base Otecel Otavalo	152
Figura No. 3.48 Ubicación Radio Base Otecel Otavalo.....	152
Figura No. 3.49 Ubicación de la Radio Base Dos, y CPE de prueba	153
Figura No. 3.50 Cobertura Radio Base Cinco sobre el mapa de trabajo.....	154
Figura No. 3.51 Cobertura Radio Base Cinco 3D.....	154
Figura No. 3.52 Cobertura Radio Base Cuatro fusionada con imagen satelital..	155

Figura No. 3.53 Red esquemática total de la red WiMAX para los sectores de Cayambe, Tabacundo y Otavalo y su interconexión a la red IP/MPLS de CNT S. A.....	156
Figura No. 3.54 Apariencia de una BBU	161
Figura No. 3.55 Principios de funcionamiento de una BBU.....	162
Figura No. 3.56 Apariencia de una BBU	163
Figura No. 3.57 Principios de funcionamiento de una BBU.....	163
Figura No. 3.58 CPE WiMAX Echolife BM635	166

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla No. 1.1 Bandas de frecuencia	12
Tabla No. 1.2 IEEE 802.16 series	25

CAPÍTULO 2

Tabla No. 2.1 Características mercado emergente vs. Impacto negocio WiMAX	45
Tabla No. 2.2 Combinación de Fase y Amplitud	66
Tabla No. 2.3 Datos telefonía fija operadora CNT en las provincias en estudio ..	70
Tabla No. 2.4 Disponibilidad de puertos de Internet CNT provincias en estudio..	75
Tabla No. 2.5 Requerimientos actuales y futuros de demanda en los sectores en estudio.....	89

CAPÍTULO 3

Tabla No. 3.1 Cuadro de Resumen características de antenas usadas en WiMAX	99
Tabla No. 3.2 Descripción de los componentes de una red WiMAX	106
Tabla No. 3.3 Clasificación de los perfiles de suscriptores	113
Tabla No. 3.4 Correspondencia entre los niveles de señal según el código "S" y el margen de fading M para frecuencias superiores a 30 MHz	135
Tabla No. 3.5 Resultados de la simulación Estación Base Uno.....	158
Tabla No. 3.6 Resultados de la simulación Estación Base Dos	158
Tabla No. 3.7 Resultados de la simulación Estación Base Tres	159

Tabla No. 3.8 Resultados de la simulación Estación Base Dos	159
Tabla No. 3.9 Resultados de la simulación Estación Base Dos	160
Tabla No. 3.10 Comparación Cálculo Teórico vs. Simulación Estación Base Uno	160
Tabla No. 3.11 Comparación Cálculo Teórico vs. Simulación Estación Base Cuatro	160
Tabla No. 3.12 Especificaciones de servicio del DBS3900 WiMAX	165
Tabla No. 3.13 Sensibilidad del receptor EchoLife BM635 para diferentes anchos de banda	166
Tabla No. 3.14 Especificaciones de la Antena del receptor EchoLife BM635	167

CAPÍTULO 4

Tabla No. 4.1 Precios equipos WiMAX empresa Alcatel	171
Tabla No. 4.2 Precios equipos WiMAX empresa Descaserv	172
Tabla No. 4.3 Precios equipos WiMAX empresa Ghozanty	173
Tabla No. 4.4 Precios equipos WiMAX empresa Huawei	174
Tabla No. 4.5 Costos extras por arrendamiento de facilidades	176
Tabla No. 4.6 Requerimiento de equipos según el diseño de la red WiMAX	178
Tabla No. 4.7 Estimación de la inversión del proyecto	180

PRESENTACIÓN

El desarrollo de las ciudades, crecimiento demográfico, urbanístico y adelantos tecnológicos; constituyen situaciones y condiciones ideales para el progreso de sus habitantes; las comunicaciones, el manejo de la información así como la transmisión de datos son pilares fundamentales para el desarrollo de las poblaciones y el país.

Las nuevas e innovadoras tecnologías de telecomunicaciones, tales como transmisiones inalámbricas, fibra óptica de última generación como DWDM, comunicaciones celulares 3G, 3.5G entre otras. Ofrecen grandes posibilidades para desarrollar proyectos de telecomunicaciones que satisfagan la demanda de estos servicios en la población; así como también se desarrolle soluciones a escenarios muy diversos donde antiguas tecnologías no son suficientes; una de ellas es sin duda ofrecer gran cobertura en localidades extensas, zonas rurales de difícil acceso; otorgando comunicaciones con calidad de servicio, grandes anchos de banda y capacidad para muchos suscriptores y potenciales clientes.

WiMAX es una tecnología que promete grandes adelantos en materia de telecomunicaciones así como también otorga grandes y valiosos beneficios tales como gran cobertura, rápida instalación, versatilidad en la ubicación de los equipos, gran ancho de banda y altas velocidades de conexión. El estándar IEEE 802.16 consolida los adelantos e investigaciones de esta nueva y moderna tecnología estableciendo su universalidad, interoperabilidad y compatibilidad de todos los fabricantes de WiMAX.

El presente trabajo hace uso de esta tecnología para diseñar una red de telecomunicaciones que satisfaga la demanda en las ciudades de Cayambe, Tabacundo, sus zonas industriales y florícolas donde existe demanda potencial con una característica particular, dispersa por la zona. También se pretende otorgar cobertura de estos servicios a la ciudad de Otavalo y sus zonas altamente turísticas.

Los autores

RESUMEN

Con el presente proyecto de titulación se pretende otorgar cobertura de servicios de telecomunicaciones tales como voz, datos e Internet de banda ancha a los sectores en mención, diseño que servirá a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. para desarrollar, en parte, el gran Plan Nacional de Expansión Inalámbrica y el Plan Nacional de Conectividad en todo el país.

Para el efecto, en los primeros capítulos se define un estudio introductorio de la tecnología WiMAX a utilizarse, con enfoque de un marco teórico en el que se detalla las generalidades de las comunicaciones inalámbricas, fundamentos de las mismas, tipos y clasificaciones, el estándar al que se hace referencia; incluyendo las características técnicas y funcionales de esta tecnología. Cabe mencionar que se analiza también las ventajas, desventajas, beneficios que otorga WiMAX frente a otros estándares inalámbricos. Se describe los principales fundamentos tecnológicos, tales como, OFDMA, que utiliza WiMAX y que hace del mismo una solución prometedora y de grandes beneficios.

Debido que el proyecto es para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, se describe de forma rápida una parte de la infraestructura vigente y que en gran medida servirá de soporte para la instalación de las estaciones base del diseño propuesto.

La parte central del presente trabajo contiene, las consideraciones generales para el diseño, la georeferenciación de las localidades a brindar cobertura, las simulaciones prácticas desarrolladas a través del software de simulación, y el diseño final propuesto, indicando los elementos principales que conforman la red WiMAX. Se puede encontrar también un análisis de algunos equipos con esta tecnología en el mercado, sus costos, materiales de instalación, y demás. Finalmente para concluir el proyecto se puede encontrar una aproximación de estimación de costos para la instalación de la red.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA WIMAX

1.1 INTRODUCCIÓN

El dinámico avance de la tecnología, ha hecho de la sociedad y generaciones actuales una de las más consumidoras de productos de vanguardia tecnológica; estos dispositivos contienen funciones de altas prestaciones, gran capacidad de procesamiento, versatilidad, interactividad con el usuario pero sobre todo conectividad global e interrelación; es así que desde computadores portátiles con tecnología de punta y altos beneficios, dispositivos móviles, teléfonos inteligentes, palms, dispositivos GPS, teléfonos móviles, reproductores multimedia, e inclusive consumibles electrónicos tales como consolas de juegos, cámaras digitales, y más tienen integrados muchos estándares de conectividad. Es por estas y muchas más razones que la demanda actual de cobertura de conexión y servicios de Telecomunicaciones han crecido exponencialmente en estos últimos años.

El desarrollo de la sociedad y los pueblos está estrechamente relacionado con el acceso a la información; y es la educación el pilar fundamental para el progreso. La Internet es sin duda una de las más completas y grandes fuentes de información, pero para acceder a esta gran base de información es necesario que exista una infraestructura de conexión accesible y asequible para la mayoría de la población. Es verdad que la brecha tecnológica entre países del primer mundo y los países en desarrollo ha disminuido pero aún queda mucho por hacer y más considerando que gran parte de la población en el Ecuador no cuenta con acceso a servicios básicos de Telecomunicaciones tales como telefonía fija, transmisión de datos y peor aún un servicio aceptable de conexión a Internet. El acceso mediante redes cableadas no basta, la alta demanda no se puede suplir solamente con este tipo de redes; es más cuando en algunos sectores no es posible o supone un alto costo llegar mediante este medio, como última milla; es por eso que en nuestro país existe muchas zonas geográficas donde el servicio de transmisión de datos, voz e Internet son prácticamente desconocidos.

Los objetivos y metas que recaen sobre la actual Corporación Nacional de Telecomunicaciones y las demás empresas privadas, es ofrecer una solución rápida y sobretodo eficiente que permita a estas áreas del país contar con estas prestaciones y servicios. Desde la última década y con el desarrollo de las tecnologías inalámbricas se considera al uso de la transmisión por radio una excelente alternativa para alcanzar coberturas que difícilmente se lograba con redes cableadas para el acceso a las aplicaciones de voz, datos e Internet desde el hogar o desde cualquier lugar. Ya que el presente proyecto está orientado a ofrecer servicios de Telecomunicaciones en zonas donde el crecimiento industrial especialmente de la industria florícola y del sector turístico están en aumento y es precisamente en estos sectores donde no se cuenta con infraestructura de Telecomunicaciones; está pensada la solución propuesta en este trabajo que consiste en diseñar una red inalámbrica utilizando tecnología de vanguardia, para cubrir las necesidades de forma eficiente, efectiva y confiable aprovechando las nuevas prestaciones que nos ofrecen las comunicaciones inalámbricas en forma particular la tecnología WiMAX con el estándar IEEE 802.16.

La evolución de la tecnología en comunicaciones inalámbricas ha tenido algunas etapas entre las cuales se puede citar la etapa inicial que corresponde a los primeros intentos para ofrecer conectividad y transmisión de datos. Sin embargo, esto no dio cabida a una oportuna maduración que permitiera cumplir estas expectativas.

Desde hace unos años, la segunda generación de estos sistemas fue orientado a aplicaciones llamadas de “banda ancha” donde se requiere mayor ancho de banda para satisfacer todos los requerimientos de calidad de servicio y con el cual puede existir la capacidad de no solamente competir, sino además complementar las redes cableadas para la prestación de los servicios de voz, datos e Internet.

En este contexto, el estándar IEEE 802.16, conocido como WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) presenta un futuro promisorio y atractivo para diseñar e implementar conexiones y redes inalámbricas de largo alcance, así

la demanda de acceso a los servicios de telecomunicaciones puede ser atendida con la misma calidad ofrecida por una línea cableada.

Con este proyecto, se busca una solución al problema de comunicaciones de las ciudades de Cayambe, Tabacundo y sus zonas florícolas así como para la región turística de Otavalo donde el acceso a los servicios de voz, datos e Internet se ofrece con gran dificultad. Para esto, se presenta además un análisis de las tecnologías en comunicaciones inalámbricas prestando especial atención en contraponerla y compararla con sus principales competidores para destacar sus ventajas, desventajas y prestaciones, para de esta manera concluir y justificar la utilización del referido estándar. El presente capítulo describe brevemente a las principales tecnologías inalámbricas, su clasificación, el desarrollo que estas han tenido a lo largo del tiempo; se detalla además la tecnología WiMAX como solución aplicada al presente diseño y la descripción técnica de su estandarización en la IEEE.

1.2 ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA WIMAX

Desde que Wi-Fi nació como una tecnología alternativa, innovadora e inalámbrica, basada en el estándar IEEE 802.11, para competir en un principio con las redes cableadas de banda ancha y hoy en día complementarlas; el crecimiento de la conectividad y las facilidades de acceso a servicios de banda ancha como la Internet, se ha extendido exponencialmente. Hoy en día probablemente en el 90% de las grandes metrópolis del mundo se puede encontrar cientos, tal vez miles de hot spots, cada vez con una densidad mayor superando notablemente al acceso de banda ancha cableada¹. Este término se usa para describir sitios dentro de la ciudad como centros comerciales, aeropuertos, cyber cafés, restaurantes, bibliotecas, campus universitarios, etc.; con un área de cobertura reducida probablemente de unas decenas de metros; donde se ofrece acceso a Internet inalámbrico con facilidad, rapidez, eficiencia pero sobre todo sin cables. Pero la siguiente generación en banda ancha inalámbrica está en camino, y es más aún

¹ <http://camyna.com/2007/03/09/crecimiento-de-los-puntos-wifi-en-el-mundo/>, Acceso: 10 de Julio de 2009, 16h39

ya se la está utilizando; WiMAX es una de las tecnologías que se apunta para el futuro de la banda ancha inalámbrica, “hot zone para millones”, es el slogan que proponen muchas empresas y productos que apuestan a esta tecnología; a diferencia del hot spot, un hot zone puede abarcar una cobertura de decenas de kilómetros ofreciendo conexión y servicios de banda ancha a una ciudad completa con pocas estaciones base.

WiMAX es una tecnología sustentada en el estándar, IEEE 802.16, de esta manera la interoperabilidad, la compatibilidad y el soporte están garantizados; gracias a ello se habilita de forma sencilla y óptima el acceso inalámbrico de banda ancha para la última milla como una mejor u opcional alternativa al acceso de banda ancha mediante cables, la PSTN o tecnologías como XDSL. WiMAX provee una estable, confiable y firme conectividad de banda ancha inalámbrica que brinda acceso nómada, tan portable como sea posible y sin necesidad de línea de vista². El radio típico de cobertura de una celda comprende entre tres y diez kilómetros de alcance; los sistemas y equipos certificados garantizan entregar una capacidad de más de 40 Mbps por canal, para aplicaciones con un alto QoS, fiables y estables. Es un ancho de banda realmente suficiente para soportar decenas de proveedores de Internet usando T1 (1.544Mbps) para su conexión y cientos, tal vez miles, de conexiones residenciales con velocidades de conexión DSL³. Es por todas estas características que WiMAX tiene grandes expectativas, y la razón por la que los fabricantes de computadores portátiles, PDA's, dispositivos de posicionamiento global GPS, etc., han empezado a incluir en sus productos tarjetas y chipsets integrados WiMAX del estándar IEEE 802.16^a y IEEE 802.16e desde el año 2007, permitiendo a las áreas urbanas y a las ciudades convertirse en “metro zones” para el acceso inalámbrico externo portable de banda ancha. En la Figura No. 1.1 se muestra de forma gráfica y resumida de cómo trabaja esta tecnología.

² <http://www.scribd.com/doc/53197/WiMAX-Oportunidades-y-desafios-en-el-mundo-inalambrico>. Acceso 17 de Julio de 2009; 12h00

³ <http://www.scribd.com/doc/53197/WiMAX-Oportunidades-y-desafios-en-el-mundo-inalambrico>. Acceso 17 de Julio de 2009; 12h00

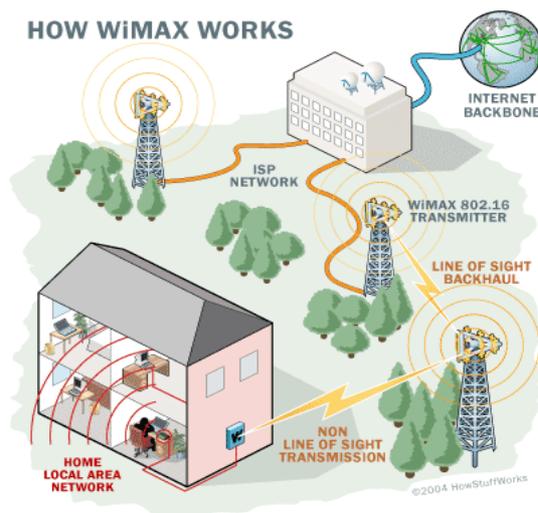


Figura No. 1.1 Esquema básico de una red WiMAX

Fuente: www.uv.es/montanan/ampliacion/trabajos/Wimax.ppt

1.2.1 TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Desde que Marconi realizó la primera transmisión de radio desde un barco en el canal Inglés, ya hace más de un siglo, se marcó un hito en el desarrollo de las comunicaciones, gracias a este desarrollo los mensajes de telégrafo, la voz, posteriormente datos, e inclusive video se pudieron transmitir con mayor versatilidad, a menor costo, con mayor facilidad y sin la atadura de los cables. En el siglo pasado grandes inventos como el telégrafo, la radio y la televisión se beneficiaron de este descubrimiento; prácticamente no hubiese sido posible mirar televisión, escuchar la radio, controlar un dispositivo a radio control, o hablar por un teléfono celular sin el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas⁴.

En la actualidad las telecomunicaciones han crecido a pasos agigantados, en parte, gracias a la aplicación de tecnologías sólidas, estables y confiables como enlaces de fibra óptica para interconectar nodos y forjar el núcleo o core de una red compleja; mientras tanto para brindar el acceso para conectar los dispositivos de usuarios finales se usa enlaces inalámbricos. También en algunos casos las comunicaciones satelitales son usadas para fortalecer y complementar la

⁴<http://www.monografias.com/trabajos16/comunicacion-inalambrica/comunicacion-inalambrica.shtml>. Acceso 23 de agosto de 2009; 14h00

interconexión de la red y cubrir grandes distancias sin la necesidad de tender cientos y cientos de kilómetros de cables.

La transmisión por espacio libre en la actualidad usa un sinnúmero de bandas de frecuencia, desde los antiguos modelos de transmisores que utilizaban frecuencias muy bajas en el orden de los Hertzios y KiloHertzios hasta los últimos desarrollos y dispositivos cuyas bandas de frecuencia son extremadamente altas en el orden de los GigaHertzios, por lo que se podría concluir que la transmisión se realiza en la totalidad del espectro de radiofrecuencia.

A pesar de que las tecnologías que forman parte de las comunicaciones inalámbricas (ondas de radio e infrarrojo) existían desde ya hace muchos años, fue en la última parte del siglo pasado que su desarrollo y el auge comercial se vio avocado a un crecimiento exponencial⁵. Esto se debe particularmente al desarrollo sostenido que ha tenido la electrónica, la tecnología de los semiconductores, procesadores más potentes, veloces y demás dispositivos electrónicos que han contribuido a la creación de transmisores y receptores cada vez más eficientes, pequeños y estables. Es por eso que hoy por hoy es común encontrar dispositivos ultraportables que caben en la palma de la mano e inclusive más pequeños, delgados y con un consumo energético ínfimo, que tienen integrado receptores digitales FM, moduladores FM e inclusive receptores de televisión no más grandes que un teléfono celular. Los adelantos tecnológicos y las investigaciones para transmitir en bandas de frecuencia extremadamente altas, han hecho posible la miniaturización de los dispositivos de usuario, su eficiencia y bajo consumo de electricidad. Los teléfonos móviles celulares son la mejor opción para convertirse en un estándar de comunicación universal, cada vez más pequeños, delgados y livianos integrando tecnologías de última generación y a la vanguardia tecnológica como las últimas generaciones de comunicación celular 3G y 4G, etc. Conexión a Internet de alta velocidad Wi-Fi, bluetooth, etc.

⁵ <http://blog.fon.com/es/archivo/general/103301-hotspots-wifi-en-el-mundo.html>. Acceso: 16 de Enero de 2009; Acceso 22h00

En los últimos años las tecnologías de comunicación inalámbrica han enfocado sus esfuerzos e investigaciones a sistemas satelitales, tecnologías celulares y redes inalámbricas de datos (WPAN, WLAN, WMAN, etc.), las cuales se describen más adelante. En forma general las redes inalámbricas se podrían clasificar de acuerdo a su alcance, ancho de banda que soportan, velocidad de transmisión y la banda de frecuencia que utilizan; todos estos parámetros los definen estándares creados para normalizar las tecnologías permitiendo así la convención entre diversos fabricantes, la interoperabilidad y el desarrollo.

Hoy en día existen muchas tecnologías de comunicaciones inalámbricas y su desarrollo, crecimiento e innovación son constantes y acelerados; entre estas tecnologías se puede citar: GSM, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth, HomeRF, HiperLAN, GPRS, 3G, CDMA 2000, MobileFI, WiBRO, WiMAX. Gracias a su costo reducido no solamente son aplicables y asequibles a empresas sino que además están empezando a formar parte de la solución de comunicación en el hogar, la pequeña oficina y las pequeñas empresas. Instalar una red inalámbrica es mucho más rápido y versátil que instalar una red cableada, no se tiene que tender el molesto cableado por las paredes, pisos y techos de la casa o la oficina permitiendo además una relativa movilidad sin tener que preocuparse por perder la comunicación. Es por estas y muchas más razones que las redes inalámbricas están posicionándose en el mercado y en las alternativas de la población para comunicarse. Por otro lado también poseen ciertas desventajas técnicas en algunos casos y económicas en otros, en forma general ofrecen menores velocidades de transmisión que van desde unos pocos Kbps hasta 100 Mbps, mientras que sus similares cableadas fácilmente alcanzan velocidades de 1 Gbps, 10 Gbps y aún más⁶. Por otro lado la infraestructura completa de una red inalámbrica incluyendo terminales de usuario, routers, firewalls, access points inalámbricos y demás dispositivos de red alcanzan precios ligeramente mayores que las soluciones cableadas; pero en muchos de los casos una red inalámbrica es la mejor solución. En la Figura No. 1.2 se esquematiza el avance de las comunicaciones inalámbricas desde sus inicios.

⁶ Cátedra Telemática Ing. Pablo Hidalgo; marzo 2008, páginas: 140 - 145

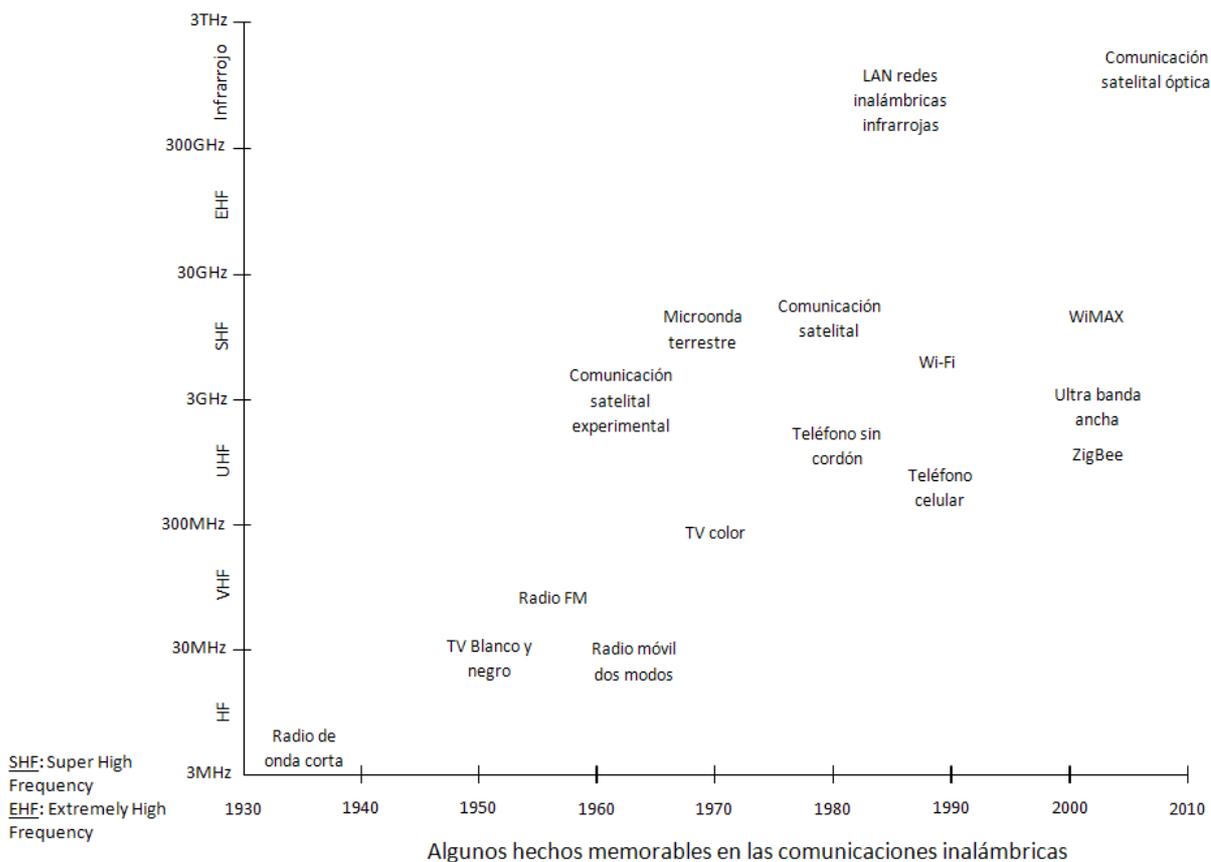


Figura No. 1.2 Evolución de las Comunicaciones Inalámbricas

Fuente: Material Cátedra Comunicaciones Inalámbricas

1.2.1.1 Espectro de radiofrecuencia

El espectro radioeléctrico es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía. En forma más simplificada y sencilla se puede definir al espectro radioeléctrico como toda la posibilidad de frecuencias de las que se puede disponer en el espacio, van desde frecuencias muy bajas alrededor de los Hertzios (Hz) hasta frecuencias extremadamente altas en el orden de los TeraHertzios⁷. En el artículo No. 44 de la constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se establece que los estados miembros tendrán en cuenta que las frecuencias y las órbitas asociadas, incluida la de los satélites geoestacionarios, son recursos naturales limitados que deben utilizarse de forma racional, eficaz y económica.

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>; Acceso 22 de Julio de 2009; 09h00

En nuestro país el organismo encargado de administrar, adjudicar, gestionar y monitorear el espectro de radiofrecuencias es la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL), que entre muchas actividades más, se encarga de:

- Observaciones auditivas y visuales de señales
- Mediciones de frecuencia
- Mediciones de intensidad de campo
- Mediciones de anchura de banda
- Registro de ocupación del espectro
- Verificación de parámetros administrativos asignados
- Radiogoniometría
- Eliminación de interferencias
- Cobertura de estaciones radioeléctricas
- Identificación de estaciones no autorizadas
- Otras mediciones técnicas a pedido

Es decir controlar y supervisar que el uso y manejo del espectro sea el más adecuado, libre de interferencias y respetando las regulaciones.

La frecuencia de la radiación está estrechamente relacionada con la longitud de onda de la misma; de manera particular es inversamente proporcional a la longitud de onda, es decir a mayor frecuencia la longitud de onda medida en metros será más pequeña y a menor frecuencia la medida de la longitud de onda será mucho más grande, la relación es:

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ }^8$$

donde c: velocidad de la luz 3×10^8 (m/s)

λ : longitud de onda (m)

Las longitudes de onda diferentes poseen propiedades diferentes. Las longitudes de onda largas pueden recorrer grandes distancias y atravesar obstáculos. Las

⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia>; Acceso: 12 de Febrero de 2009: 15h29

grandes longitudes de onda pueden rodear edificios o atravesar montañas, pero cuanto mayor sea la frecuencia (y por tanto, menor la longitud de onda), más fácilmente pueden detenerse las ondas. Cuando las frecuencias son lo suficientemente altas (hablamos de decenas de GigaHertzios), las ondas pueden ser detenidas por objetos como las hojas o las gotas de lluvia, provocando el fenómeno denominado “rain fade” o atenuación por lluvia. Para superar este fenómeno se necesita bastante más potencia, lo que implica transmisores más potentes o antenas más enfocadas.

La ventaja de las frecuencias elevadas (las bandas Ku y Ka) utilizadas en comunicaciones satelitales, es que permiten a los transmisores enviar más información por segundo⁹. Esto es debido a que la información se deposita generalmente en cierta parte de la onda: la cresta, el valle, el principio o el fin. El compromiso de las altas frecuencias es que pueden transportar más información, pero necesitan más potencia para evitar los bloqueos, mayores antenas y equipos más caros.



⁹ <http://www.monografias.com/trabajos15/comunicaciones/comunicaciones.shtml>; Acceso: 01 de abril 2009; 13h37



Figura No. 1.3 Espectro radioeléctrico

Fuente: www.upv.es

La figura 1.3 muestra de manera didáctica el espectro radioeléctrico. A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena. La radiofrecuencia se puede dividir en las siguientes bandas del espectro, como se muestra en la Tabla No. 1.1:

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100.000 km – 10.000 km

Super baja frecuencia Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10.000 km – 1000 km
Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	3	300–3000 Hz	1000 km – 100 km
Muy baja frecuencia Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100 km – 10 km
Baja frecuencia Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10 km – 1 km
Media frecuencia Medium frequency	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia High frequency	HF	7	3–30 MHz	100 m – 10 m
Muy alta frecuencia Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz	10 m – 1 m
Ultra alta frecuencia Ultra high frequency	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100 mm – 10 mm
Extra alta frecuencia Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10 mm – 1 mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

Tabla No. 1.1 Bandas de frecuencia

Fuente: es.wikipedia.org

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audiofrecuencia), que se encuentra entre 20 y 20000 Hz aproximadamente. Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

La propagación por el espacio de las ondas de radio frecuencia depende principalmente de la banda de frecuencia que se utilice, de esta manera la propagación se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Propagación por Onda Terrestre (ground wave)
- Propagación por Onda Espacial (sky wave)

- Propagación por línea de vista (line of sight, LOS)

Las frecuencias más bajas en el espectro de radiofrecuencia utilizan Propagación por Onda Terrestre hasta las más altas que utilizan LOS respectivamente. Esto se debe a que mientras a mayor frecuencia trabajen los transmisores el lóbulo de radiación se hace cada vez más directivo, más estrecho; mientras que a frecuencias más bajas el lóbulo de radiación es más ancho y abarca una cobertura mayor.

La Propagación por Onda Terrestre Se da hasta los 2 MHz, para describirla se puede mencionar que sigue más o menos la curvatura de la tierra y puede propagarse a grandes distancias, no importa los obstáculos, montañas, árboles, etc., un ejemplo típico de esta transmisión son las estaciones de radio que utilizan AM; esta transmisión no puede atravesar la atmósfera superior.

La Propagación por Onda Espacial por otro lado, se da en el rango de frecuencias que van desde 2 MHz hasta 30 MHz y es reflejada por la última capa de la atmósfera, la ionosfera, se transmite rebotando entre la tierra y esta capa alcanzando también grandes distancias; las transmisiones de radio aficionados se propagan de esta manera.

La propagación por LOS o línea de vista se produce en frecuencias sobre los 30 MHz, una transmisión satelital y las estaciones terrenas utilizan este tipo de propagación; para un diseño efectivo de propagación no sólo es necesario conseguir que las dos estaciones se puedan “ver” sino además realizar cálculos y considerar la Zona de Fresnel¹⁰, la atenuación entre otros factores.

En algunos tipos de transmisiones como enlaces microondas, por ejemplo, se requiere línea de vista ya que el lóbulo o haz de radiación al ser angosto se interfiere con obstáculos de mayores dimensiones que el mismo, tales como

¹⁰ <http://asterion.almadark.com/2008/11/30/las-zonas-fresnel-y-el-alcance-de-los-equipos-de-radio-frecuencia/>; Acceso: 23 de Abril de 2009; 13h18

árboles, edificios altos, picos de montañas, etc., lo que no sucede con la transmisión en rangos de frecuencias más bajas como la transmisión FM que usan las estaciones de radio. La investigación, las innovaciones tecnológicas, y ciertas características técnicas de la transmisión por espacio libre como multipath o multi camino, MIMO, entre otras, en el campo de los sistemas radiantes, han hecho posible hoy en día que se utilicen bandas de frecuencia altas, que no sea necesario línea de vista y que además los sistemas sean más eficientes, estables y de mayor capacidad, un ejemplo práctico es el nuevo estándar Wi-Fi IEEE 802.11n el cual toma en cuenta las propiedades técnicas antes mencionadas y aplica también el método MIMO (múltiple inputs, múltiple outputs).

1.2.1.2 Tipos de Redes Inalámbricas de datos¹¹

Como ya se mencionó anteriormente una primera y sencilla clasificación de las redes inalámbricas de datos puede ser realizada de acuerdo a su alcance, al respecto los tipos de redes se presentan a continuación y se ilustran en la Figura No. 1.4:

- BAN (Body Area Networks)
- WPAN (Wireless Personal Area Networks)
- WLAN (Wireless Local Area Networks)
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks)
- WRAN (Wireless Regional Area Networks)
- WWAN (Wireless Wide Area Networks)

¹¹ Cátedra de Comunicaciones Inalámbricas; Marzo 2008

Tipos de Redes Inalámbricas de Datos

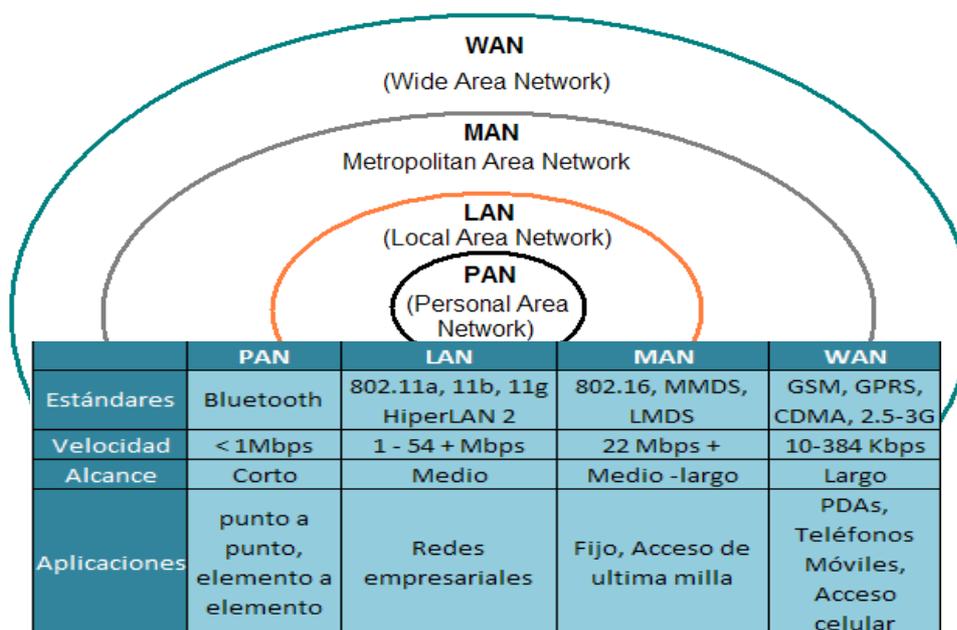


Figura No. 1.4 Tipos de redes inalámbricas

Fuente: Cátedra Comunicaciones Inalámbricas

BAN (Body Area Networks) Una de sus mayores aplicaciones es la medicina, lo que se pretende con este tipo de redes es ofrecer conectividad con alcances reducidos de unos cuantos centímetros máximo metros; este tipo de redes pueden ayudar a interconectar dispositivos como auriculares, monitores cardíacos, máquinas de insulina, medidores de presión arterial, etc. Por su corto alcance la potencia de transmisión es ínfima y por ello inocua para la salud. En dispositivos implantados en el cuerpo humano se ha definido la banda de frecuencia llamada MICS (Medical Implantable Communication Service) que va desde las frecuencias de 402 Mhz a 405 Mhz.

WPAN (Wireless Personal Area Networks) Con una cobertura inferior a 10 m, este tipo de redes se las utiliza para interconectar periféricos de entrada y salida de computadores, por ejemplo, Mouse, teclados, audífonos, micrófonos, etc., a esta clasificación corresponde la tecnología Bluetooth del estándar IEEE 802.15.

WLAN (Wireless Local Area Networks) Tienen un alcance de decenas de metros hasta cientos de metros como máximo, su objetivo es generar redes locales, es

decir cubrir entornos de uso particular por ejemplo un restaurante en particular, una o varias oficinas, las salas de espera de un aeropuerto, un cyber café, etc. Se puede mencionar algunas de las tecnologías clasificadas como WLAN: HomeRF, HiperLAN, OpenAir, entre otras. Estas redes son las que más desarrollo han tenido en la actualidad, su utilización se ha masificado y se han convertido en un método muy común para conectarse a una red de banda ancha y de acceso a Internet. Un ejemplo muy representativo de este segmento es el estándar Wi-Fi IEEE 802.11x el cual se describe más adelante.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) Con este tipo de redes se pretende cubrir áreas que abarquen una ciudad completa, varios pueblos, o una zona metropolitana de gran cobertura pero inferior a la cobertura de la telefonía celular. La investigación en este tipo de redes se ha desarrollado desde hace algún tiempo como las primeras tecnologías con cobertura WMAN se puede mencionar LMDS o Servicio de Distribución Local Multipunto, MMDS Servicio Multicanal de Distribución Multipunto. A esta clasificación también corresponde la tecnología en estudio WiMAX IEEE 802.16.

WRAN (Wireless Regional Area Networks) y *WWAN (Wireless Wide Area Networks)* Redes de datos con cobertura regional o área de cobertura extendida tienen la posibilidad de cubrir toda una región, país o inclusive un continente; se basan principalmente en la tecnología celular, esta a su vez evolucionó de las redes de transmisión de voz, y actualmente las innovaciones hacen posible la transmisión de datos a altas velocidades, por ejemplo GPRS, o 3G.

1.2.2 TELEFONÍA CELULAR

O también llamada telefonía móvil, ha tenido un repunte asombroso en los últimos años, las redes de telefonía celular se las pueden clasificar como redes de comunicación global o de área extendida ya que su área de cobertura no solo se limita al territorio nacional de un país sino que inclusive es viable, técnicamente, abarcar coberturas que sobrepasen las fronteras internacionales cubriendo con facilidad partes de continentes, continentes enteros e inclusive toda el área poblada del planeta; esto es posible gracias a que esta tecnología integra algunas

características técnicas que hacen de este tipo de comunicación inalámbrica una de las más avanzadas; el roaming internacional hace posible que un usuario de telefonía celular pueda seguir comunicándose con su mismo teléfono móvil aún cuando haya salido de la cobertura de su país y se encuentre en otro; siendo este procedimiento transparente para el usuario; el único requisito previo es el acuerdo entre las operadoras celulares en los diferentes países para que este servicio esté disponible.

La telefonía móvil o comunicación celular toma ese nombre ya que técnicamente el área de cobertura esta determinada por varias “células” o celdas idealmente de forma hexagonal en cuyo centro se encuentra una torre de transmisión celular, juntas estas celdas conforman el territorio dentro del cual se tiene cobertura celular; la movilidad es posible gracias a que el cambio o movimiento de un usuario entre celda y celda no supone la caída de la comunicación gracias a proceso denominado hand off, que de igual manera es transparente e imperceptible para el usuario. Las redes de comunicación celular tuvieron su inicio con la transmisión de voz, siendo esta hoy en día solo uno de los tantos servicios que ofrece esta tecnología; gracias al adelanto vertiginoso que ha tenido la ciencia y tecnología en el campo de las telecomunicaciones es que hoy por hoy se pueden hablar de varias generaciones dentro de la telefonía móvil.

Se define como una generación de telefonía celular a un grupo de tecnologías y servicios que de acuerdo a sus prestaciones brindan valor agregado a las comunicaciones de los usuarios; en este contexto, en la primera generación se definía a los servicios de comunicación de voz como la principal característica de esta naciente tecnología mientras que generaciones actuales como 3G o 3.5G ofrecen a más de los servicios de voz altamente mejorados, la posibilidad de transmitir datos y navegación de Internet de alta velocidad, y con el beneficio de la movilidad¹².

¹² <http://www.yucatan.com.mx/especiales/celular/3g.asp>; Acceso: 29 de noviembre de 2008; 12h00

1.2.3 COMUNICACIONES SATELITALES

Otro tipo de comunicación inalámbrica y que es utilizada ya hace varias décadas es la transmisión vía satélite. El principio de este tipo de comunicación es muy básico, desde los primeros intentos para transmitir a grandes distancias utilizando a la Luna como satélite natural, usando esta como un espejo para reflejar las transmisiones de vuelta a otro punto de la tierra, se ha tenido grandes desarrollos y este potencial ha sido explotado considerablemente. El Sputnik I el primer satélite puesto en órbita por la ex Unión Soviética marcó el inicio de una era de comunicaciones satelitales de alto potencial y que comprenden un gran porcentaje de las comunicaciones mundiales en la actualidad.

En forma resumida los satélites se clasifican principalmente por su ubicación y distancia respecto a la tierra; de este modo existen tres tipos principales: Satélites LEO o de muy baja altura, por sus siglas en inglés; Satélites MEO o de mediana altitud; y Satélites GEO o geoestacionarios ya que al ser los de órbita más lejana a la tierra 46000 Km aproximadamente se mantienen en órbitas geoestacionarias es decir en referencia a un punto fijo en la tierra parecen estar quietos; estos a su vez poseen un footprint, huella del satélite, sombra o cobertura muy extensa capaces de cubrir todo el planeta con solo tres satélites en órbita.

En cuanto a las características técnicas y funcionales en las comunicaciones satelitales se puede mencionar, entre otras las siguientes: Las bandas de frecuencias que se utilizan con mayor regularidad son las bandas K, Ku, C en el orden de los GigaHertzios que van desde 2.5Ghz hasta 22Ghz; generalmente la frecuencia del enlace de subida o uplink es mayor a la frecuencia del enlace de bajada o downlink, característica particular para evitar interferencias en la transmisión y comunicación. Los satélites actuales están constituidos por una serie de elementos electrónicos, mecánicos y funcionales que hacen de ellos dispositivos complejos y de costo elevado; entre ellos se puede mencionar unidades de procesamiento de información a bordo, arreglos de antenas, transpondedores, unidades de energía, control de posición, etc.

Muchos servicios de telecomunicaciones son ofrecidos hoy en día a través del gran número de satélites que se encuentran orbitando nuestro planeta; desde la tan difundida televisión satelital “broadcast”, servicios de acceso a Internet satelital, telefonía satelital, transmisión de datos, enlaces, fotografías satelitales, monitoreo del clima, estaciones VSAT, hasta comunicaciones militares y de entidades gubernamentales se las hace a través de los satélites. Las órbitas geoestacionarias son un recurso limitado al igual que el espectro de radiofrecuencia, por lo que son controlados por entidades de supervisión y control en los diferentes países; actualmente las órbitas satelitales y en especial la geoestacionaria están casi copadas, haciendo del uso de los satélites una tecnología bastante costosa y muy limitada¹³.

1.2.4 BLUETOOTH (802.15.1)

Una de las tecnologías más difundidas y utilizadas en los últimos años, y que por sus prestaciones y características técnicas ha sido de gran aceptación; está normalizada y corresponde al estándar IEEE 802.15.1. Se aplica en redes de área personal o WPAN, su alcance se limita a 10 m, no fue diseñada para interconectar computadores en una red y con características LAN sino por el contrario para lograr la comunicación de los periféricos con el PC y entre ellos. Desarrollado inicialmente por un grupo de fabricantes vanguardistas de tecnología electrónica: Ericsson, Nokia, Intel, IBM y Toshiba.

Como método de transmisión y acceso utiliza FHSS, espectro expandido por salto de frecuencia y funciona en la banda de 2.4Ghz y con una velocidad de transmisión simétrica de 432.6 Kbps puede transmitir tanto voz como datos. Esta versatilidad en la comunicación ha hecho de que hoy en día la mayoría de dispositivos electrónicos en el mercado ya sean de entretenimiento o de trabajo, integren este estándar tecnológico.

Por otro lado existe también una versión mejorada del estándar Bluetooth denominada la versión 2.0 + EDR (*Enhanced Data Rate*) o tecnología de

¹³ Cátedra de Comunicaciones Inalámbricas; Marzo 2008

transmisión de datos mejorada, que ofrece velocidades de transmisión de hasta 3Mbps¹⁴

1.2.5 ZIGBEE (802.15.4)

Normalizado con el estándar de la IEEE 802.15.4, es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para alcances y velocidades menores; utilizando insumos de muy bajo costo, que consuman muy poca potencia. Su aplicación más generalizada es para interconectar una amplia red de sensores, que en conjunto cubrirán una gran zona de cobertura. Estos dispositivos pueden estar distribuidos en oficinas, fábricas, plantaciones, zonas en estudio como la antártica, etc. Esta red de sensores al final se conecta con una PC para recolectar todos estos datos y transmitirlos mediante otra tecnología como por ejemplo WiFi, WiMAX, Ethernet. Las velocidades de transmisión oscilan entre 10 Kbps y 115 Kbps¹⁵.

1.2.6 HOMERF

En el año de 1998 se creó el grupo Home RF o radiofrecuencia para el hogar, destinado a desarrollar una tecnología para interconectar redes en el hogar, brindar comunicación a los diferentes aparatos para el hogar. La versión 1.0 utiliza la banda de frecuencias de 2.4GHz permite tasas de transmisión de 1.6 Mbps, con alcances de 50m. La versión 2.0 alcanza los 10 Mbps, mientras que la versión 3.0 tienen velocidades de transmisión de 40 Mbps y se piensa llegar a los 100 Mbps¹⁶.

1.2.7 HIPERLAN

Tecnología de transmisión inalámbrica desarrollada y utilizada en Europa; desarrollada por el Instituto europeo de normalización de telecomunicaciones en el afán de conseguir un estándar para la transmisión de datos mediante redes inalámbricas de área local. Se clasifican en dos versiones HiperLan/1 con

¹⁴ <http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>; Acceso: 2 de diciembre de 2008: 11h23

¹⁵ Cátedra de Comunicaciones Inalámbricas; Marzo 2008

¹⁶ Cátedra de Comunicaciones Inalámbricas; Marzo 2008

velocidades de transmisión de hasta 24 Mbps utilizando la banda de frecuencia de 5 GHz. HiperLan/2 con velocidades de transmisión de 54 Mbps utilizando OFDM ofreciendo accesos inalámbricos a redes ATM, redes celulares de 3G, Firewire IEEE 1394, Redes IP, etc¹⁷.

1.2.8 WI-FI (802.11)

Corresponde a redes WLAN que comprenden un alcance de hasta unos 150 metros; es un estándar muy difundido y utilizado en la actualidad por sus prestaciones técnicas, su versatilidad, facilidad de instalación y bajo costo; las redes Wi-Fi en la actualidad han complementado a redes cableadas como puertos XDSL, ADSL, etc. La evolución de este estándar ha sido muy destacada, y existen diversas clasificaciones del estándar original cada una con sus propias características técnicas; así tenemos IEEE 802.11^a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g que pueden trabajar a velocidades de 1 Mbps como mínimo, 5 Mbps, 11 Mbps, 22 Mbps y hasta 54 Mbps velocidades autoconfigurables dependiendo de la calidad del enlace; en la actualidad ya se habla de un estándar IEEE 802.11n que utiliza las potencialidades de técnicas como el acceso MIMO que permiten alcanzar velocidades mayores de 100 Mbps con mayores alcances y mayor estabilidad en el enlace¹⁸.

1.2.9 OTRAS TECNOLOGÍAS

Como ya se había mencionado con anterioridad existe una evolución sorprendente de las comunicaciones inalámbricas, sus tipos y clasificaciones son muy variadas; desde un simple transmisor de RF para controlar un juguete hasta tecnologías altamente desarrolladas como WiFi, GSM, WiMAX, GPRS, UMTS, entre otras, se basan en la comunicación sin cables. Entre otras tecnologías novedosas, en desarrollo e investigación se puede mencionar: HPA o plataformas de gran altitud, se podría llamarles como pseudo – satélites ya que estas plataformas de comunicación se las coloca a 20 – 22 km sobre la Tierra pero aún no alcanzan las órbitas de los satélites LEO.

¹⁷ Cátedra de Comunicaciones Inalámbricas; Marzo 2008

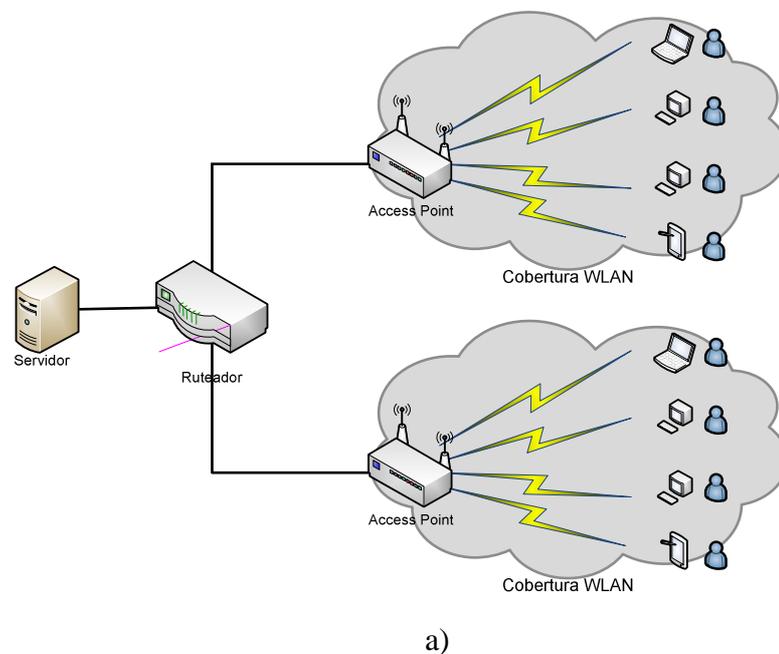
¹⁸ Cátedra de Comunicaciones Inalámbricas; Marzo 2008

SDR o software de radio, esta tecnología permite que un solo dispositivo de radio pueda ser utilizado para múltiples propósitos, pueda ser reconfigurado automáticamente, pueda funcionar en múltiples bandas, con múltiples protocolos de comunicación, etc.

1.2.10 WIMAX (WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS)

WiMAX es el acrónimo de “Worldwide Interoperability for Microwave Access”. Debido a que la tecnología WiMAX se basa en estándares del sector, posibilita economías de escala, implementaciones de redes a menor costo, interoperabilidad y compatibilidad de equipos.

Éste es un sistema efectivo para el acceso en zonas metropolitanas. El área de cobertura de WiMAX es de alrededor de 30 a 50 kilómetros, el cual supera la cobertura existente en redes inalámbricas de banda ancha presentes actualmente como se muestra en la Figura No. 1.5. Ésta tecnología provee velocidades de 100Mbps en una frecuencia de 20MHz. El estándar internacional conocido para WIMAX es el IEEE 802.16e.



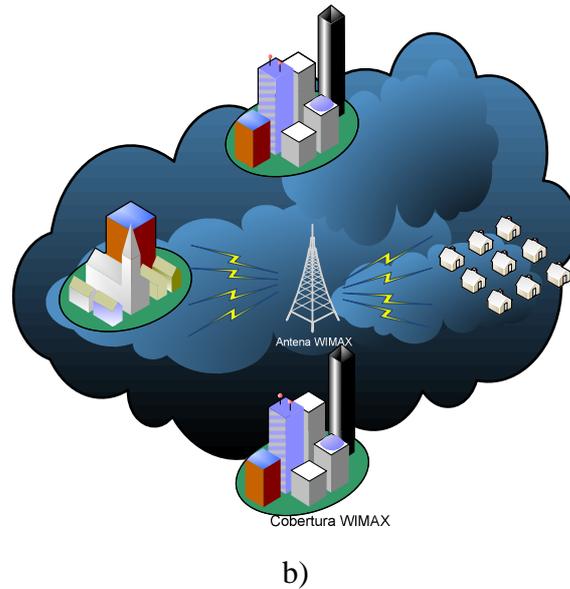


Figura No. 1.5 Cobertura de a) redes WLAN y b) redes WIMAX

Fuente: Autores

De acuerdo a las diversas portadoras de frecuencia, tres diferentes tipos de tecnologías de capas son definidas por 802.16d: Portadora simple (SC), Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM), Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA). La modulación SC es principalmente aplicada en sistemas de Acceso Inalámbrico Fijo (FWA) de 10 a 66GHz, mientras que OFDMA es usada en sistemas FWA de 2 a 11GHz.

El estándar 802.16e se orienta al soporte de movilidad de terminales, y actualmente apunta a usuarios con una velocidad de 120km/h. Con el incremento de la velocidad de los dispositivos móviles, el rendimiento del sistema puede verse degradado debido al cambio de posición del punto en el retorno de la frecuencia de envío de la señal. La tasa de bits usado en el estándar 802.16e es 70Mbit/s, cuando el ancho de banda de la portadora es igual a 20MHz se adopta una modulación 64QAM, tal tasa de bits puede ser alcanzada, pero comparándola con la modulación QPSK presenta una menor cobertura. Para sistemas con el estándar 802.16e, existe siempre el compromiso entre velocidad del terminal, tasa de bits y cobertura¹⁹.

¹⁹ <http://whitepapers.zdnet.com/abstract.aspx?docid=966663>; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h15

OFDM y OFDMA son el centro de la capa física de la técnica del estándar 802.16d, y son las llaves para el desarrollo de la tecnología 3G. OFDM es una tecnología de modulación multi-portadora y ha sido aplicada en ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) y WLAN. Avances han sido centrados sobre la aplicación OFDM en comunicaciones móviles. OFDM es conocido por su eficiencia en altas frecuencias y por su capacidad para resistir muchas trayectorias.

OFDMA es un esquema OFDM de múltiple acceso usado en uplink. A cada usuario le es asignado diferentes sub-portadoras y de esa manera son distinguidos por sub-portadoras ortogonales. OFDMA permite a un simple usuario transmitir una parte o el total de sub-portadoras para reducir los requerimientos de potencia de transmisión.

WiMAX, como un esquema de acceso WMAN, adopta muchos avances tecnológicos para hacer frente con ambas condiciones de transmisión: NLOS (None Line Of Sight) y OLOS (Obstruct Line Of Sight). WiMAX puede ser la conexión para divisar usuarios en WLAN e Internet, y puede también ser expandida al método de acceso inalámbrico por Enterprise T1, xDSL y Cable Modem. Éste puede ser un sustituto del acceso a ancho de banda cableado.

De manera resumida, WiMAX resuelve los problemas de “acceso a última milla”. Las características de la capa física del estándar 802.16e en resumen se presentan en la Tabla No. 1.2:

	802.16	802.16 / HiperLan	802.16d	802.16e
Puesta en conocimiento	2001.12	2003.1 (802.16 ^a)	2004.7	2005
Cobertura	Sobre los 8Km	Sobre los 50Km	Sobre los 40Km	1-5Km
Ambiente	LOS	LOS	NLOS	NLOS
Frecuencia	10-66 GHz	2-11GHz	2-66GHz	2-6GHz

	Licenciada	(No) Licenciada	(No) Licenciada	(No) Licenciada
Aplicación	FBWA	FBWA	FBWA	FBWA + movilidad
Ancho de Banda	Actualizable	Actualizable	Actualizable	Actualizable
	1.5-20MHz	1.5-20MHz	1.5-20MHz	1.5-5MHz (sub- portadora)
Modulación	QPSK, 16QAM	OFDM,QPSK	OFDM,QPSK	OFDM,QPSK
	64QAM	16QAM,64QAM	16QAM,64QAM	16QAM,64QAM
Uso del espectro	<4.8BPS/Hz	3.75BPS/Hz	3.75BPS/Hz	3bps/Hz
Tasa de bits	<134Mbps	<75Mbps	<75Mbps	15Mbps
	(20MHz Canal)	(20MHz Canal)	(20MHz Canal)	(5MHz Canal)

Tabla No. 1.2 IEEE 802.16 series

Fuente: The Competition and Cooperation of WiMAX, WLAN and 3G²⁰

1.3 ESTÁNDAR IEEE 802-16²¹

1.3.1 BANDAS DE FRECUENCIA

El uso de esta aplicación depende del espectro de frecuencia a ser usado. Las bandas primarias de nuestro interés son las siguientes:

1.3.1.1 Bandas licenciadas 10–66 GHz

Las bandas de 10-66 GHz proveen un ambiente físico donde, debido a la corta longitud de onda, se necesita de línea de vista (LOS) y la interferencia es despreciable. En las bandas 10-66 GHz, el ancho de banda típico de los canales están dentro de los 25MHz a 28MHz. Con tasas de datos que normalmente exceden los 120 Mb/s, ésta condición es recomendada en enlaces punto multi punto PMP.

²⁰ <http://whitepapers.zdnet.com/abstract.aspx?docid=966663>; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h15

²¹ www.ieee802.org/16/pubs/80216e.html; Acceso: 23 de enero de 2009; 13h00

La interface aire con modulación con portadora simple especificada en este punto por 10-66 GHz ha llegado a ser conocida como interface aire “WirelessMAN-SC®”.

1.3.1.2 Frecuencias bajo los 11 GHz

Frecuencias bajo los 11 GHz provee un ambiente físico donde, debido a una mayor longitud de onda, la línea de vista LOS no es necesaria y la interferencia puede ser significativa. La habilidad para soportar escenarios con línea de vista cercana o sin línea de vista requiere funcionalidad física PHY adicional, así como el soporte de avanzadas técnicas de control de energía, atenuación por interferencia y arreglo de antenas múltiples (repetidoras).

Características adicionales MAC tal como topología malla y repetición automática de respuesta (Automatic Repeat Request ARQ) son introducidas en este grupo.

1.3.1.3 Frecuencias bajas sin licencia 11 GHz (principalmente 5–6 GHz)

El ambiente físico para frecuencias bajas sin licencia 11 GHz es similar a lo expuesto en el punto anterior. Sin embargo, las frecuencias sin licencia introducen también interferencia adicional, así como las regulaciones de cada país imponen límites sobre el permiso para la radiación.

1.3.2 MODELO DE REFERENCIA

La Figura No. 1.6 ilustra el modelo de referencia y señala el alcance de éste estándar.

La MAC abarca tres subcapas. La Subcapa de Servicio Específico de Convergencia (Service-Specific Convergence Sublayer CS) que provee alguna transformación o mapeo de datos de la red externa, recibido a través del servicio CS de puntos de acceso (SAP), dentro de las Unidades de Servicio de Datos (MAC SDUs) recibidos por la Subcapa MAC de Parte Común (MAC Common Part Sublayer CPS) a través de la MAC SAP. Esto incluye clasificación externa de redes de unidades de servicio de datos (SDUs) y asociación de éstos para la

adecuación de servicios MAC de identificación de flujo (SFID) e identificador de conexión (CID). Esto principalmente incluye funciones como supresión de encabezado de carga útil (PHS). Especificaciones de Múltiple CS son provistas por interfaces con varios protocolos. Los formatos internos de la carga útil de CS son únicamente para CS, y la MAC CPS no es necesaria para entender el formato de o parte de alguna información entregada por la carga útil de CS.

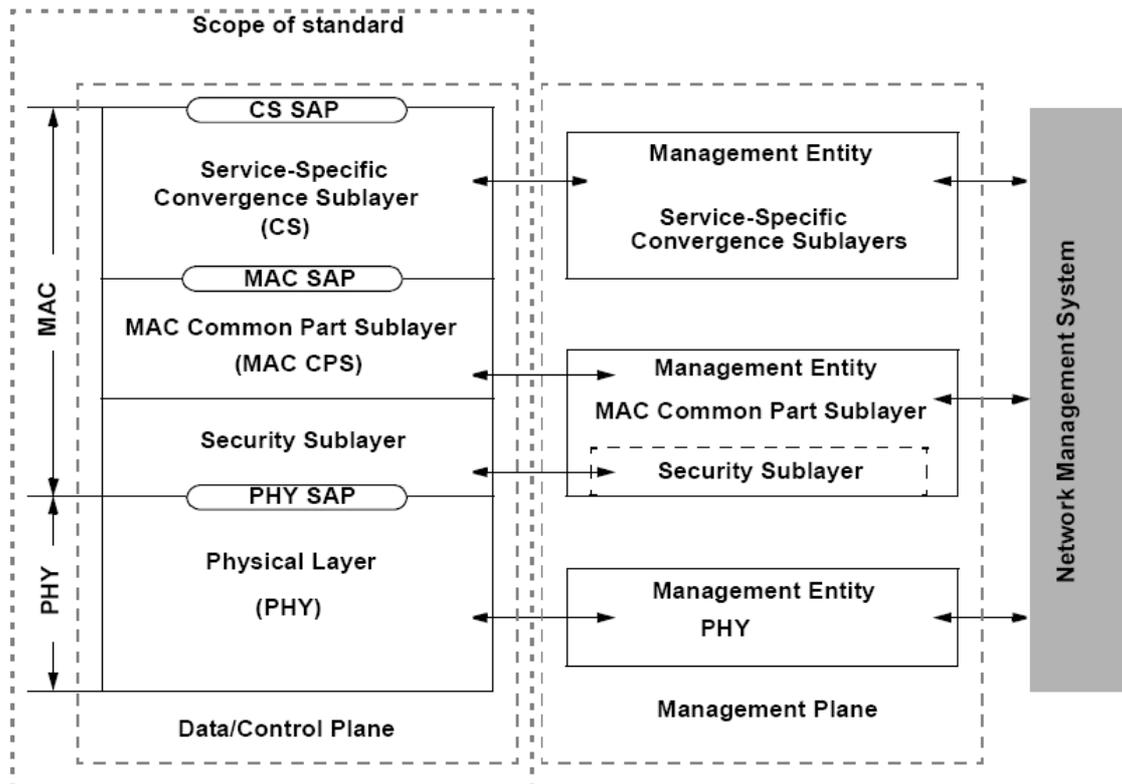


Figura No. 1.6 IEEE Std 802.16 protocolo de capas, exposición de SAPs

Fuente: Estándar IEE 802.16-14²²

La MAC CPS provee el centro de funcionalidad MAC de acceso a sistemas, asignación de ancho de banda, establecimiento de conexión y mantenimiento de conexión. Ésta recibe datos desde varios CSs, a través de AC SAP, clasificado para conexiones particulares de MAC.

La MAC también contiene una subcapa separada de seguridad que provee autenticación, cambio de clave segura y encriptación.

²² standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

Datos, control de PHY, y estadísticas son transferidas entre las MAC CPS y la PHY a través de PHY SAP.

1.3.3 Calidad de Servicio (QoS)²³

La capa MAC es la responsable de la diferencia entre los diversos niveles de QoS requeridos por las aplicaciones (servicios multimedia, VoIP, streaming de video, entre otras) que pueden correr bajo la norma 802.16, estableciendo las 4 diferentes clases de servicio ya mencionadas.

El establecimiento de la calidad de servicio (QoS) bajo la norma 802.16 se hace basado en el CID, tanto para modo PMP como para modo Mesh. Un aspecto importante respecto al tema de la QoS es el modelo de petición - concesión de ancho de banda, que ayuda para que unos usuarios no se interfieran con los demás, ya que la BS reserva un slot para contención, durante el cual una SS realiza una petición de un slot para el uplink, y luego la BS evalúa el nivel de servicio adquirido por ese usuario y le asigna un slot para que éste transmita la información.

Otro ítem que vale la pena resaltar es el del manejo de la tasa de transmisión de datos (data- rate) individualmente para cada enlace, lo que permite al sistema utilizar una modulación diferente dependiendo de si el usuario está lejos o cerca de la BS permitiendo así optimizar la velocidad de transmisión que pueda experimentar el suscriptor.

1.3.3.1 Modo Mesh

En la operación en modo enmallado no se definen clases de servicio, sino que dentro del mismo paquete de una conexión unicast se definen los parámetros de QoS asociados a dicho paquete, los cuales dependen del CID que él mismo lleva.

²³ <http://infowimax.blogspot.com/2008/04/arquitectura-wimax.html>; Acceso: 23 de Julio de 2009: 11h00

1.3.3.2 Modo PMP

Los modelos de red en las topologías de red punto-multipunto se hacen considerando la demanda de ancho de banda y la clase de aplicación que estén ejecutando las SS, ya que algunas de éstas permiten ciertas características que otras no, como por ejemplo los retardos en la transferencia de los paquetes. Además también se tiene en cuenta que los usuarios no demandan tanto ancho de banda de subida como de bajada ni todos se conectan al mismo tiempo.

Cuando culmina el registro de la SS en la red, el sistema descarga desde la base de datos del flujo de servicio los parámetros que tiene asignada esa SS y mediante ellos caracteriza su conexión definiendo un nivel de QoS que puede ser Oro, Plata o Bronce y según éste se aplican ciertas reglas a la conexión. De esta manera, a cada usuario se le presta un servicio que se puede llamar personalizado, puesto que los parámetros que rigen el comportamiento de su conexión se designan sólo a él y no a un grupo.

1.3.4 ARQUITECTURA (TOPOLOGÍA PUNTO-MULTIPUNTO Y DE MALLA)

1.3.4.1 Redes Punto-Multipunto (PMP):

Para esta topología de red, el downlink se maneja mediante una estación base (BS) centralizada y una antena sectorizada que es capaz de manejar varias zonas simultáneamente. Dentro de un canal de frecuencia y un sector de antenas dado, sólo existe una BS transmitiendo, de manera que no se tiene que coordinar con las demás BS, excepto en la multiplexación de tiempo. El downlink es generalmente de tipo broadcast y el uplink se maneja bajo demanda dependiendo de la clase de servicio, como se muestra en la Figura No. 1.7.

Para propósitos de relacionar los servicios a las SS y asociarlos a los diferentes niveles de calidad de servicio (QoS), todas las comunicaciones de datos están en el contexto de una conexión. El flujo de servicio debe ser suministrado en el momento en el que la SS se instala en el sistema y justo después de que se registra; las conexiones se deben asociar a ese flujo de servicio para tener una

referencia al hacer las peticiones de ancho de banda. El flujo de servicio define los parámetros de QoS de los packet data units (PDU) que se intercambian durante la conexión.

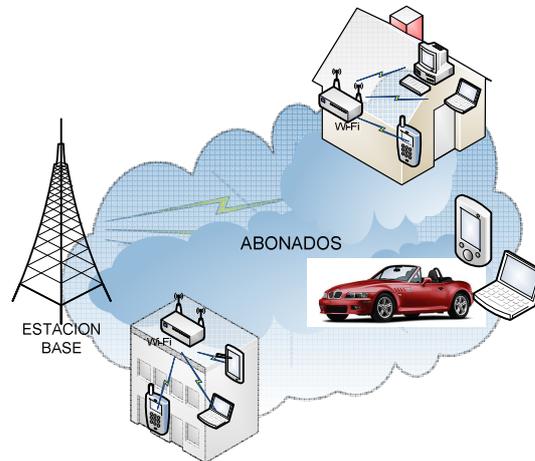


Figura No. 1.7 Topología PMP

1.3.4.2 Redes Enmalladas (Mesh)

Las redes enmalladas son aquellas en las que la comunicación se puede hacer entre los diferentes nodos y no sólo entre nodo y estación base, la Figura No. 1.8 muestra este tipo de topologías.

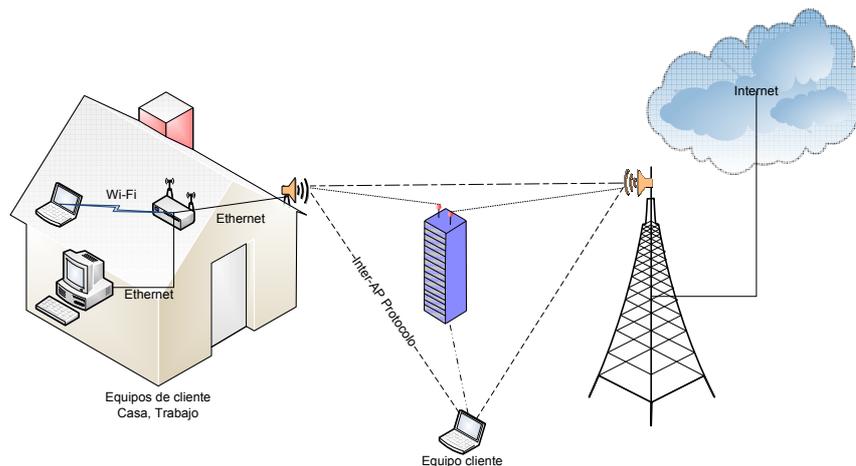


Figura No. 1.8 Topología Malla

Fuente: Autores

Para este tipo de redes, se pueden realizar las operaciones de dos maneras diferentes: distribuida ó centralizada: Para la distribuida, todos los nodos deben coordinar con los demás la manera de transmitir para evitar colisiones con los datos y realizar el control de tráfico, y además deben enviar por difusión (broadcast) su respectivo estado (recursos disponibles, peticiones y concesiones) a todos sus vecinos; para la centralizada, los recursos se asignan de una manera más concentrada, ya que la estación base Mesh, recopila varias peticiones de un determinado sector y otorga los respectivos recursos para cada enlace, tanto para el downlink como para el uplink, al mismo tiempo que comunica estas decisiones a las demás estaciones del sector.

1.3.5 SUBCAPA DE SEGURIDAD

La seguridad provee usuarios con privacidad, autenticación o confidencialidad a través de redes inalámbricas de ejes de distancia de frecuencias ancha. Se presenta esto con la aplicación de encriptación de las conexiones entre estaciones de usuarios y estaciones base.

Adicionalmente la subcapa de seguridad provee operaciones con fuertes protecciones anti robo del servicio. La subcapa de seguridad emplea una autenticación servidor / cliente con protocolo de control de acceso.

1.3.5.1 Arquitectura

La seguridad tiene dos componentes del protocolo indicados en la Figura No. 1.9 como se muestra a continuación:

- A) Un protocolo de encapsulación para paquetes de datos de seguridad a través de redes de acceso de ancho de banda. Este protocolo define (1) un conjunto de estados con soporte criptográficos y (2) las reglas para la aplicación de estos algoritmos.
- B) Un protocolo de control de clave que provee distribución de seguridad desde la estación base hasta la estación de usuario.

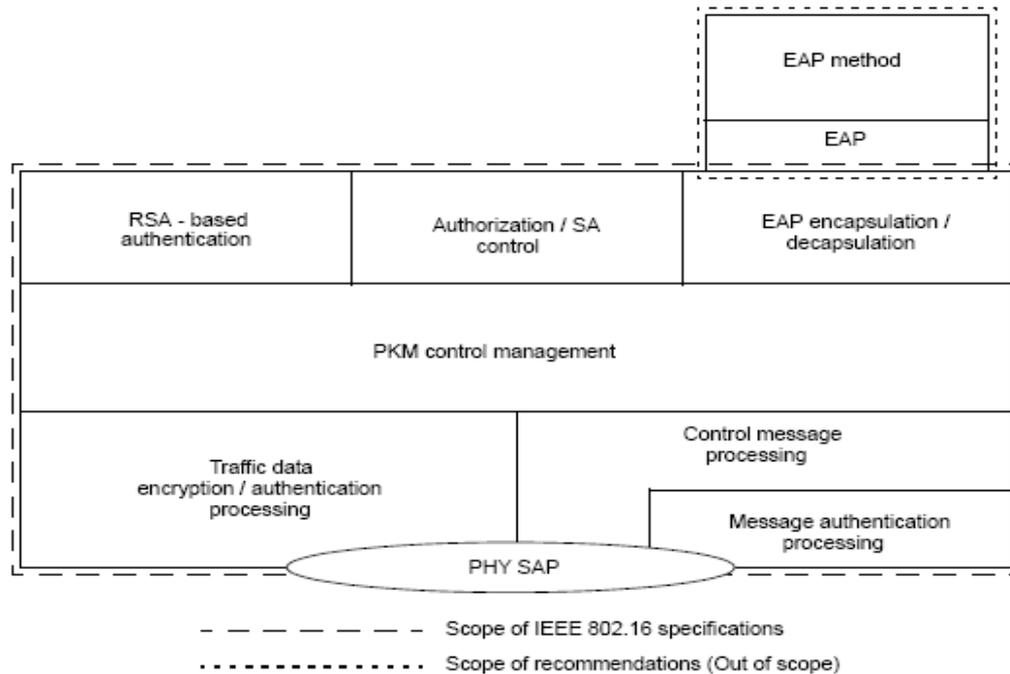


Figura No. 1.9 Subcapa de seguridad

Fuente: Estándar IEEE 802.16-14²⁴

1.3.6 CAPA FÍSICA (PHY)

Para esta capa se han definido cinco especificaciones diferentes, para satisfacer las necesidades de las diferentes aplicaciones específicas²⁵:

- WirelessMAN-SC PHY
- WirelessMAN-SCa PHY
- WirelessMAN-OFDM PHY
- WirelessMAN-OFDMa PHY
- WirelessHUMAN PHY

1.3.6.1 WirelessMAN-SC PHY

Está diseñada para bandas de frecuencia entre 10GHz y 66GHz con multiplexación tipo TDD o FDD, en canales de frecuencia que pueden estar entre 20MHz y 28MHz, y los anchos de banda para la transmisión están entre 32Mbps y 134.4Mbps; estos valores varían dependiendo de la técnica de modulación utilizada, la cual puede ser QPSK, 16-QAM ó 64-QAM.

²⁴ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

²⁵ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

1.3.6.2 WirelessMAN-Sca PHY

Está basada en una tecnología de una sola portadora para aplicación NLOS en las bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Para las bandas que requieren licencia, el ancho de banda del canal debe ser igual al ancho de banda asignado por el ente regulador dividido entre una potencia de dos ($2n$) sin llegar a ser menor a 1.25MHz. Debe soportar bien sea TDD o FDD para el uso del espectro y las modulaciones que implementa son: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM.

1.3.6.3 WirelessMAN-OFDM PHY

Está basado en la modulación OFDM para ambientes NLOS y en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Su origen se presenta principalmente para cubrir necesidades de servicios de accesos fijos como en residencias y empresas. Los símbolos OFDM están conformados por cierto número de subportadoras, el cual depende de la FFT (Fast Fourier Transform) que se aplique (en este caso 256). Las modulaciones que se usan son: BPSK, QPSK, 16- QAM Y 64-QAM (opcional en bandas no licenciadas).

1.3.6.4 WirelessMAN-OFDMA PHY

Esta especificación está diseñada para enlaces NLOS en bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz, con canales para bandas licenciadas de ancho igual al ancho de banda asignado por el ente regulador al operador dividido entre alguna potencia de dos ($2x$) sin ser menor a 1.0MHz utilizando modulaciones QPSK, 16-QAM ó 64-QAM

1.3.6.5 WirelessHUMAN PHY

Diseñada para canales frecuencia de 10MHz y 20MHz, espaciados 5MHz entre sí, en la banda de frecuencia de 5GHz a 6GHz (EEUU y Europa).

CAPÍTULO 2

SITUACIÓN ACTUAL, FUTURA Y DESCRIPCIÓN DE LAS APLICACIONES DE WIMAX

En este capítulo se definen las aplicaciones que pueden correr sobre esta plataforma; los potenciales de WiMAX en servicios de telecomunicaciones su desarrollo en el presente y su implicación en el futuro. En cuanto a los aspectos técnicos, también se definen las características de transmisión, las técnicas de modulación utilizada, los tipos de servicios soportados, las técnicas de acceso al medio, entre otros. Se presenta también las especificaciones particulares de los equipos y empresas en el mercado, tales que se adapten a los requerimientos necesarios para el diseño particular de la red en estudio. También se presenta un estudio de la situación de la red a nivel nacional, actualmente instalada por la CNT S.A. y de manera específica un esquema general de la red edificada en el área de estudio. Se describe brevemente otras tecnologías de conectividad y acceso a Internet usadas mayoritariamente por la empresa, de manera específica la tecnología XDSL.

2.1 ¿QUÉ ES WIMAX?

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es el nombre por el que se conoce al nuevo estándar tecnológico 802.16 de comunicaciones inalámbricas de acceso en banda ancha²⁶. El nuevo estándar inalámbrico IEEE 802.16-2004 fue aprobado por el *WiMAX Forum*²⁷ a mediados del año 2004 y en la actualidad se encuentra en fase de adopción y definición comercial.

²⁶ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

²⁷ WiMAX Forum es una asociación que reúne a fabricantes y compañías del sector de las TIC con el objetivo de promocionar la adopción del estándar 802.16 y desarrollar la interoperabilidad entre los diferentes equipos.

WiMAX es un sistema de conectividad en banda ancha con acceso inalámbrico. Se presenta como alternativa y/o extensión a otras tecnologías de banda ancha (ADSL, Cable Modem, o satélite).

Ofrece servicios a empresas y usuarios particulares de Acceso a Internet, telefonía y conectividad con grandes anchos de banda (hasta 70 Mbps)²⁸ y con calidades de servicio garantizadas. Ayuda a reducir los costes del despliegue de nuevas redes de banda ancha y simplifica el acceso al cliente final (“última milla”) gracias a la amplia cobertura que proporciona (hasta 50 km. desde la estación base).

WiMAX se ha establecido como la solución ideal para el despliegue rápido de redes de telecomunicación en áreas sin cobertura de banda ancha; tal es el caso de la zona en estudio para la cual se propone el presente diseño; como se presenta en la figura No. 2.1.

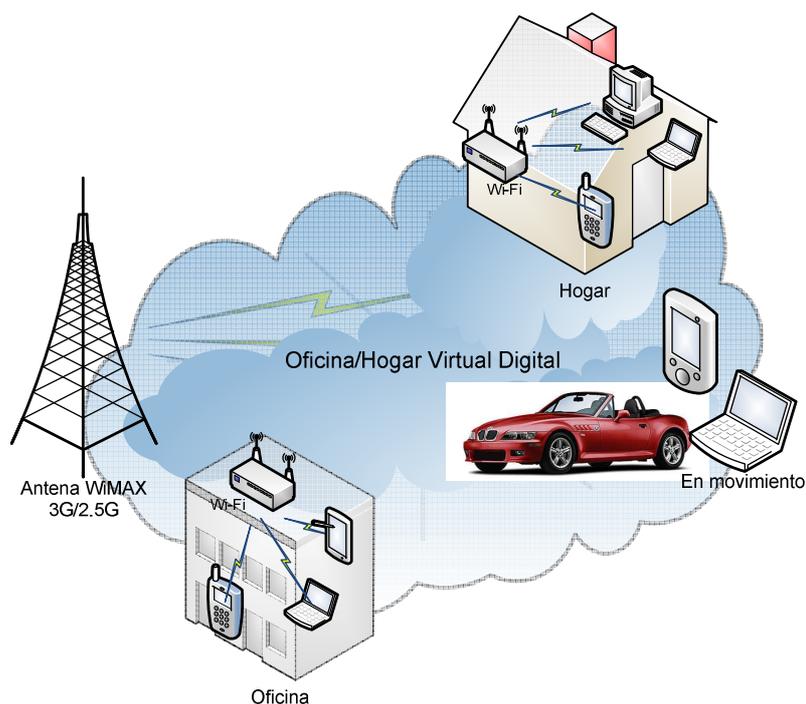


Figura No. 2.1 Equipos WiMAX + WiFi + 3G/2.5G interactúan en el entorno de las comunicaciones inalámbricas.

Fuente: autores

²⁸ <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/05/07/catalejo/1210185120.html>, Acceso 11 de noviembre de 2009

2.1.1 SERVICIOS Y PRESTACIONES DE WIMAX

La tecnología WiMAX presenta entre otros servicios y aplicaciones los mencionados a continuación²⁹:

- Acceso a Internet de Alta Velocidad
- Voz (VoIP)
- Transmisión de Datos (VPN IP, Línea Dedicada)
- *Backhaul* de conectividad a Internet para redes WiFi / GSM / GPRS / UMTS

Es importante mencionar que parte fundamental para la prestación de los servicios indicados anteriormente se da por los atributos que esta tecnología tiene para su puesta en marcha, cabe acotar que con los nuevos avances en el desarrollo de esta técnica en comunicación se presentan ciertas ventajas que en relación a otros sistemas permite la elección de ésta, entre las cuales se puede citar:

- Gran Ancho de Banda: hasta 70 Mbps por usuario y hasta 420 Mbps por estación base.
- Rápido despliegue (hasta 50 Km de cobertura terminales fijos).
- Fácil instalación (se puede ejecutar en plazo de 5 horas).
- La prestación de servicios WiMAX en frecuencias de uso exclusivo permite garantizar calidades de servicio (carrier class).
- Alta eficiencia en el uso del espectro y estabilidad.
- Permite la transmisión simultánea de voz, datos y video.
- Soporta diferentes niveles de servicio para usuarios particulares y empresas.
- Posibilidad de aumentar el ancho de banda o las prestaciones en función del aumento de las necesidades del usuario.
- Precios de servicios similares a ADSL/cable pero con prestaciones superiores:
 - Simétrica o asimétrica,
 - Mayor ancho de banda,

²⁹ <http://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX>; Acceso: 15 de Abril de 2009; 15h28

- Calidades de servicio con velocidades garantizadas,
- Control remoto para la resolución de incidencias.

2.1.1.1 WiMAX usado para transmisión de datos

Al ser esta una tecnología orientada a la conectividad y la transmisión de servicios de telecomunicaciones de última generación y que compite además con otros estándares de conexión para brindar el acceso final al usuario como tecnologías XDSL, WiFi, redes celulares, redes 3G, 4G, etc. Tiene entre muchas aplicaciones más la transmisión de datos a gran velocidad de hasta 70 Mbps y con un ancho de banda de hasta 20Mhz teóricos, por usuario o por enlace. Sin embargo, mediante surveys reales realizados en lugares donde ya existe infraestructura WiMAX implementada por la empresa³⁰ se ha conseguido velocidades reales de hasta 10 Mbps de bajada y 2 Mbps de subida con un alcance máximo de 3 Km en zonas urbanas y hasta 6 Km en zonas menos pobladas sin muchos obstáculos. Permitiendo además la simultaneidad en la transmisión de voz, video y datos. Admite muchas conexiones con velocidades equivalentes E1's o T1's. Pudiendo configurar este tipo de transmisión plesiocrona PDH sobre WiMAX. Y aún cientos de conexiones domésticas con velocidades DSL.

La transmisión de datos, como principal aplicación de esta tecnología, implica que la transferencia de información o paquetes de información a través de la red se realice de una manera eficaz, estable y con una calidad de servicio aceptable. Por otro lado la convergencia de los servicios y aplicaciones de telecomunicaciones, hace que todo tipo de información se transmita por una misma red.

2.1.1.2 WiMAX usado para transmisión de voz

En la actualidad, la mayoría de servicios, aplicaciones e información que se transmite en las redes existentes de telecomunicaciones como la voz, imágenes, documentos, aplicaciones, texto, video, etc., se maneja de la misma manera a

³⁰ Datos proporcionados Gerencia de Ingeniería y la Gerencia de Transmisión de la CNT S.A.

través de la red, únicamente como paquetes de datos; sin embargo las distintas clases de servicio o CoS deberán tener diferentes tratamientos dependiendo de su naturaleza; en este contexto; la voz se transmitirá con una prioridad alta ya que es vulnerable a los retardos de propagación; por ello su transmisión deberá ser casi en tiempo real. Para una red WiMAX el tipo de información transportada es transparente al igual que para el usuario. Los demás elementos de gestión de red, tales como el backbone IP/MPLS, equipamiento de borde y core, servidores de VoIP se encargan de configurar el tráfico para ser transportado a través de la red WiMAX. La forma más habitual de transmitir la voz utilizando la tecnología WiMAX es mediante la voz sobre IP VoIP.

La opción adoptada por la empresa para ofrecer servicios de telefonía usando la plataforma WiMAX es mediante el diseño de red a través de la adquisición, configuración e interacción de otros elementos de red denominado IAD's o *Integrated Access Device*³¹ por sus siglas en Inglés; es un dispositivo que permite la interconexión a una red de área extendida de tipo digital y de nueva generación como por ejemplo usado para la integración con la red actual de IP/MPLS. Según la naturaleza de este equipo permite agregar específicamente múltiples canales de información incluyendo voz y datos a través de un solo enlace del carrier o denominado proveedor de servicio. Este enlace puede ser, por ejemplo, un enlace T1, un enlace DSL, un enlace mediante una red CATV, una conexión Metro Ethernet, o en nuestro caso un acceso inalámbrico de banda ancha.³²

2.1.1.2.1 Generalidades de la Voz sobre IP (VoIP)

Transmitir la voz mediante el Protocolo de Internet (IP), significa que se envía la voz a través de Internet en paquetes digitales IP, a través de la red y no de la manera habitual como se lo realiza en la PSTN, de forma analógica o digitalizada a través de circuitos dedicados sólo de voz. Para el efecto se utiliza protocolos especiales basados en IP. Estos protocolos permiten que los paquetes de voz a ser transportados por una red IP, informen de su prioridad alta para transmitirse

³¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_access_device; Acceso 28 de junio de 2009; 12h35

³² Gerencia de Ingeniería GNP de la CNT S.A.

sin retardos ni latencias importantes logrando así una calidad de servicio aceptable.

Una de las principales ventajas de esta tecnología es la compartición del medio de transmisión haciendo uso de un mismo enlace para transportar voz y datos a la vez. Esto hace que los costos en llamadas mediante VoIP sean gratuitos en algunos casos y en otros sean mínimos. Desde el punto de vista técnico, para que sea posible una comunicación mediante VoIP se requiere un ancho de banda aceptable; en la práctica un enlace de 128kbps es suficiente para transmitir con cierto grado de calidad de servicio voz y datos; aunque en la actualidad mediante algoritmos de codificación y compresión se puede transmitir voz inclusive con velocidades de 64kbps o menos. Algunas funcionalidades incluyen que un usuario podría comunicarse telefónicamente en cualquier lugar mientras tenga acceso a Internet, se puede otorgar números de telefonía IP gratuitos, enrutación de llamadas con mayor facilidad que en la PSTN, entre otras.

El ancho de banda creciente a nivel mundial, y la optimización de los equipos de capa 2 y 3 para garantizar el QoS (Quality of Services) de los servicios de voz en tiempo real hace que el futuro de la Voz sobre IP sea muy prometedora. Cabe mencionar que la VoIP es una tecnología y no un servicio de telecomunicaciones, esta implicancia ha ocasionado cierta controversia en el marco legal en algunos países; ya que se interpreta como un servicio adicional de telecomunicaciones por el cual se pone una tarifa y se cobra. Dado el caso que es una tecnología que hace uso del protocolo Internet para empaquetar la voz en datagramas como cualquier otro tipo de información.

2.1.1.3 WiMAX usado para transmisión de video

Una red WiMAX es una red IP inalámbrica con unas características de calidad muy importantes. Por lo tanto para poder utilizar este tipo de infraestructura para transportar señales audiovisuales con calidad Broadcast, en principio, solo sería necesario codificar esas señales audiovisuales bien en MPEG 2 o MPEG 4; siempre con una calidad adecuada. Después habría que encapsular el resultado

para que la transmisión se pueda hacer por una red IP, esto se puede realizar directamente en el mismo dispositivo que se utiliza para realizar la codificación MPEG de la señal audiovisual, gráficamente mostrado en la Figura No. 2.2.



Figura No. 2.2 Equipos para transmisión de video IP sobre WiMAX³³

Fuente: WiMAX y enlaces TV

2.1.1.4 WiMAX usado para brindar conectividad a Internet

Dentro del radio de celda típico, el desempeño sin línea de vista y throughput³⁴ son óptimos. En adición, el 802.16^a provee una tecnología inalámbrica ideal para conectar WLAN's 802.11 y hotspots comerciales con Internet. Con datos compartidos de hasta 75 Mbps³⁵, un 'sector' simple de una estación base 802.16^a –donde un sector es definido como un par simple de radios transmisor / receptor en la estación base – provee suficiente ancho de banda para soportar simultáneamente 60 puntos de negocio con conectividad nivel T1 y cientos de hogares con conectividad nivel DSL, usando canales de 20 MHz de ancho de

³³ <http://www.tmbroadcast.es/index.php/tag/wimax/>; Acceso: 11 de junio de 2009; 20h00

³⁴ Throughput: número de peticiones procesadas en la unidad de tiempo, es del tipo mas es mejor (por ejemplo, en una impresora el número de páginas que imprime por unidad de tiempo).

<http://saramggh.blogspot.com/2008/03/clase-11-3-2008.html>; Acceso: 25 de junio de 2009; 11h50

³⁵ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

banda. Para soportar un modelo de negocio rentable, los operadores y proveedores de servicio necesitan sostener una mezcla de abonados de alto nivel de ingresos y un alto volumen de abonados residenciales. El 802.16^a ayuda a satisfacer este requerimiento mediante el soporte de niveles de servicio diferenciados, los cuales pueden incluir servicios de nivel T1 garantizados para negocios, o servicios DSL 'best effort' para usuarios residenciales³⁶

Las implementaciones iniciales permitirán la distribución de acceso a Internet de banda ancha a áreas remotas que actualmente no cuentan con servicio de DSL o cable, y harán posible la conexión inalámbrica de edificios varios kilómetros de distancia. Como está basada en estándares, se espera que la tecnología WiMAX haga más fácil y económico a usuarios de banda ancha nuevos y existentes disfrutar el acceso inalámbrico a Internet.³⁷

2.1.2 EVOLUCIÓN DE WIMAX FIJO A WIMAX MÓVIL

Aunque todavía no existe una perspectiva clara de cuál será la implementación de WiMAX en las empresas, esta tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha está despertando un enorme interés y consiguiendo mejoras importantes en poco tiempo. Se trata en realidad de la implementación industrial de dos estándares de IEEE para acceso inalámbrico de banda ancha: 802.16d, para enlaces inalámbricos "fijos", y 802.16e para servicios móviles. Mientras que la primera se posiciona como una alternativa sin hilos a tecnologías de bucle local, como ADSL o el cable, la segunda, desarrollada con posterioridad, amplía su ámbito de actuación constituyendo, según sus promotores, un digno rival de las infraestructuras celulares para soportar servicios móviles.

La especificación IEEE 802.16d (WiMAX fijo) es capaz de proporcionar enlaces inalámbricos fijos punto a punto a velocidades desde 1 Mbps hasta 5 Mbps, con máximos teóricos de 20 Mbps. Por su parte, WiMAX móvil (IEEE 802.16e)

³⁶ <http://www.slideshare.net/rivamara/ieee-80216-wman-wimax-presentation>, Acceso: 20 de junio de 2009; 17h30

³⁷ <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1959.php>, Acceso: 19 de junio de 2009; 21h17

introduce diversos cambios en el estándar básico para soportar clientes móviles. La oferta perfilada alrededor de este último incluye propuestas como radios instaladas en vehículos u otros medios de transporte y promete itinerancia sin fisuras de los usuarios cuando pasan a alta velocidad de una estación base a otra, proporcionando una experiencia similar a la que hoy se disfruta en las llamadas de voz sobre redes celulares. En la figura No. 2.3 se puede apreciar la evolución de la tecnología WiMAX.

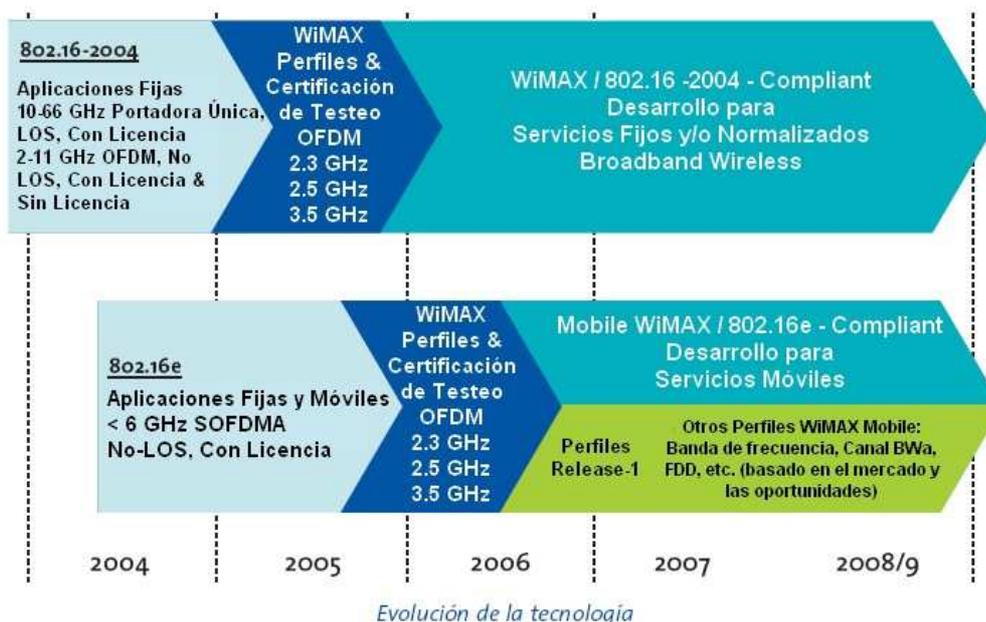


Figura No. 2.3 Evolución de la tecnología WiMAX³⁸

Fuente WIMAX: La Hora de la verdad

No obstante, la capacidad de movilidad impone un precio. Así, WiMAX móvil no alcanza según la especificación actual el rendimiento de entre 1 y 3 Mbps característico de la versión fija. También su área de cobertura es menor que los entre 16 y 24 kilómetros de alcance de WiMAX fijo. Pero la industria trabaja ya también para resolver estos inconvenientes mediante la incorporación en IEEE 802.16e de técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output), que permitirá empaquetar más datos dentro de una conexión inalámbrica y ampliar su alcance,

³⁸ <http://sociedaddelainformacion.telefonica.es/jsp/articulos/detalle.jsp?elem=3102>; Acceso 19 de junio de 2009; 21h28

en parte gracias a la utilización de múltiples antenas en una misma estación base. Los productos IEEE 802.16e con esta mejora empezarán a materializarse en 2007, con la introducción por parte de los fabricantes de la próxima ola de productos, ya conocida como “Wave 2”, de WiMAX móvil. Los productos IEEE 802.16e podrán someterse a las pruebas oficiales de interoperatividad y conformidad de productos de WiMAX Forum en enero.³⁹

2.1.3 FUTURO DE WIMAX

El futuro de WiMAX se ve muy prometedor, la evolución de su estandarización ha permitido la interoperabilidad entre proveedores y fabricantes así como también el perfeccionamiento tecnológico que ha tenido WiMAX en estos últimos años. El avance a WiMAX móvil con el estándar IEEE 802.16e en el escenario actual, en que los usuarios están en movimiento, es un gran adelanto; los usuarios podrán desplazarse mientras tienen acceso de datos de banda ancha o a una sesión de transmisión en tiempo real de multimedia⁴⁰. Todas estas mejoras ayudarán a hacer que WiMAX sea una solución aún mejor para el acceso de Internet para economías en crecimiento. Las características de conectividad, la estabilidad mejorada, el gran alcance de sus celdas, el handover mejorado, gran ancho de banda que pueden ofrecer sus enlaces tanto fijos como móviles entre otras características; han logrado que muchos operadores de telecomunicaciones a nivel mundial y nacional enfoquen su atención en esta innovadora tecnología.

Los esfuerzos de los desarrolladores y fabricantes WiMAX se enfocan en conseguir mejoras que establezcan diferencias que le otorguen valor agregado frente a otras tecnologías. Los grupos de trabajo de IEEE 802.16f e IEEE 802.16g se encargan de las interfaces de administración de la operación fija y móvil, permitiendo el roaming entre distintas redes; se prevé que WiMAX tenga la capacidad de interactuar e interconectarse con redes móviles celulares 4G.

³⁹ <http://www.idg.es/cio/estructura/imprimir.asp?id=179381&cat=art>; Acceso: 19 de junio de 2009; 21h24

⁴⁰ www.noticiasdot.com/publicaciones, acceso 9 de junio de 2009, 16h00

Mientras que por otro lado las actuales redes celulares con tecnología 3.xG observan este desarrollo como una potencial amenaza a su mercado. Evidentemente, WiMAX está en competencia directa con otros tantos protocolos que aspiran a llegar a ser el estándar de la 4G, como las evoluciones del actual UMTS y CDMA2000 entre otras.

La multinacional Intel, uno de los principales fabricantes de semiconductores, ha apostado fuertemente a esta tecnología, desde la publicación del primer estándar WiMAX el IEEE 802.16-2004 denominado así por aprobarse en ese año, Intel ha invertido en la investigación de mejoras y adelantos tecnológicos. El WiMAX Forum gestiona todos estos desarrollos y hace posible la cooperación mutua entre todas estas empresas. Según un reciente anuncio del IEEE; WiMAX podría converger con las redes de telefonía móvil de cuarta generación; para el efecto se hace énfasis en la posibilidad técnica de hacer roaming entre redes distintas de telecomunicaciones pero con características en común. Por otro lado se vislumbra que en el futuro WiMAX podría alcanzar más velocidad de conexión inclusive 1 Gbps con futuros estándares. La norma IEEE 802.16m titulado: *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*, que incluye estas características está muy próxima a aprobarse⁴¹.

El futuro de WiMAX tanto en el país como en el resto del mundo tiene grandes expectativas. Países como Japón, España, EEUU, entre otros han desplegado en su territorio esta tecnología tanto a nivel comercial como experimental para la investigación y su mayor desarrollo; los principales fabricantes de equipos de telecomunicaciones juntan sus esfuerzos generando alianzas comerciales, políticas y regionales con estos países para impulsar un rápido crecimiento de este nuevo estándar.

⁴¹ Instituto e Ingenieros Eléctricos y Electrónicos www.ieee.org

<http://standards.ieee.org/db/status/status.txt>, acceso: 11 Junio de 2009, 11h00.

Países con bajo PIB pero con alto potencial de crecimiento y desarrollo; son regiones en los que los servicios de telecomunicaciones generan un bajo ARPU⁴² principalmente en los servicios de banda ancha ya que pocos clientes pueden pagar su CPE y la penetración de computadoras en el hogar aún es bajo. Sin embargo es aquí donde las oportunidades de mercado se ven muy prometedoras ya que la economía en estos países esta creciendo, así como también la demanda por la conectividad y el acceso a Internet de banda ancha. Es por ello que el WiMAX Forum establece ciertas características para el desarrollo tecnológico en estas regiones las cuales se presentan en la Tabla No. 2.1:

CARACTERÍSTICAS DEL MERCADO EMERGENTE	IMPACTO EN UN OPERADOR DE WIMAX
Interés de los gobiernos y entes reguladores	Bajos precios de frecuencias y procesos facilitados de obtención.
Alta densidad de hogares en áreas metropolitanas que son objetivo para esta tecnología.	Bajos desembolsos de capital por hogar.
Baja penetración de servicios fijos	Oportunidad de acceso rápido al mercado para cubrir demanda de banda ancha no cubierta por sistemas fijos.
Alto crecimiento previsto de la demanda	Reducción en los tiempos de desarrollo del mercado.
Bajos costos laborales.	Reducción de costos de instalación, mantenimiento, etc.
Alto porcentaje de concentración de negocios en edificios.	Alto margen de compartición de equipos CPE.

Tabla No. 2.1 Características mercado emergente vs. Impacto negocio WiMAX

Fuente: De León Omar, Ing. Presentación Curso Internet, VoIP, redes 3G, Teleconsult

Como ya se ha mencionado, las expectativas del WIMAX se ciñen a sitios rurales, con pocos accesos, es decir, a todas aquellas personas que el ADSL y cable esta fuera de su alcance y buscan soluciones para poder trabajar desde sus hogares.

⁴² ARPU: Acrónimo de Average Revenue Per User: Ingresos medios por usuario

De momento, compañías como Intel están trabajando en nuevas versiones de sus procesadores para equipos portátiles como Centrino y desarrollando, junto a Alcatel, los equipamientos CPE. Por su parte, otras compañías como Nokia o Siemens ya están implementando chipsets con el certificado “WiMax Compliant” en futuras versiones de sus terminales móviles y PDAs. Esto también hace pensar que el salto a 3G (la tecnología de comunicación de tercera generación UMTS por ejemplo para telefonía móvil) se supliría por esta nueva y potente cobertura, capaz de transmitir vídeo en tiempo real mucho más eficientemente que la que se promete vía satélite.

Plataformas comunes, estándar de conexión, multilocalización de la señal de radio, anchos de banda similares a los del cable, telefonía fija, móvil y televisión bajo demanda, IPTV, pueden estar unificados en un mismo servicio y facturarse como un todo; las posibilidades son ilimitadas y la pronta integración está ya en manos de las grandes compañías; sólo toca esperar y aprovechar lo que ahora se ofrece, lo que ahora se conoce de WiMAX y sus prestaciones hace que ADSL se vea irrisorio e insuficiente y que WiFi aparezca débil frente a este nuevo panorama.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

2.1.4.1 Calidad de Servicio mejorada (QoS)

Como se señaló, la premisa fundamental de la arquitectura de la Capa de Control de Acceso al Medio (MAC) del estándar 802.16e es la calidad de servicio (QoS). Las características de QoS que posee WiMAX móvil brindan a los operadores la oportunidad de optimizar el desempeño de la red dependiendo del tipo y nivel de servicio (ej. Voz, video, aplicaciones, Internet, juegos en línea, etc.). El estándar define que el flujo de información pueda ser clasificada a detalle, permite además identificar sesiones IP basadas en QoS, codificaciones de servicios diferenciados que soliciten un QoS específico configurado de extremo a extremo. Adicionalmente señales cuya transmisión es basada en la sub-canalización y el protocolo específico de acceso al medio (MAP), tienen un mecanismo flexible para temporizar de manera óptima el tráfico broadcast y el unicast trama por trama.

2.1.4.2 Interfaz Aire mejorada

La interfaz aire de WiMAX móvil utiliza el Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA) para mejorar el desempeño en la transmisión por múltiple trayectoria o multicamino en entornos sin línea de vista. Ofreciendo además una alta flexibilidad en la gestión de recursos de red para usuarios con distintos requerimientos de velocidad y tasas de conexión.

2.1.4.3 Altas velocidades o tasas de transmisión

WiMAX soporta una amplia gama de técnicas de antenas para incrementar notablemente el throughput, especialmente en los límites de la cobertura o límites de la celda. Por ejemplo utiliza antenas con la técnica de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) combinada con la flexibilidad de la sub-canalización de tramas; la modulación adaptiva y las tasas variables de codificación habilita a la tecnología WiMAX móvil a soportar altas velocidades pico de bajada o downlink (DL) de hasta 46 Mbps por sector y altas velocidades pico de subida o uplink (UL) sobre los 14 Mbps por sector en canales con 10 MHz de ancho de banda (DL 2x2 MIMO, tasas 3:1 DL/UL, UL 1x2 MIMO colaborador).

2.1.4.4 Escalabilidad

La tecnología WiMAX móvil también utiliza OFDMA escalable (SOFDMA) compatible con la estandarización inicial de WiMAX móvil IEEE 802.16e, tiene la capacidad de operar en canales con tamaños de 5, 7, 8.75 y 10 MHz siendo compatible con los diversos espectros de frecuencia de todas las regiones mundiales.

2.1.4.5 Movilidad

La tecnología WiMAX móvil soporta handovers optimizados con latencias menores a 50 ms que ayudan y garantizan aplicaciones en tiempo real como voz sobre IP (VoIP), que se transmite de forma robusta y eficiente sin degradación del servicio. Administración y gestión flexible y rápida de tramas de llaves que garantizan la seguridad durante los handovers. La figura 2.4 se muestra que

WiMAX móvil es igualmente aplicable tanto a entornos móviles así como también entornos fijos.

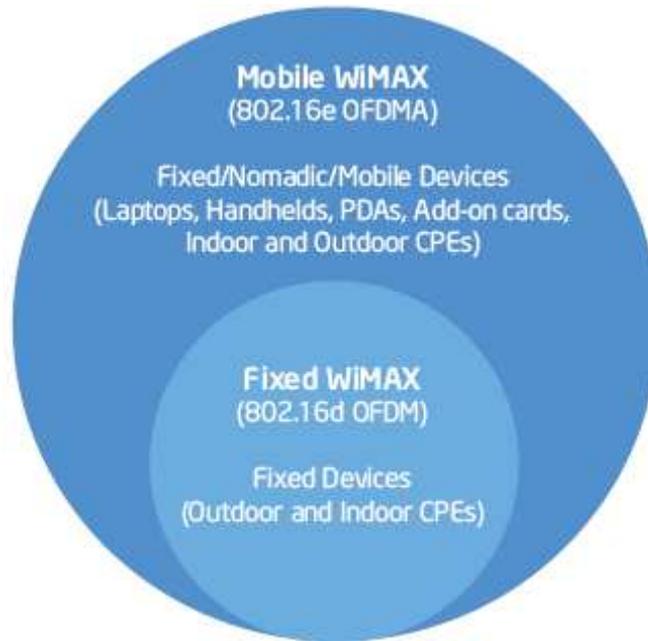


Figura No. 2.4 Representación de los dos estándares principales WiMAX y su contexto de aplicación.

Fuente: Mobile WiMAX Technology for Fixed Broadband Developments, White Paper, Intel, Mobile WiMAX Technology

Esta es una consecuencia de que los requerimientos y características para operar dispositivos fijos son un subconjunto de todas las prestaciones para operar dispositivos móviles. Las características adicionales por tanto habilitan de forma natural el acceso inalámbrico móvil de WiMAX partiendo del contexto de las redes fijas. Por este motivo esta tecnología soporta desarrollos de redes fijas y móviles simultáneamente.

2.1.4.6 Conectividad y Acceso a una red con esta tecnología

El acceso a una red WiMAX móvil es posible a través de una amplia gama de dispositivos, tales como:

- Unidades internas (Indoor), también denominados CPE (Customer Premise Equipment).
- Unidades externas (Outdoor) que son montadas fuera de la edificación y que utilizan antenas de alta ganancia.

- Tarjetas PC compatibles con interfaces y slots de computadores personales, laptops.
- Módulos embebidos WiMAX integrados en las mainboards de notebook/laptop.
- Handhelds y PDA con interfaces WiMAX integrados en las placas del sistema.

2.1.4.7 Seguridad

Incorpora las características más avanzadas y actuales en cuanto a seguridad, usadas en la familia IEEE 802 de sistemas de acceso inalámbricos. Entre ellos Protocolos de Autenticación Extensibles (EAP), Estándares Avanzados de Autenticación (AES), Mensajes de Códigos de Autenticación Cifrados (CMAC), Mensajes de Códigos de Autenticación por partes (HMAC). Tramas de mensajes y control de protección.

2.1.4.8 Ventajas y rendimiento de WiMAX móvil

El WiMAX móvil se basa en la tecnología de acceso inalámbrico de los estándares IEEE 802.16e y IEEE 802.16d. Esta optimizada para el desarrollo y crecimiento de redes y transmisión *all IP*, todo IP, disponibles para transmisión inalámbrica para redes fijas y móviles de banda ancha⁴³.

WiMAX móvil ha sido concebida para entregar mejoras significativas, sobre WiMAX fijo; haciendo de esta una solución mucho más atractiva que desarrollos de redes fijas. En ambientes inalámbricos, el cálculo del enlace (medido en dB) y la eficiencia espectral son los parámetros esenciales usados para evaluar el rendimiento de un sistema de telecomunicaciones. Listados a continuación se muestran algunas de estas mejoras en el enlace y la eficiencia espectral de WiMAX móvil igualmente aplicable para redes fijas:

- Codificación Convolutiva Turbo, Hybrid – Automatic Repeat Request (HARQ) y Frecuencia, así como Temporización Selectiva del Tiempo suma alrededor de 10 dB al margen del enlace,

⁴³ Mobile WiMAX Technology for Fixed Broadband Developments, White Paper, Intel, Mobile WiMAX Technology, www.intel.com/go/wimax, Acceso: 10 de junio de 2009; 10h00

incrementando significativamente el radio de cobertura de la celda y la eficiencia espectral [bps/Hz].

- Innovadoras tecnologías de antenas como MIMO múltiples entradas, múltiples salidas y AAS (Advanced Antena System) o Sistemas Avanzados de Antena como por ejemplo beamforming o manipulación del haz de la antena; pueden entregar hasta un 50% de mejoras en la eficiencia espectral sobre sistemas SISO/SIMO.
- Mejoras adicionales en cuanto a la eficiencia espectral y el soporte de usuarios con diferente QoS; vienen del uso del doble dimensionamiento (frecuencia y tiempo) de canales cuando es necesario con la gestión de recursos y su temporización; así como la cancelación de interferencias con los dispositivos.
- Adicionalmente la reducción del tamaño del overhead de control esta disponible por el uso de la compresión de la información MAP.
- El uso de sub-protocolos MAPs habilitados en la estación base para optimizar el enlace de los suscriptores basándose en su localización, por ejemplo en el límite de la cobertura o cerca de la estación base.
- WiMAX móvil usa TDD (Time Division Duplex) como sus mecanismos de duplexación que proveen beneficios significativos para flujos de datos asimétricos.
 - i. Por naturaleza, los sistemas FDD tienen canales simétricos tanto de bajada DL como de subida UL. TDD por otro lado, permite al operador variar las tasas de los canales de DL y de UL. Por ejemplo usando una relación de 3:1 DL a UL en lugar de canales simétricos 1:1; las tasas del enlace de DL pueden ser incrementadas en más del 50%.
 - ii. Ya que los mismos canales son usados para DL y para UL cuando se usa TDD, permite una mayor eficiencia en la estimación del canal que ayuda a las técnicas MIMO y AAS.
- La utilización eficiente del ancho de banda para las transmisiones y servicios multicast y broadcast; y el ahorro de energía mediante la

implementación de modos de sleep/idle (dormido/apagado) en los dispositivos.

- La interfaz aire basada en OFDMA esta diseñada para combatir la interferencia inter-celda gracias a la apropiada localización de los recursos en las diferentes celdas.
 - i. Un diseño típico usando multi-celdas puede usar el siguiente esquema de re uso de frecuencias: 1(cluster) x 3(número de sectores) x 1(número de frecuencias en la celda). Este esquema brinda como resultado el más eficiente uso del espectro.⁴⁴

En resumen la significativa ganancia en rendimiento de WiMAX móvil se debe a la combinación de muchas innovaciones como por ejemplo las avanzadas técnicas de antenas entre otras. Que no solamente aumentan la percepción de mejor calidad en el usuario sino también reducen el número de estaciones base requeridas.

2.1.4.9 Técnicas de Acceso al medio

Este subcapítulo trata cómo se gestiona el acceso múltiple de los usuarios al canal de información, las técnicas tradicionales TDMA y CDMA, que se usan ya en telefonía de 2G y 3G, la técnica de acceso OFDMA, basada en la modulación OFDM y la aplicación de estas técnicas en WiMAX.

2.1.4.9.1 TDMA y CDMA

TDMA se corresponde con Time Division Multiple Access, mientras que CDMA con Code Division Multiple Access. Ambas tecnología persiguen los mismos objetivos mediante la utilización de diferentes mecanismos, para conseguir la mejor utilización del espectro permitiendo a múltiples usuarios compartir el mismo canal físico.

⁴⁴ Mobile WiMAX Technology for Fixed Broadband Developments, White Paper, Intel, Mobile WiMAX Technology, www.intel.com/go/wimax, acceso: 10 junio de 2009; 10h00

TDMA se basa en la división del canal en ranuras temporales, transmitiendo los diferentes usuarios con una técnica similar a la del paso de testigo, es decir sólo uno de los usuarios utiliza el canal de manera simultánea.

CDMA, por otro lado, permite a todos los usuarios transmitir de manera simultánea, algo que era imposible con las técnicas de modulación tradicionales, por lo que se basa en técnicas de espectro ensanchado. Mediante estas técnicas los bits a transmitir por un usuario se reparten a lo largo del canal de una manera pseudo-aleatoria.

En CDMA se habla de la posibilidad de realizar “soft handoff”, o cambio transparente de celdas en las comunicaciones. Otra de las ventajas es la capacidad que proporciona, dada su elevada “eficiencia espectral” ya que acomoda más usuarios por ancho de banda.

Entre las varias implementaciones existentes de TDMA, cabe destacar el GSM, que utiliza la técnica de saltos de frecuencia. En el caso de TDMA es el switch el encargado de determinar cuando debe conmutar la señal.⁴⁵

Espectro ensanchado por saltos en frecuencia

Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS) es una técnica que confía en la diversidad en frecuencia para combatir las interferencias. Esto se realiza mediante el uso de la modulación FSK (Frequency Shift Keying), basada en códigos. Así, la señal entrante es desplazada en frecuencia en una cantidad determinada dada por un código que extiende la potencia de la señal sobre un ancho de banda amplio. Si lo comparamos con el FSK binario, con dos frecuencias, FHSS dispone de un número muy elevado.

El transmisor FHSS es un sintetizador de frecuencia controlado por códigos PN (pseudo-noise), que sale de un generador de códigos. De esta manera, la

⁴⁵ <http://www.quobis.com/index.php>; Acceso: 23 de junio de 2009; 16h34

frecuencia instantánea salta de un valor a otro, por lo que el espectro utilizado se extiende a lo largo del rango.

La ganancia del proceso está asociada al número de frecuencias disponibles para una tasa de transmisión dada. Otro factor importante es la tasa a la que ocurren los saltos. El tiempo mínimo requerido es función de la tasa de bit de información, la cantidad de redundancia utilizada y la distancia a la fuente de interferencias más próxima.⁴⁶

Espectro ensanchado por secuencia directa

El proceso Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) se realiza mediante la multiplicación de una portadora con una señal digital de pseudo-ruido. En primer lugar, el código PN se modula en la señal de información, mediante el uso de alguna de las técnicas de modulación habituales (BPSK, QPSK, etc.).

Entonces, un mezclador balanceado multiplica la portadora con la señal de información modulada, obteniendo una señal con un espectro ancho, similar al de una señal de ruido. Este ancho de banda tan amplio, permite que la señal caiga por debajo del umbral de ruido sin que esto implique una pérdida de la información.

El ancho de banda en estos sistema se suele tomar como el rango entre nulos del lóbulo principal, mientras que el ancho de banda de potencia de este lóbulo es 1.2 veces la tasa de bits.

Una característica de esta técnica es que es posible usar otras modulaciones, diferentes de BPSK, para incrementar la tasa de transmisión. Este aumento de ganancia conlleva una reducción equivalente en la ganancia del proceso, dada la relación entre el ancho de banda y la tasa de bits.⁴⁷

⁴⁶ <http://www.quobis.com/index.php>; Acceso: 23 de junio de 2009; 16h34

⁴⁷ <http://www.quobis.com/index.php>; Acceso: 23 de junio de 2009; 16h34

2.1.4.9.2 OFDMA: Ortogonal Frequency Division Multiple Access

La Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) es una técnica de multiplexación que subdivide el ancho de banda en múltiples frecuencias sub-portadoras como se puede observar en la Figura No. 2.5. En un sistema OFDM la salida de las tramas de datos es dividida en varias paralelas sub-tramas de menor tasa de bits (esto incrementa la duración del símbolo) y cada sub trama es modulada y transmitida sobre una sub-portadora ortogonal separada. El incremento de la duración del tiempo provee el robustecimiento de OFDM para la dispersión del espectro.

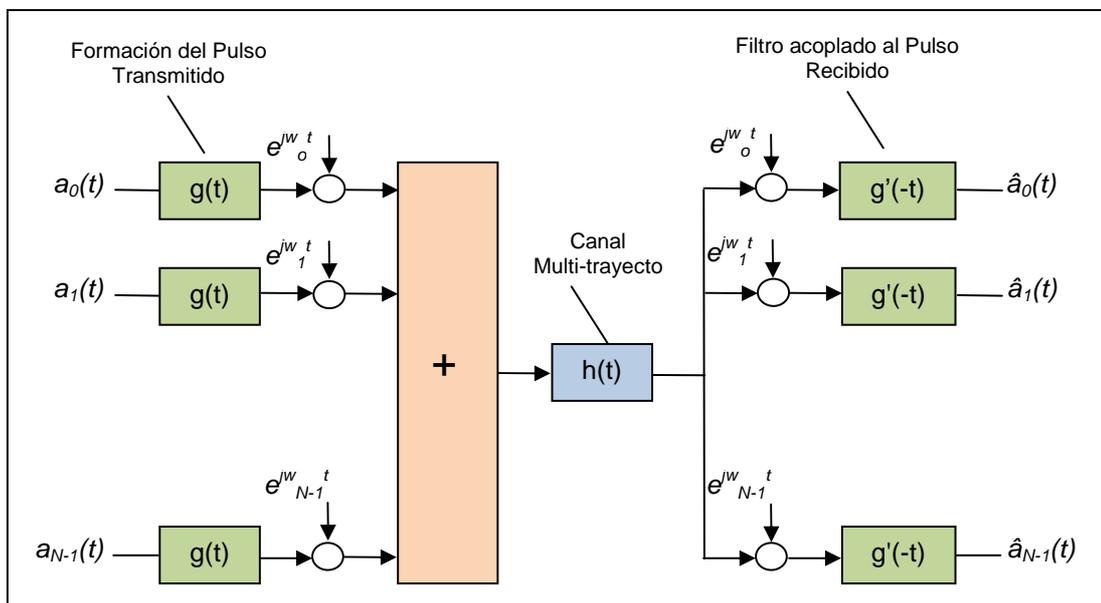


Figura No. 2.5 Arquitectura básica del Sistema OFDMA

Fuente: Autores

Además, la introducción del prefijo cíclico (CP) puede eliminar completamente La Interferencia por Múltiple Símbolo (ISI) es tan larga como la duración del CP durante la dispersión del espectro en el canal. El CP típicamente es una repetición de la última porción de dato simple del bloque anexado al comienzo de la carga del dato. El CP previene interferencia entre bloques y permite una mayor fluidez así como una menor complejidad de ecualización en el dominio de la frecuencia. Un inconveniente que presenta CP es que éste introduce carga, con lo cual se reduce la eficiencia del ancho de banda. Mientras el CP reduce en algo la eficiencia del ancho de banda, el impacto del CP es similar al “roll-off factor” en un

sistema de simple portadora con filtro raised-coseno. Desde que OFDM se estableció, se mejoró el uso del espectro de frecuencias, una gran cantidad de los espacios asignados como canales de gran ancho de banda son usados para transmisión de datos, con lo cual se ayuda moderadamente a la pérdida de eficiencia debido al prefijo cíclico⁴⁸.

OFDM saca provecho de la diversidad de frecuencia del canal de multi-trayecto por codificación e interpolación de la información a transmitirse por las sub-portadoras. La modulación OFDM puede realizarse eficientemente con la Transformada Inversa Rápida de Fourier (IFFT), la cual habilita un gran número de sub-portadoras (por encima de las 2048) con baja complejidad. En un sistema OFDM, los datos en el dominio del tiempo son reemplazados por medio de símbolos OFDM y en el dominio de la frecuencia por medio de sub-portadoras. Las fuentes en tiempo y la frecuencia pueden ser organizadas en sub-canales para ser adjudicadas individualmente a los usuarios. Múltiple Acceso por División de Frecuencia ortogonal (OFDMA) es un esquema de acceso-múltiple/multiplexación que provee operaciones multiplexadas de trama de datos de múltiples usuarios sobre los sub-canales de bajada y múltiple acceso de envío por medio de sub-canales de subida.

OFDMA escalable

Una capa física escalable habilita estándares base para solucionar entregas con funcionamiento óptimo en canales de ancho de banda en los rangos de 1.25MHz a 20MHz con espacios entre sub-portadora fijos y usando modelos móviles con lo que se mantiene a los costos del producto bajo. La arquitectura es basada en una estructura de sub-canalización escalable con la Transformada Rápida de Fourier (FFT) de tamaño variable de acuerdo al ancho de banda del canal. En adición al tamaño variable de la FFT, la especificación soporta otras características como sub-canales con Codificación y Modulación Adaptiva (AMC), diversidad de Entrada-Múltiple-Salida-Múltiple (MIMO) y cobertura mejorada con canal seguro, así como también otras

⁴⁸ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

características por defecto de OFDMA como diferente sub-portadora asignada y diversidad en esquemas. Coherencia del tiempo, cambio Doppler, y coherencia de ancho de banda forman las consideraciones básicas de la estructura escalable donde el tamaño de la FFT mantiene a la sub-portadora a una separación fija.

OFDMA sub-portadoras y sub-canales

Existen tres tipos de sub-portadoras de OFDMA⁴⁹:

- 1) Sub-portadora de datos para transmisión de datos
- 2) Sub-portadora piloto para varios propósitos de estimaciones y sincronizaciones
- 3) Sub-portadora nula para la transmisión de lo no permitido, usado para bandas guardas y portadoras DC.

Sub-portadoras activas son divididas en sub-secciones de sub-portadoras llamadas sub-canales. Las sub-portadoras pueden ser formadas por un sub-canal, pero no necesariamente adyacentes. Los sub-canales son las partes más pequeñas para ser fuente de asignación como se indica en el Media Access Protocolo (MAP).

La asignación del piloto es ejecutado diferentemente en varios modos de fijación de sub-portadoras. Para DL con Sub-canalización completa (Fully Used Subchannelization FUSC), el valor del piloto es establecido primero y entonces el resto de sub-portadora es dividida en sub-canales de datos. Para DL con SUB-canalización parcial (Partially Used Subchannelization PUSC) y todo modo UL, se selecciona el uso de la sub-portadora, es decir, datos y piloto, primero se particiona el sub-canal y entonces el piloto es asignado en cada sub-canal. En FUSC, hay una selección de un piloto de sub-portadora común, pero en PUSC, cada sub-canal contiene su propio piloto de sub-portadora seleccionado.

⁴⁹ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

En un enlace DL, puede ser deseado sub-canales para diferentes grupos de recepción, mientras que en un enlace UL, Estaciones de suscriptores (Subscriber Station SS) pueden ser asignados a uno o más sub-canales y varios transmisores principales transmiten simultáneamente. Hay dos principales tipos de permutaciones de sub-portadoras: distribuida y adjunta. En general, permutaciones distribuidas de sub-portadoras actúan muy bien en aplicaciones móviles mientras permutaciones de sub-portadoras adjuntas pueden ser usadas como fijas, portables o de baja movilidad. Estas opciones habilitan un sistema diseñado para negociar movilidad por rendimiento. Las sub-portadoras forman un solo canal principal, pero no necesariamente son adyacentes.

La Figura No. 2.6 ilustra una simple estructura de trama OFDM para una implementación de División de Tiempo Bidireccional (Time Division Duplex TDD). Cada trama es dividida en sub-tramas DL y UP separadas para intervalos de Trasmisión/Recepción y Transición Recepción/Trasmisión (TTG y RTG, respectivamente) para prevenir transmisiones UP y DL con colisiones.

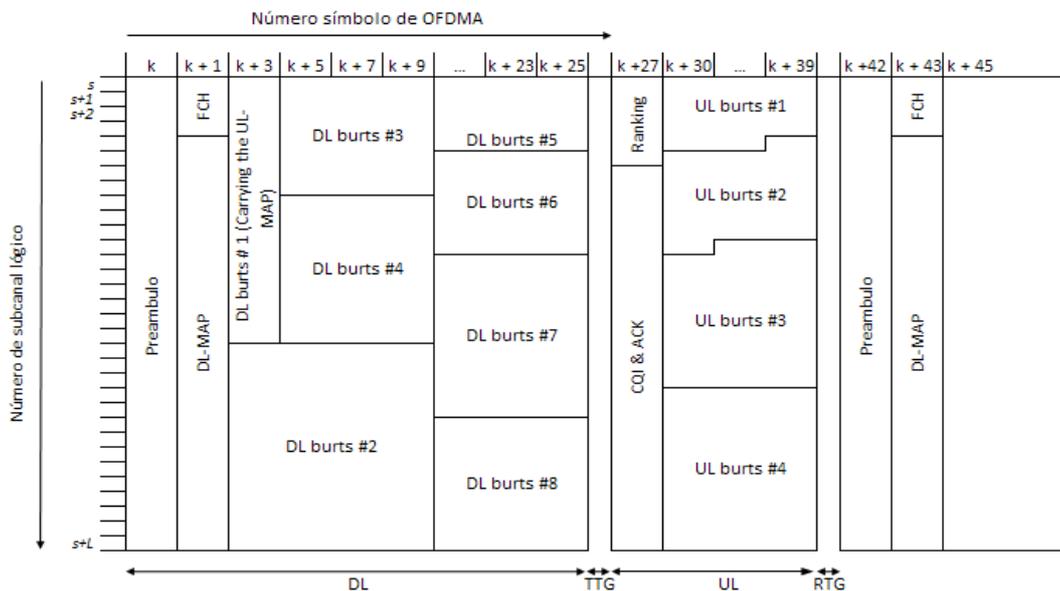


Figura No. 2.6 Una simple estructura de trama OFDMA

Fuente: Estándar IEEE 802.16-2004

Cada sub-trama DL comienza con un preámbulo seguido por la Cabecera de Control de Trama (FCH), el DL-MAP, y UL-MAP, respectivamente. En la trama, el

siguiente control de información es usado para optimizar la operación del sistema⁵⁰:

- **Preámbulo:** El preámbulo, usado para sincronización y es el primer símbolo de la trama OFDM.
- **Cabecera de Control de Trama (FCH):** El FCH siguiente del preámbulo. Esté provee la información de la configuración de la trama tal como un mensaje MAP de esquema largo y codificado y usado en Sub-canales.
- **DL-MAP y UP-MAP:** El DL-MAO y UP-MAP provee asignación de sub-canales y otro control de información de sub-tramas DL y UL respectivamente.
- **Rango UL:** El rango UL de un sub-canal es asignado para estaciones móviles, que actúan en redundante tiempo, frecuencia y potencia ajustándose al rendimiento del canal.
- **UL CQICH:** El canal UL CQICH es asignado para la SS del canal de re-alimentación de información.
- **UL ACK:** El UL ACK es asignado para la SS para admitir re-alimentación de DL HARQ.

2.1.5 TIPOS DE MODULACIÓN

2.1.5.1 PSK

La modulación PSK (Phase Shift Keying) se caracteriza porque la fase de la portadora representa cada símbolo de información de la moduladora, con un valor angular que el modulador elige entre un conjunto discreto de “n” valores posibles. También se denomina “por desplazamiento” debido a los saltos bruscos que la moduladora digital provoca en los correspondientes parámetros de la portadora. Un modulador de fase⁵¹ representa directamente la información mediante el valor absoluto de la fase de la señal modulada, valor que el demodulador obtiene al

⁵⁰ standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html; Acceso: 13 de septiembre de 2009; 12h33

⁵¹ http://www.dei.uc.edu.py/tai2000/amfm/modufase.htm; Acceso: 25 de junio de 2009; 11h06

comparar la fase de esta con la fase de la portadora sin modular⁵² como se muestra en la Figura No. 2.7

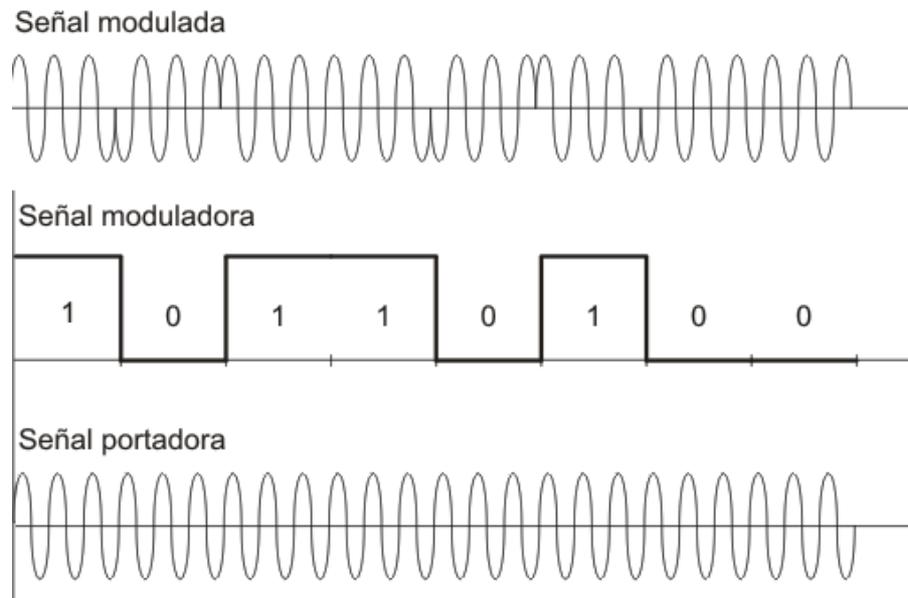


Figura No. 2.7 Modulación PSK⁵³

Fuente: Modulación de fase

La señal modulada resultante, responde a la Ecuación No. 2.1:

$$A_p \cdot \cos[f \cdot t + 0]$$

Ecuación 2.1 Señal modulante

Fuente: Cátedra de Comunicaciones Digitales

Donde:

- A_p = longitud
- f = frecuencia
- t = tiempo
- 0 = representa cada uno de los n valores posibles de la fase, tantos como estados tenga la señal codificada en banda base multinivel.

Dentro del contexto PSK se distinguen dos tipos de modulación de fase.

⁵² http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_fase; Acceso: 23 de junio de 2009; 18h39

⁵³ http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_fase; Acceso: 23 de junio de 2009; 18h39

2.1.5.1.1 Modulación PSK.

La modulación PSK consiste en que cada estado de modulación está dado por la fase que lleva la señal respecto de la original.

2.1.5.1.2 Modulación DPSK. (Diferencial PSK).

En la modulación DPSK cada estado de modulación es codificado por un salto respecto a la fase que tenía la señal anterior. Empleando este sistema se garantizan las transiciones o cambios de fase en cada bit, lo que facilita la sincronización del reloj en recepción. Técnicamente utilizando el concepto de modulación PSK, es posible aumentar la velocidad de transmisión a pesar de los límites impuestos por el canal telefónico. De aquí entonces existen dos tipos de modulación derivadas del DPSK, que son:

QPSK (Quadrature PSK).

Consiste en que el tren de datos a transmitir se divide en pares de bits consecutivos llamados Dibits, codificando cada bit como un cambio de fase con respecto al elemento de la señal anterior.

MPSK (Multiple PSK).

En este caso el tren de datos se divide en grupos de M bits , llamados M-bits, codificando cada salto de fase con relación a la fase del tribit que lo precede.

La señal modulada DPSK responde a la Ecuación No. 2.2:

$$A_p \cdot \cos[f \cdot t + A_0]$$

Ecuación 2.2. Señal modulada DPSK

Fuente: Cátedra de Comunicaciones Digitales

Donde:

- A_p =Amplitud
- f =frecuencia
- t =tiempo

- A_0 = La fase de la señal modulada. El salto de fase A_0 representa cada uno de los “n” estados que puede adoptar una señal moduladora cuando se codifica en banda base multinivel.

La fase A_0 de la señal modulada anterior, es el valor angular de la fase del último elemento de señal que se acaba de transmitir.

2.1.5.2 QAM

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una técnica de modulación digital avanzada sirve para transportar datos, técnica en la cual la información va a ser modulada tanto en amplitud como en fase (la señal de portadora va a ser modificada en amplitud y fase) o sea que la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasando 90° la fase y la amplitud.

QAM va a ser otro tipo de modulación M-aria en la que para grupos de k bits, podemos obtener $M = 2^k$ salidas diferentes⁵⁴

La modulación por cuadratura consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK)⁵⁵ de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90° . La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. Estas pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua porque sus portadoras están en cuadratura. La fórmula matemática de una señal modulada en QAM se presenta en la Ecuación No. 2.3:

$$a_n \cos(\omega t) + b_n \sin(\omega t)$$

Ecuación 2.3. Señal Modulada QAM⁵⁶

Fuente: Modulación de Amplitud en Cuadratura

⁵⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura; Acceso: 23 de junio de 2009; 19h38

⁵⁵ <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ask>; Acceso: 25 de junio de 2009; 11h16

⁵⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura; Acceso: 23 de junio de 2009; 19h38

Las amplitudes de las dos señales moduladas en ASK (a y b), toman de forma independiente los valores discretos a_n y b_n correspondientes al total de los "N" estados de la señal moduladora codificada en banda base multinivel $N = n \times m$.

Una modulación QAM se puede reducir a la modulación simultánea de amplitud $ASK_{n,m}$ y fase $PSK_{n,m}$ de una única portadora, pero sólo cuando los estados de amplitud $A_{n,m}$ y de fase $H_{n,m}$ que esta dispone, mantienen con las amplitudes de las portadoras originales a_n y b_n la relaciones que se indican en la Ecuación No. 2.4:

$$QAM \rightarrow A_n(\cos wt) + B_m(\sen wt) = A_{n,m} \cos(wt - H_{n,m})$$

Ecuación 2.4. Señal Modulada QAM⁵⁷

Fuente: Modulación de Amplitud en Cuadratura

Donde $A_n(\cos(wt))$ y $B_m(\sen(wt))$ están moduladas en ASK, $A_{n,m}$ esta modulada en ASK y $(\cos wt - H_{n,m})$ es una expresión modulada en PSK

- $A_{n,m} = \sqrt{A_n^2 + B_m^2}$
- $A_n = A_{n,m} \cos(H_{n,m})$
- $H_{n,m} = \arctan\left(\frac{B_m}{A_n}\right)$
- $B_m = A_{n,m} \sin(H_{n,m})$

Estas expresiones se deducen fácilmente a partir de las siguientes:

$$A \cos(wt - h) = A \cos(wt) * \cos(h) + A \sin(wt) * \sin(h)$$

$$A \cos(wt - h) = A \cos(h) * \cos(wt) + A \sin(h) * \sin(wt)$$

$$A \cos(wt - h) = a \cos(wt) + b \sin(wt)$$

Donde:

$$a = A * \cos(h)$$

$$b = A * \sen(h)$$

⁵⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura; Acceso: 23 de junio de 2009; 19h38

La inmunidad que tiene la señal modulada en cuanto a las perturbaciones y al ruido de la línea, es mayor cuanto más separados estén los puntos del diagrama de estados. Se trata, pues, de buscar una constelación de puntos con unas coordenadas de amplitud y fase que hagan máxima la separación entre ellos⁵⁸ como se muestra en la Figura No. 2.8.

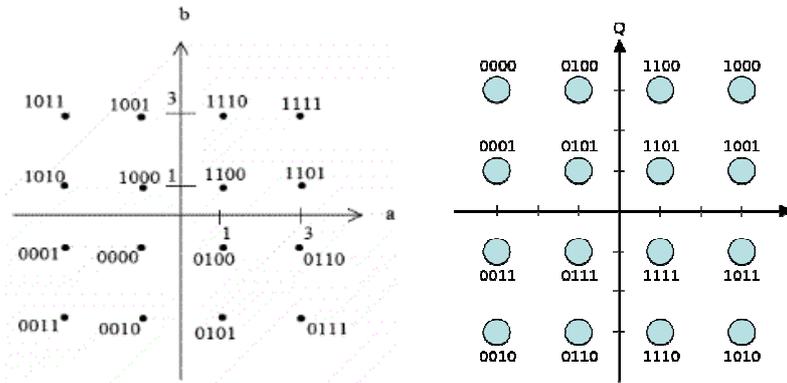


Figura No. 2.8 Constelación QAM-16⁵⁹

Fuente: Modulación de Amplitud en Cuadratura

2.1.5.3 Modulación adaptativa

Por medio de un robusto esquema de modulación, el IEEE 802.16 entrega una alta tasa de transferencia a altos rangos, con un alto nivel de eficiencia espectral que es también tolerante a reflexiones de señal. La modulación dinámica adaptativa permite a la estación base negociar la tasa de transferencia por rangos como se muestra en la Figura No. 2.9.

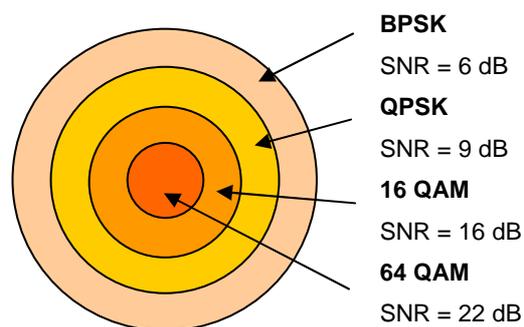


Figura No. 2.9 Modulación adaptativa

Fuente: Autores

⁵⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura

⁵⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Constelacion_para_modulacion_16_QAM.gif; Acceso: 23 de junio de 2009; 19h58

Por ejemplo, si la estación base no puede establecer un link robusto a un abonado distante usando el esquema de modulación de mayor orden, 64 QAM (Modulación por Amplitud en Cuadratura), el orden de modulación se reduce a 16 QAM o QPSK, la cual reduce la tasa de transferencia e incrementa el rango efectivo.⁶⁰

2.1.5.3.1 Modulación Adaptativa – ASK:

Modulación por amplitud – Amplitude Shift Keying

La Figura No. 2.10 muestra la modulación ASK

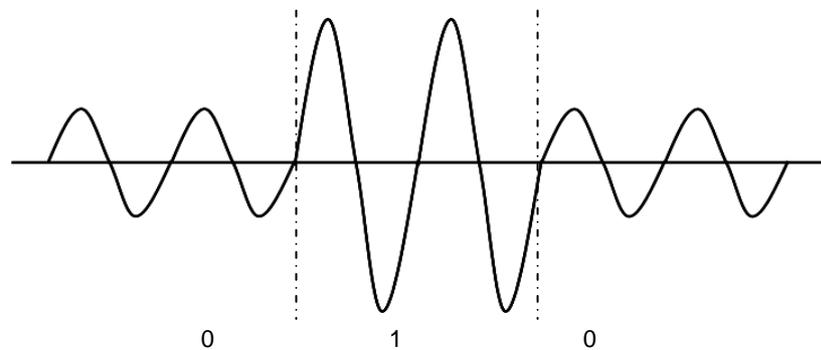


Figura No. 2.10 Señal ASK

Fuente: Modulación ASK⁶¹

2.1.5.3.2 Modulación Adaptativa – FSK:

Modulación por frecuencia – Frequency Shift Keying

La Figura No. 2.11 muestra la modulación FSK

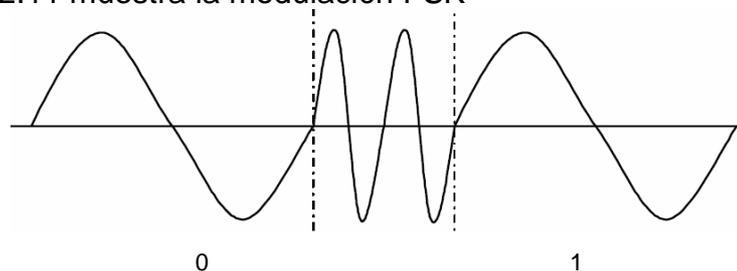


Figura No. 2.11 Señal FSK

Fuente: Modulación FSK⁶²

⁶⁰ <http://www.slideshare.net/rivamara/ieee-80216-wman-wimax-presentation>; Acceso: 30 de mayo; 15h00.

⁶¹ <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/.../52519>; Acceso 12 de Octubre de 2009

Más tolerante al ruido que ASK, porque éste generalmente influye en la amplitud de la señal más no en la frecuencia.

2.1.5.3.3 Modulación Adaptativa - PSK

- Modulación por fase: Phase Shift Keying
- Se varía la fase del siguiente baudio en algún ángulo
- Existe Binaria PSK (BPSK) y en Cuadratura PSK (QPSK)
- Con BPSK 0° equivale a un 0 y 180° equivale a un 1

La Figura No. 2.12 muestra la modulación BPSK

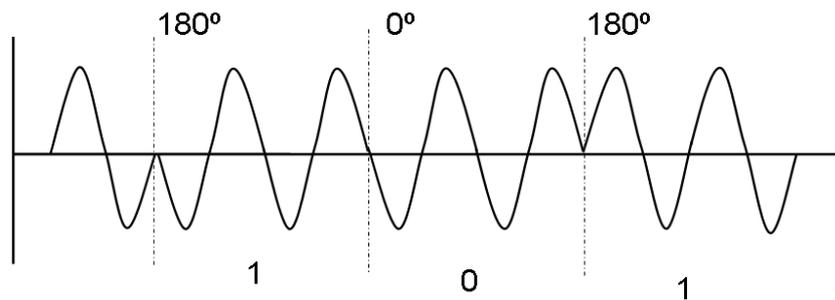


Figura No. 2.12 Señal Adaptativa – BPSK

Fuente: Modulación BPSK⁶³

Modulación Adaptativa - QPSK

Agrega las fases 90° y 270° , con lo cual se pueden transmitir 2 bits por baudio, la

Figura No. 2.13 muestra la modulación QPSK

Fase	Valor
0°	00
90°	01
180°	11
270°	10

⁶² <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/.../52519>; Acceso 12 de Octubre de 2009

⁶³ <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/.../52519>; Acceso 12 de Octubre de 2009

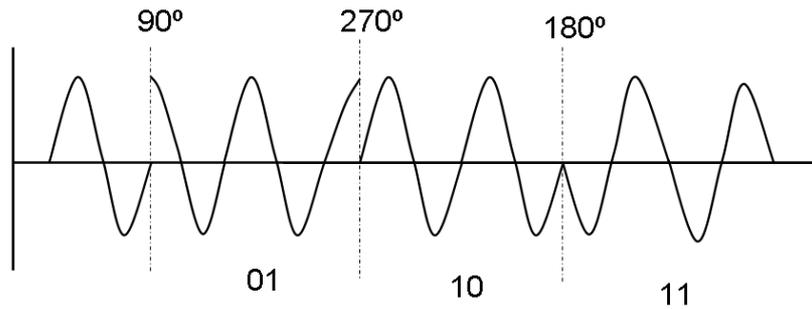


Figura No. 2.13 Señal Adaptativa - QPSK

Fuente: Modulación QPSK⁶⁴

Modulación Adaptativa - QAM

También se puede variar la amplitud y la fase en una misma codificación, originando Quadrature Amplitude Modulation.

Cada combinación de fase y amplitud indica cierto número de bits, como se muestra en la Tabla No. 2.2

Fase	Amplitud	Valor
0°	Baja	000
0°	Alta	001
90°	Baja	010
90°	Alta	011

Fase	Amplitud	Valor
180°	Baja	100
180°	Alta	101
270°	Baja	110
270°	Alta	111

Tabla No. 2.2 Combinación de Fase y Amplitud

Fuente: Modulación QAM⁶⁵

Es posible agregar nuevas fases y amplitudes para obtener más estados posibles como se muestra en la Figura No. 2.14

Por ejemplo, se pueden usar 12 ángulos de fase y 2 amplitudes para obtener 16 estados (se pueden codificar 4 bits por baudio)

⁶⁴ <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/.../52519>; Acceso 12 de Octubre de 2009

⁶⁵ https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/material_docente/objeto/52519 -

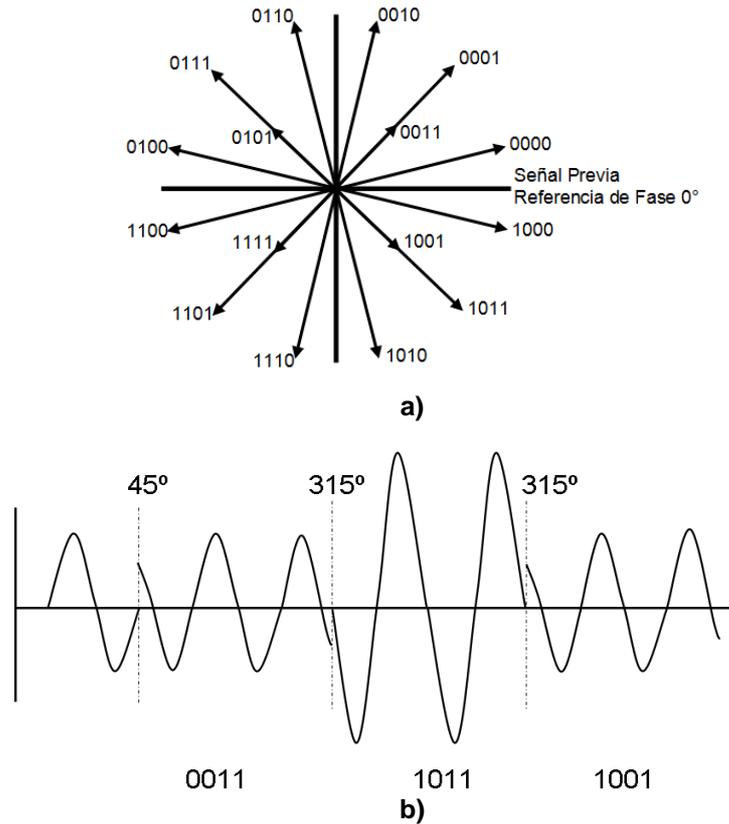


Figura No. 2.14 a) y b) Modulación Adaptativa - 16-QAM

Fuente: Modulación QAM⁶⁶

¿Por qué no utilizar sólo las técnicas de modulación de mayor orden (cantidad de bits por baudío)?

Porque necesitan mejor relación señal/ruido para soportar las interferencias y mantener una cantidad de errores razonable. La modulación adaptativa permite al sistema elegir la técnica de mayor orden que el canal de conexión permita. Generalmente el canal será mejor mientras se esté más cerca de la estación base.⁶⁷

En la figura 2.15 se muestra la relación modulación con respecto a la cobertura de WiMAX

⁶⁶ https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/material_docente/objeto/52519 -

⁶⁷ https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/material_docente/objeto/52519 -

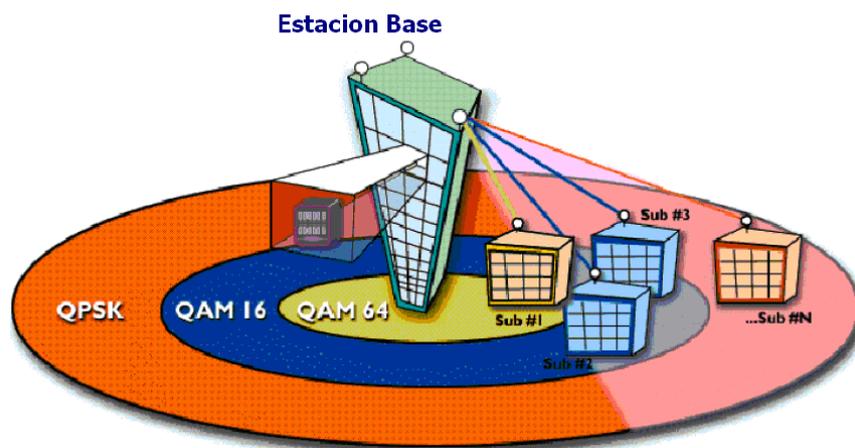


Figura No. 2.15. Modulación respecto a la cobertura sobre WiMAX

Fuente: Modulación QAM⁶⁸

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL, ENTORNO DE MERCADO DE LA CNT PARA LA TRANSMISIÓN DE VOZ, DATOS E INTERNET Y DEMÁS SERVICIOS CONVERGENTES BRINDADOS POR LA EMPRESA

El mercado de telecomunicaciones donde se desenvuelve la CNT, se encuentra en crecimiento constante, dentro del cual ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A. hasta antes de la integración de la CNT, eran competidores, luego del 1 de noviembre del 2008, este comportamiento competitivo, cambió por un comportamiento competitivo de alcance nacional. Relacionado con el tamaño del mercado por las ventas registradas, con las relaciones de clientes y su captación (servicios fijos Vs. servicios móviles); se nota que el Ecuador tiene una estructura de servicios mayormente orientada a servicios móviles.

De lo que se advierte el 90% de la participación del mercado de telecomunicaciones corresponde a servicios móviles los cuales entre el 2006 al 2007 crecieron en un 17.15%; la cual contrasta con un crecimiento de servicios fijos que creció en un 2.29% en el mismo período, lo que muestra a las claras que

⁶⁸ https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/material_docente/objeto/52519 -

la tendencia del mercado privilegia contenidos de movilidad, mayor tecnología e innovación en los servicios adicionales.⁶⁹

Bajo estas condiciones globales del mercado de telecomunicaciones la CNT, tiene una estructuración variada de productos, la cual se resume en los siguientes:

- Segmento de Servicios de Voz
- Segmento de Internet
- Segmento de Transmisión de datos

Según los antecedentes del mercado nacional de telecomunicaciones y los porcentajes de participación que tiene la empresa en los diferentes segmentos; se puede concluir que, tanto el servicio de Internet y el servicio de transmisión de datos son en los que debe existir una mayor búsqueda de participación en estos; por tanto estos dos segmentos son estratégicos para el desarrollo corporativo.

Es entonces, en estos dos grandes segmentos del mercado, en los que está orientada la actual planificación estratégica de la empresa, el desarrollo del portafolio y catálogo de productos y los proyectos técnicos de infraestructura ha implementarse durante el transcurso de este año y los posteriores. La tendencia actual es la movilidad, la innovación de productos, contenidos, mejores prestaciones y un mayor valor agregado. Los actuales proyectos de inversión técnicos como la implementación de sistemas inalámbricos de próxima generación, como el propuesto en el presente estudio, posicionan a la empresa a la vanguardia tecnológica y la hacen más competitiva en el mercado.

Las metas gubernamentales propuestas para el crecimiento en el campo de las telecomunicaciones suponen un crecimiento acelerado de nuevos usuarios en todos los segmentos antes descritos a nivel nacional. La propuesta tecnológica permite aumentar la cobertura de la red de la CNT de forma rápida confiable y con menores costos. Productos como el acceso a Internet de Banda Ancha Fija, Internet de Banda Ancha Móvil, Televisión por suscripción (IPTV), servicios

⁶⁹ Gerencia de Evaluación de Proyectos, Plan de Inversiones 2009, Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

corporativos de transmisión de datos, entre otros son los nuevos productos que se pretenden introducir al mercado. La infraestructura de WiMAX móvil permite de sobremanera ofrecer estos productos a la población.

2.2.1 SITUACIÓN ACTUAL

De acuerdo al inventario, a junio de 2009, en el área de cobertura de la CNT existen **2´434.366** líneas (capacidad instalada) de las cuales **371.899** líneas están libres, **2´304.474** pares primarios y una densidad telefónica del **14,436%** como se muestra en la Tabla No. 2.3

PROVINCIA	CAPACIDAD EN PLANTA INTERNA	CAPACIDAD UTILIZADA EN PLANTA INTERNA	DENSIDAD TELEFÓNICA	CAPACIDAD EN PLANTA EXTERNA
Pichincha	632.163	550.654	21.83%	762.873
Imbabura	46.012	40.249	9.92%	54.742

Tabla No. 2.3 Datos telefonía fija operadora CNT en las provincias en estudio⁷⁰

Fuente: Gerencia Nacional de Proyectos

Actualmente la CNT dispone de Centrales, Nodos, Unidades Remotas y ADNGs (Nodos de Acceso de Nueva Generación) de fabricación: ALCATEL, ERICSSON, NEC, LUCENT, TADIRAN, ZTE, SIEMENS, SAMSUNG y HUAWEI. Una gran parte de las centrales y unidades remotas de tecnología TDM tienen obsolescencia tecnológica y en algunos casos ya han cumplido su tiempo de vida útil; y debido a que no es factible realizar ampliaciones, conseguir repuestos y soporte técnico de los fabricantes es necesario migrarlos a equipos de próxima generación (NGN). En la CNT se tienen sectores atendidos con acometidas de cobre de longitudes superiores a 4 Km, aceptable para la prestación de servicios de telefonía pero no para la prestación de nuevos servicios: banda ancha e IPTV.

⁷⁰ Datos proporcionados por la Gerencia Nacional de Proyectos CNT S.A. Junio de 2009; (los datos han sido operados por un factor para garantizar la confidencialidad).

Para complementar la descripción actual de los servicios de telecomunicaciones particularmente del acceso a Internet y entender el entorno global en el país; se presenta en las Figuras No. 2.16, 2.17, 2.18 algunas estadísticas sobre la penetración de este servicio en el mundo en la región y en el país. Los gráficos muestran cifras utilizando diferentes metodologías de cálculo utilizadas por los organismos de control, centros de investigación y estadísticas.

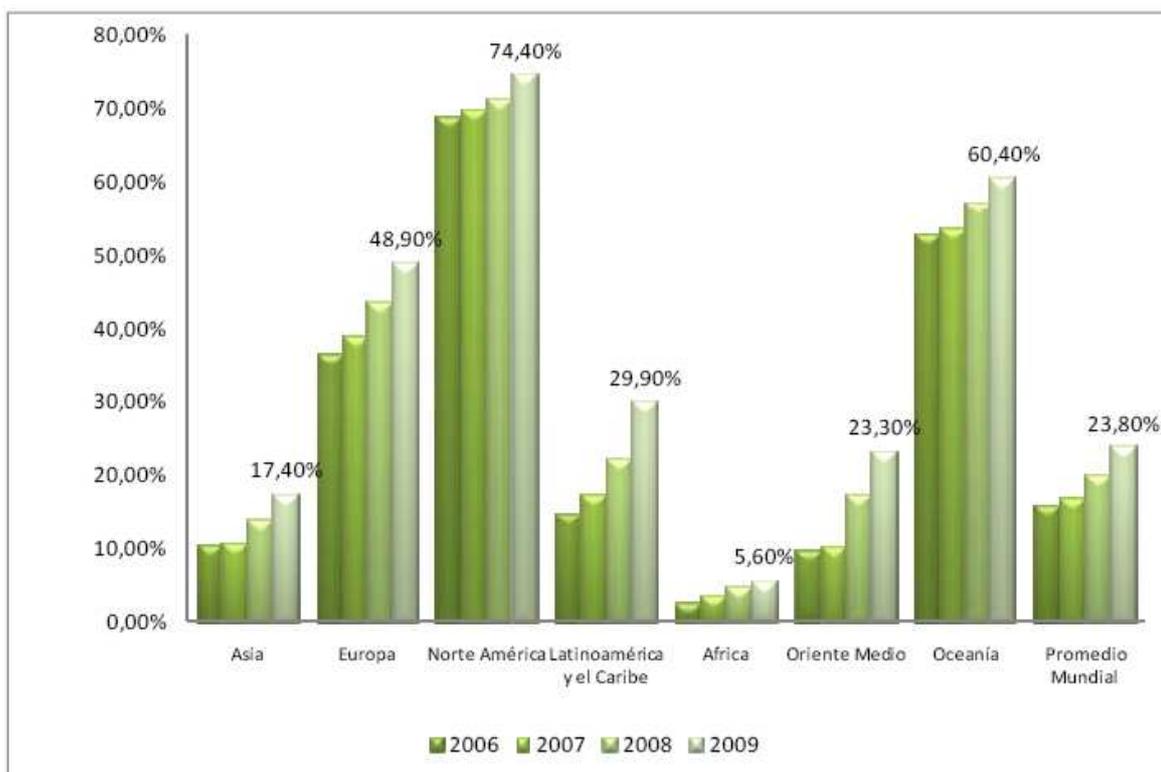


Figura No. 2.16 Penetración de usuarios de Internet en los últimos años a nivel mundial ⁷¹

Fuente: Internetworldstats, actualizado a marzo de 2009

⁷¹ IMAGINAR, Centro de Investigación para la Sociedad de la Información;
http://www.imaginar.org/docs/internet_2009.pdf; Acceso: 18 de junio de 2009; 12h00

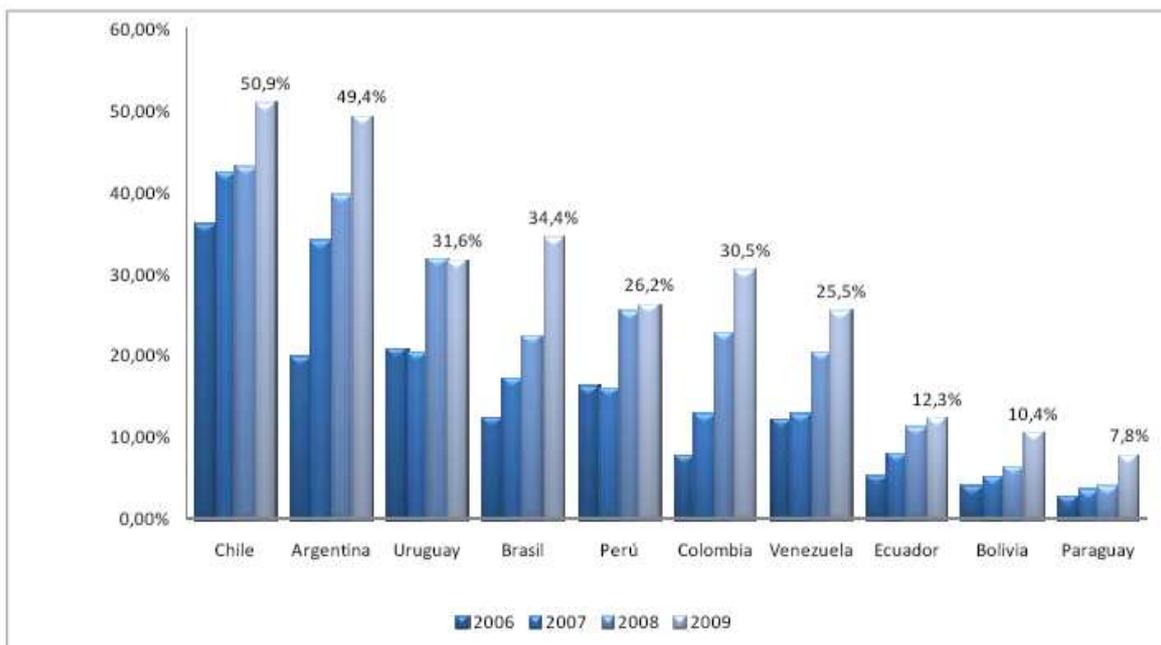


Figura No. 2.17 Penetración de Internet en países de Sudamérica⁷²

Fuente: Internetworldstats, actualizado a diciembre de 2008

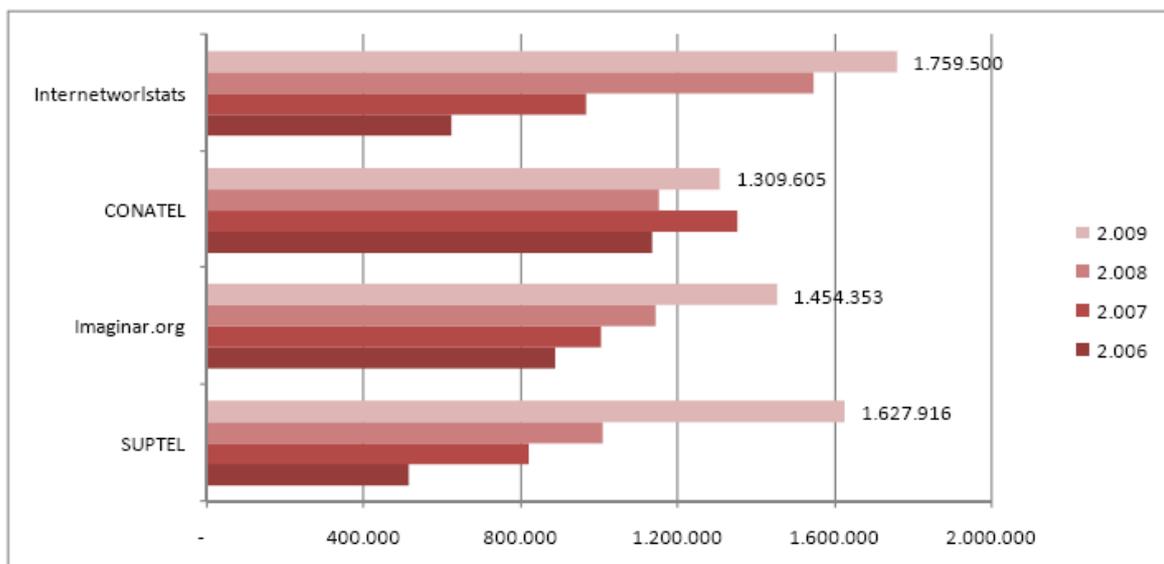


Figura No. 2.18 Número de Usuarios de Internet en Ecuador. Datos a diciembre de 2008⁷³

Fuente: Imaginar

⁷² IMAGINAR, Centro de Investigación para la Sociedad de la Información;

http://www.imaginar.org/docs/internet_2009.pdf; Acceso: 18 de junio de 2009; 12h00

⁷³IMAGINAR, Centro de Investigación para la Sociedad de la Información;

http://www.imaginar.org/docs/internet_2009.pdf; Acceso: 18 de junio de 2009; 12h00

Se puede concluir que la cifra de Internet en el Ecuador se encuentra entre 9,5 y el 12,7%. El número de ecuatorianos que se conectan a Internet es creciente. La Figura No. 2.18 muestra esta tendencia, con datos desde el 2001.

Cabe mencionar que las cifras indicadas corresponden a las distintas apreciaciones para calcular el número de usuarios con acceso a Internet; ya que estimar el promedio de usuarios con acceso a Internet mediante puertos conmutados y dedicados depende de muchos factores.

La Figura No. 2.19 indica la participación en el mercado de Internet que posee la CNT S.A. junto con otros proveedores importantes en el país.

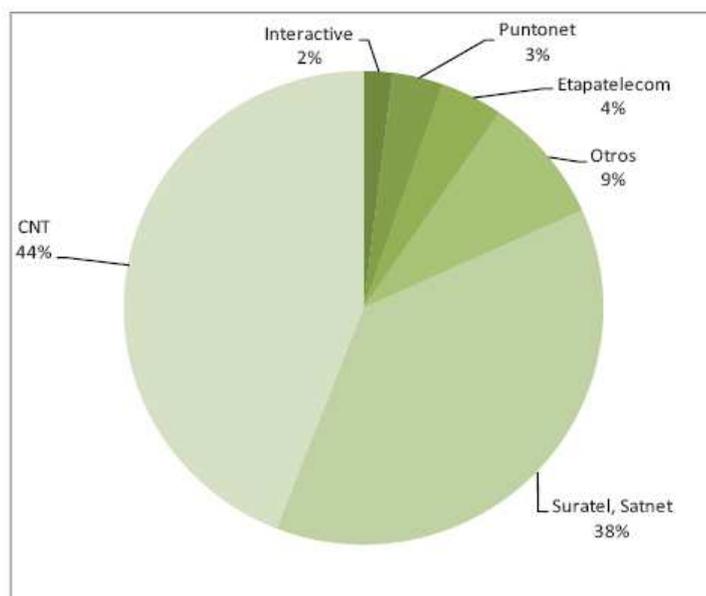


Figura No. 2.19 Participación de los diferentes proveedores según los usuarios de Internet⁷⁴
Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones.

Como se puede apreciar la empresa CNT S.A. junto con el grupo TV cable (Suratel, Satnet) atienden al 82% de los usuarios de Internet. La CNT S.A. controla gran parte de este sector a través de las cuentas de Internet conmutadas

⁷⁴ IMAGINAR, Centro de Investigación para la Sociedad de la Información;
http://www.imaginar.org/docs/internet_2009.pdf; Acceso: 18 de junio de 2009; 12h00

o Dial – Up⁷⁵ que hoy en día están migrando a la banda ancha. Sin embargo la participación de la empresa en el mercado de Internet de Banda Ancha denominadas también cuentas dedicadas se muestra en la Figura No. 2.20

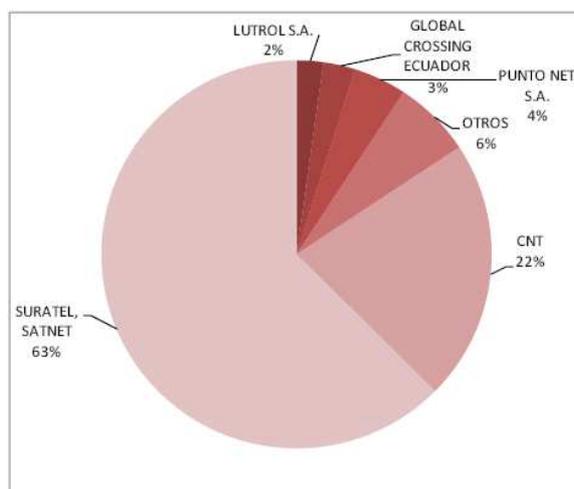


Figura No. 2.20 Mercado de Cuentas Dedicadas por proveedor⁷⁶

Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones

De lo expuesto se concluye que es imprescindible desplegar una nueva infraestructura y aumentar la cobertura de la CNT de forma rápida y económica para ofrecer servicios de acceso a Internet de banda ancha.

En cuanto a la capacidad de puertos de banda ancha, utilizados y disponibles se muestran en la Tabla No. 2.4

⁷⁵ Una conexión por línea conmutada es una forma barata de acceso a Internet en la que el cliente utiliza un módem para llamar a través de la Red Telefónica Conmutada (RTC) al nodo del proveedor de Internet.

⁷⁶ IMAGINAR, Centro de Investigación para la Sociedad de la Información;
http://www.imaginar.org/docs/internet_2009.pdf; Acceso: 18 de junio de 2009; 12h00

PROVINCIA	CAPACIDAD INSTALADA	CAPACIDAD UTILIZADA	DENSIDAD INTERNET ⁷⁷	DISPONIBLE
Pichincha	66.431	39.502	2.43%	17.883
Imbabura	3.586	2.471	1.44%	871

Tabla No. 2.4 Disponibilidad de puertos de Internet CNT provincias en estudio⁷⁸

Fuente: Gerencia Nacional de Proyectos CNT S.A.

Actualmente la oferta de puertos de Internet que brinda la empresa es a través de accesos y tecnologías XDSL, utilizando la actual infraestructura tecnológica cableada.

Grandes sectores del territorio nacional que contemplan ciudades importantes no tienen servicio telefónico, de datos, e Internet y donde además existe una alta demanda de provisión de estos servicios. La CNT dispone de la concesión otorgada por el CONATEL para la utilización de frecuencias en la banda de 3.5 GHz; por lo que desde el año 2008 y en el actual Plan Nacional de Conectividad se contemplan proyectos como el Plan de Expansión Inalámbrica que incluyen soluciones con la tecnología WiMAX para brindar estos servicios a la población y sectores donde es escasa o no existe infraestructura de red cableada.

2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA XDSL

XDSL (*x -type* Digital Subscriber Line)⁷⁹ es un grupo de tecnologías de comunicación que permiten transportar información multimedia a mayores velocidades, que las que se obtienen vía módem, simplemente utilizando las líneas telefónicas convencionales.

⁷⁷ Superintendencia de Telecomunicaciones

http://www.supertel.gov.ec/pdf/estadisticas/acceso_internet.pdf; Acceso: 18 junio de 2009, 10h10

⁷⁸ Datos proporcionados por la Gerencia Nacional de Proyectos CNT S.A. Junio de 2009; (los datos han sido operados por un factor para garantizar la confidencialidad).

⁷⁹

[http://www1.us.es/pautadatos/publico/asignaturas/24133/10758/\(STel\)%20Tema%206,%20def%20\(alumnos\).pdf](http://www1.us.es/pautadatos/publico/asignaturas/24133/10758/(STel)%20Tema%206,%20def%20(alumnos).pdf); Acceso: 24 de junio de 2009; 16h18

Puesto que la red telefónica también tiene grandes limitaciones, tales como su ancho de banda es tan sólo llega a los 4KHz, surge la tecnología DSL (Digital Subscriber Line), que soporta un gran ancho de banda con unos costos de inversión relativamente bajos y que trabaja sobre la red telefónica ya existente, y que convierte la línea analógica convencional en una línea digital de alta velocidad.

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

XDSL es una tecnología en la que se necesita un dispositivo módem xDSL terminal en cada extremo del circuito de cobre, que acepte flujo de datos en formato digital y lo superponga a una señal analógica de alta velocidad. El factor común de todas las tecnologías xDSL es que funcionan sobre líneas de cobre simples, y aunque cada una tiene sus propias características, todas utilizan la modulación para alcanzar elevadas velocidades de transmisión.

Estas tecnologías ofrecen servicios de banda ancha sobre conexiones que en promedio no superen los 6 Km⁸⁰. de distancia entre la central telefónica y el lugar de conexión del abonado; dependiendo de:

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

⁸⁰ <http://www.mailxmail.com/curso-redes-protocolos-estandares-2/xdsl-protocolos-estandares;>
Acceso: 23 de junio de 2009; 12h00

La ventaja de estas técnicas consiste en soportar varios canales sobre un único par de conductores. De acuerdo con esto, los operadores telefónicos proporcionan habitualmente tres canales: dos para datos (bajada y subida) y uno para voz⁸¹ como se muestra en la Figura No. 2.21.

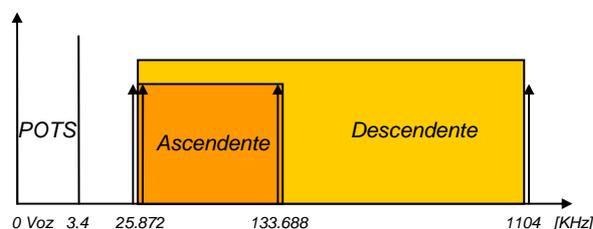


Figura No. 2.21 Sistema ADSL

Fuente: Comunicación PSTN⁸²

2.2.2.1 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

La tecnología **ADSL**, "Asymmetric Digital Subscriber Line" o Línea de Abonado Digital Asimétrica es una tecnología que, basada en el par de cobre de su línea telefónica tradicional y normal, la convierte en una línea de alta velocidad.

Emplea los espectros de frecuencia que no son utilizados para el transporte de voz, y que por lo tanto, no se utilizaban. Abriendo un canal adicional de datos, que permite el transporte a alta velocidad de información sin perder las características para la comunicación telefónica tradicional.

A través del servicio de ADSL se puede desarrollar aplicaciones desde, la navegación por Internet a alta velocidad, video por demanda, transferencia de archivos, transmisión de datos, telefonía en Internet, comercio electrónico, entretenimiento y muchas más aplicaciones que se fundamentan en acceso de banda ancha.

Con ADSL, se obtiene velocidades hasta los 8 Megabits por segundo (Mbps) en dirección al centro del usuario (downlink) y 1 Mbps en el sentido opuesto (uplink).

⁸¹ <http://www.mailxmail.com/curso-redes-protocolos-estandares-2/xdsl-protocolos-estandares;>
Acceso:24 de junio de 2009; 15h57

⁸² Cátedra Telefonía, Octubre 2007

El incremento de velocidad se logra por medio de dos módem especiales ubicados a ambos lados de cada línea. Estos aparatos se comunican entre sí abrazando las interferencias propias del cobre y evitándolas cambiando de frecuencia cuando se producen. Se debe tener en el diseño de este tipo de redes, que ADSL exige que la distancia entre ambos módems no puede superar los 5 kilómetros, ya que cuanto más largo es el cable de cobre, mayores interferencias se producen.⁸³ La Figura No. 2.22 muestra la arquitectura de un sistema ADSL

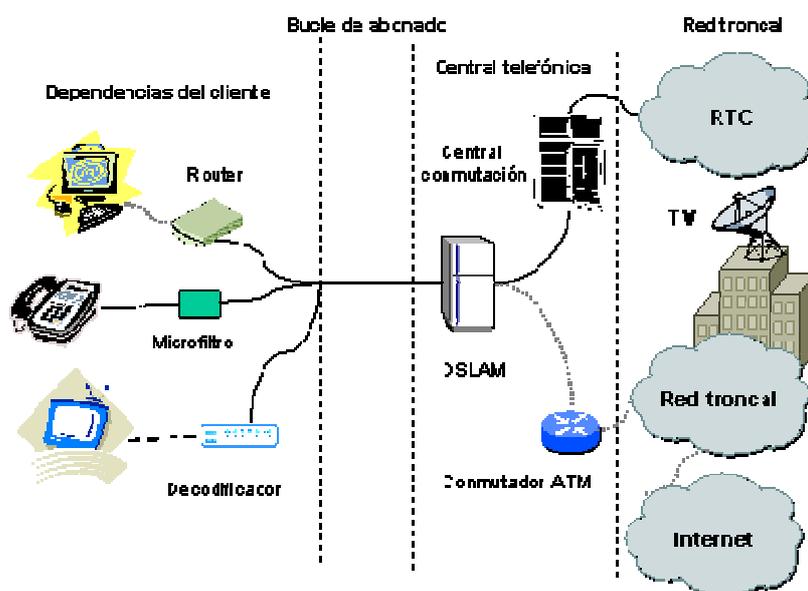


Figura No. 2.22 Sistema ADSL⁸⁴

Fuente: Tecnologías xDSL

2.2.2.2 ADSL 2; ADSL 2+

2.2.2.2.1 ADSL 2

En ADSL convencional uno de los problemas generados a la hora de aumentar la tasa de transferencia era la alta diafonía⁸⁵ producida en los cables de tendido

⁸³ <http://www.trucoswindows.net/conteni3id-61-TRUCO-Que-es-el-ADSL.html>; Acceso: 25 de junio de 2009; 15h58

⁸⁴ <http://www.monografias.com/trabajos62/adsl/adsl.shtml>; 25 de junio de 2009; 16h01

⁸⁵ **Diafonía** es una forma de interferencia causada por las señales en las cercanías de conductores. El ejemplo más común es escuchar una conversación no deseada en el teléfono. También pueden producirse interferencias en las radios, televisores, equipos de redes, e incluso las guitarras eléctricas. <http://es.tech-faq.com/crosstalk.shtml>; Acceso: 25 de junio de 2009;16h10

telefónicos. ADSL2 mejora estos aspectos supervisando la cantidad de distorsión/ruido en el medio, variando la tasa de transferencia al máximo posible sin perder la calidad de la conexión y previniendo los errores.

ADSL2 también introduce una serie de mejoras orientadas a disminuir el consumo de energía por parte de los proveedores del servicio, además permite hacer uso del ancho de banda reservado para telefonía empleándolos para la transmisión de datos obteniendo 256Kbps más en velocidad de subida.⁸⁶

2.2.2.2.2 ADSL 2+

El ADSL2+ consigue funcionar a mayores velocidades ya que aumenta la frecuencia sobre la que trabaja (1,1 MHz), alcanzando velocidades de 24 Mbps. Incorpora además una capa adicional de corrección de errores, optimizando al máximo la información que circula por la capa física, con lo que las compañías pueden supervisar en tiempo real el funcionamiento de la conexión.⁸⁷

Este tipo de tecnología es la utilizada e instalada por la empresa actualmente.

2.2.2.3 RADSL (Rate adaptative ADSL)

La tecnología RADSL (DSL de tasa adaptable) se basa en ADSL. La transmisión se establece de manera automática y dinámica al buscar la velocidad máxima posible en la línea de conexión y al readaptarla continuamente sin ninguna desconexión.

La RADSL debe permitir velocidades ascendentes de 128 Kbps a 1 Mbps y velocidades descendentes de 600 Kbps a 7 Mbps, para un bucle⁸⁸ de 5,4 Km de longitud máxima.

⁸⁶ <http://www.vazart.net/presentaciones/xDSL.pdf>; Acceso: 25 de junio de 2009; 16h16

⁸⁷ IDEM

⁸⁸ El bucle de abonado es aquella parte de la red de acceso que une al abonado / usuario con el primer nodo de la red de comunicación en cuestión. http://es.wikitel.info/wiki/Bucle_de_abonado; Acceso: 25 de junio de 2009;16h48

RADSL utiliza modulación DMT (como es mayormente el caso para ADSL). Esta tecnología se encuentra en proceso de ser estandarizada por el ANSI.⁸⁹

2.2.2.4 GigADSL o G.HDSL

Es un servicio de acceso indirecto al bucle de abonado basado en el establecimiento de un Circuito Virtual Permanente⁹⁰ (CVP) ATM entre el usuario y el Punto de Acceso Indirecto (PAI) al bucle de abonado del operador que contrate este servicio.

2.2.2.4.1 Descripción de GigADSL

En la Figura 2.23. Descripción de GigADSL se representa la red que soporta GigADSL. En la figura se representan 3 operadores, llamados A, B y C. Los operadores A y B dan servicio en todas las demarcaciones, mientras que el operador C sólo da servicio en la demarcación número 1. Por tanto, los operadores A y B tienen PAIs en todas las demarcaciones, mientras que el operador C sólo dispone de un PAI en la primera demarcación.

El PAI de un operador es un trayecto virtual ATM que agrupa los circuitos virtuales permanentes de los usuarios servidos por ese operador en una determinada demarcación.

Una vez que un operador reciba la petición de un acceso ADSL por parte de un cliente, el operador trasladará la petición a una empresa que procederá a aprovisionar el servicio.⁹¹

⁸⁹ <http://es.kioskea.net/contents/technologies/adsl.php3?spage=3>; Acceso: 25 de junio de 2009; 16h43

⁹⁰ <http://www.telefonica.com.pe/tarifas/pdf/oficiales/05%20ATM.pdf>; Acceso: 25 de junio de 2009; 17h07

⁹¹ <http://www.adslnet.es/index.php/2001/02/07/qu-es-gigadsl/>; Acceso: 25 de junio de 2009; 17h11

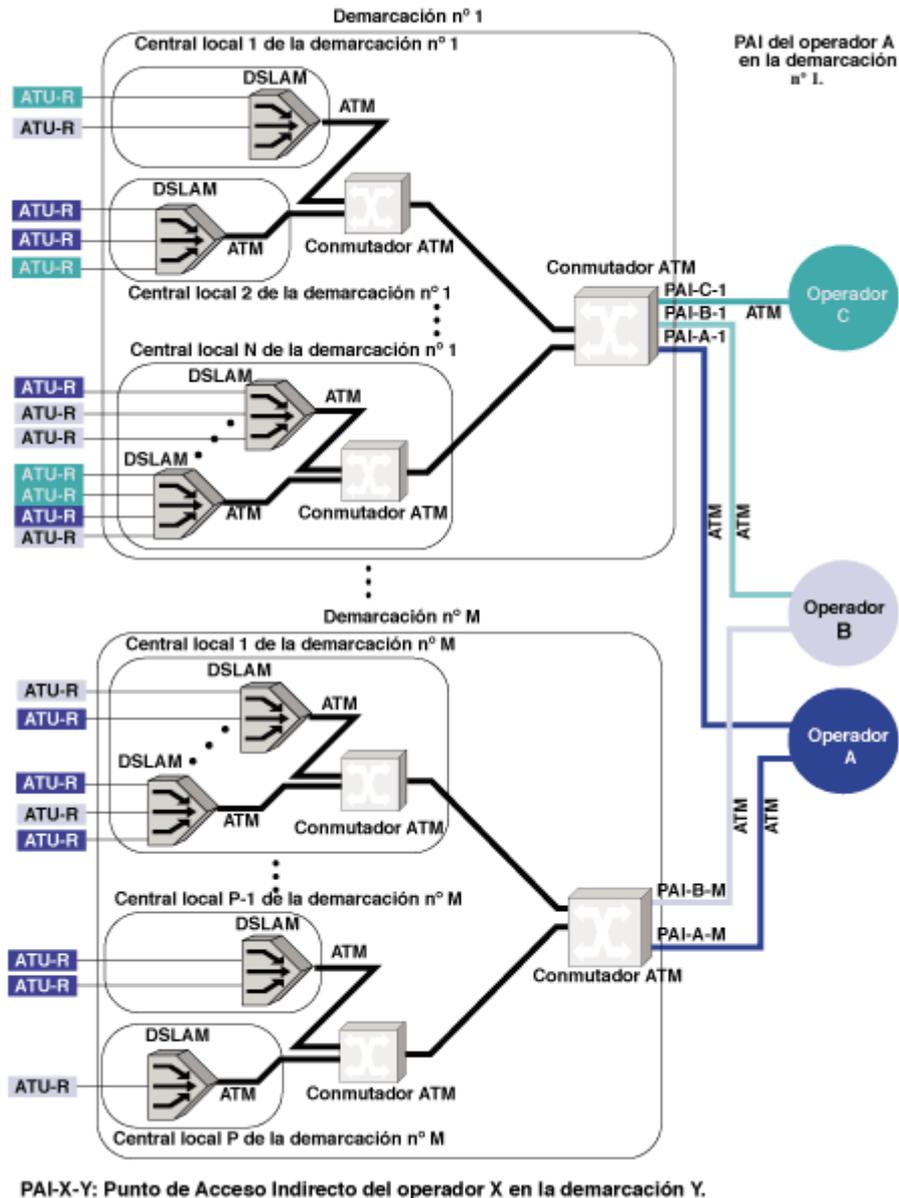


Figura No. 2.23 Descripción de GigADSL

Fuente: Sistema ADSL⁹²

2.2.2.5 VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line)

DSL de muy alta tasa de transferencia, está basada en la RADSL. Puede admitir, con un sólo par trenzado, velocidades descendentes de 13 a 55,2 Mbps y velocidades ascendentes de 1,5 a 6 Mbps o en caso de que se requiera una conexión simétrica, una velocidad de 34 Mbps en ambas direcciones. Por lo tanto, VDSL puede usarse tanto en conexiones simétricas como asimétricas.

⁹² <http://www.adslnet.es/index.php/2001/02/07/qu-es-gigadsl/>; Acceso: 25 de junio de 2009; 17h11

Esta tecnología fue desarrollada principalmente para el transporte de ATM (*Modo de transferencia asíncrono*) a altas velocidades en una distancia corta de hasta 1,5 km).

Actualmente el estándar está en proceso de ser certificado. Las modulaciones QAM, CAP, DMT, DWMT (Multitono discreto wavelet) y SLC (Código de línea simple) están bajo consideración.

Para el transporte de datos, el hardware de VDSL se vincula al intercambio de conexión a través de bucles SDH de fibra óptica a 155 Mbps, 622 Mbps, 2,5 Gbps. El transporte de voz entre el hardware de VDSL y el intercambio también puede ofrecerse a través de bucles de cobre.⁹³

2.2.2.6 HDSL (High speed Digital Subscriber Line)

DSL de alta velocidad fue la primera tecnología DSL que apareció y fue desarrollada a comienzos de la década de 1990.

Esta tecnología consiste en dividir el núcleo digital de la red: T1 en los Estados Unidos, por medio de 2 cables trenzados y E1 en Europa, con 3 cables trenzados. Con esta tecnología se pueden alcanzar velocidades de 2 Mbps en ambas direcciones con tres pares trenzados y 1,5 Mbps en ambas direcciones con dos pares trenzados. Puede suceder que la velocidad de 2 Mbps descienda a 384 Kbps debido, por ejemplo, a la calidad y a la distancia de la línea durante el último kilómetro (entre 3 y 7 Km según el diámetro del cable, que puede variar entre 0,4 mm y 0,8 mm respectivamente).

La conexión puede ser permanente pero ninguna línea telefónica estará disponible durante una conexión HDSL. El problema que esta tecnología presenta en este momento es que su estandarización aún no es perfecta.⁹⁴

⁹³ <http://es.kioskea.net/contents/technologies/adsl.php3?spage=3>

⁹⁴ <http://es.kioskea.net/contents/technologies/adsl.php3?spage=3>

2.2.2.7 SDSL y SHDSL (Symetric High speed Digital Subscriber Line)

Corresponde a una de las soluciones con velocidades simétricas tanto de subida como de bajada. La tecnología SDSL (*DSL de un sólo trenzado* o *DSL simétrica*) es la predecesora de HDSL2 (esta tecnología derivada de HDSL debe proporcionar el mismo rendimiento pero con un solo par trenzado). Está diseñada para una distancia más corta que la que cubre la HDSL. La tecnología SDSL seguramente desaparecerá en favor de la HDSL2 y más aún de las tecnologías sucesoras como G.HDSL, ADSL2+, etc. La Figura No. 2.24 presenta los servicios SHDSL

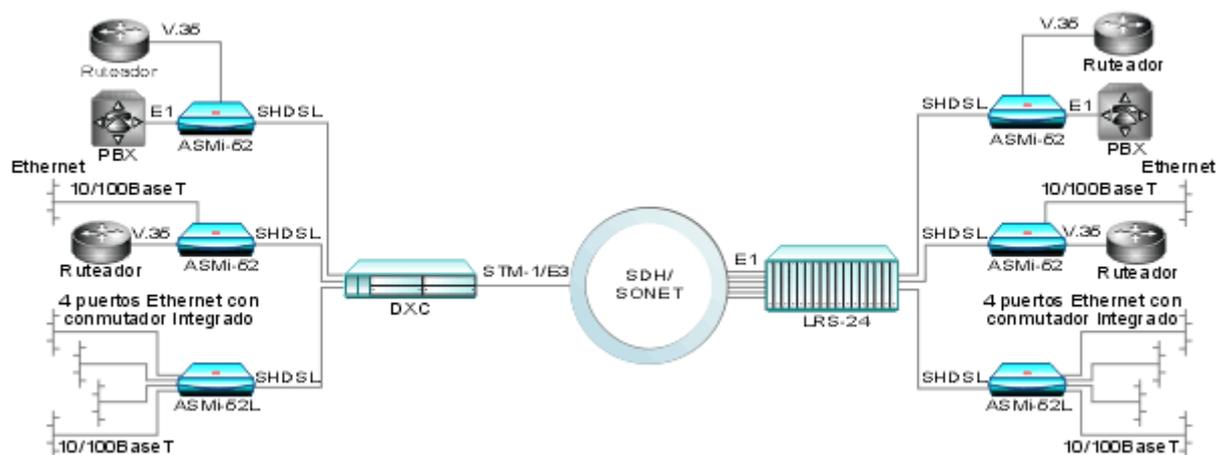


Figura No. 2.24 Variedad de servicios sobre SHDSL⁹⁵

Fuente: Tecnología SDHSL

2.2.2.8 IDSL (ISDN Digital Subscriber Line)⁹⁶

Denominada también Red de servicios Integrados por sus siglas en español; es una evolución de los primeros intentos de generar líneas digitales de extremo a

⁹⁵<http://www.rad-espanol.com/Article/0,6583,30244->

Modems_SHDSL_cuatro_cables,00.html?WT.srch=1&gclid=COaC6tawrpsCFQN5xwodbguzyA, Acceso: 28 de junio de 2009; 21h02

⁹⁶ IDSL son las siglas de **ISDN Digital Subscriber Line**, proporciona la tecnología **DSL** sobre líneas **ISDN**, o dicho de otro modo, ofrece un servicio básico de **RDSI** utilizando la tecnología DSL. Los circuitos de IDSL llevan los datos (no voz).

extremo y que proporcionarían una gama de servicios entre ellos la transmisión de datos. Esta es una evolución de la tradicional red telefónica conmutada usada para transmitir voz que al ofrecer conexiones digitales de extremo a extremo permite la integración de multitud de servicios en un único acceso, independientemente de la naturaleza de la información a transmitir y del equipo terminal que la genere.

2.2.3 RED ACTUAL DE TRANSMISIÓN DE LA CNT A NIVEL NACIONAL

2.2.3.1 Redes NGN situación actual y futura

Actualmente se tiene en Quito y Guayaquil centrales tránsito nacionales e internacionales con tecnología TDM⁹⁷ y se encuentran algunos operadores nacionales e internacionales interconectados mediante las redes NGN (redes de nueva generación) ubicadas en Quito y Guayaquil. Para esto es necesario reemplazar las centrales tránsito actuales TDM por nuevas redes NGN.

Actualmente se tiene dos redes NGN de clase 5 y se tiene las centrales tránsito nacional e internacional TDM ubicadas en Quito y Guayaquil, se plantea una nueva red NGN de clase 4 que permita reemplazar las centrales tránsito en Quito y Guayaquil por Softswitchs⁹⁸ que trabajen en carga compartida y que puedan trabajar en dual homming (doble anillo), con sus respectivos MGW (media Gateway) con SS7 que permita la interconexión con operadores nacionales e internacionales mediante tecnologías TDM e IP, estos softswitchs se interconectarán a su vez con las redes NGN de clase 5 de Quito y Guayaquil para enviar todo el tráfico mediante protocolos IP permitiendo nuevos servicios y

⁹⁷ Multiplexación por división de tiempo, del inglés Time Division Multiplexing, es el tipo de multiplexación más utilizado en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digital, y centrales telefónicas digitales.

⁹⁸ Principal dispositivo en la capa de control dentro de una arquitectura NGN (Next Generation Network), encargado de proporcionar el control de llamada (señalización y gestión de servicios), procesamiento de llamadas, y otros servicios, sobre una red de conmutación de paquetes (IP).

reduciendo recursos a utilizarse de esta manera se separa todo el tráfico interno de la CNT del tráfico de interconexión nacional e internacional.⁹⁹

2.2.3.2 Core de la red Backbone IP/MPLS

Las redes de nueva generación se destacan por la convergencia de servicios de voz, datos y video en una única plataforma. La tecnología MPLS permite la convergencia de estos servicios en una única red de transporte de paquetes con grandes prestaciones de velocidad, escalabilidad, seguridad y calidad de servicio.

Actualmente está por concluirse dos contratos los cuales contemplan la adquisición de equipos, instalación, pruebas de conectividad, mantenimiento y respaldo de la red a nivel nacional IP/MPLS¹⁰⁰; con la implementación de diversos nodos distribuidos en todo el territorio nacional.

Las tecnologías de nueva generación permiten la reducción de costos operativos relacionados con tecnología antigua, tales como repuestos, mantenimiento, etc., además del ahorro operacional y de explotación por la integración de múltiples redes en una única plataforma multiservicio.

Las empresas fusionadas (Andinatel y Pacifictel), tienen redes de datos independientes en sus zonas de cobertura.

Andinatel opera con varias redes troncales: una red Metro Ethernet, un Backbone ATM¹⁰¹, una red TDM, y finalmente tiene en fase de implementación en un 98% de consecución de la nueva red IP/MPLS para la provincia de Pichincha; y como CNT a nivel nacional.

⁹⁹ Plan de Inversiones 2009, Gerencia de Evaluación de Proyectos CNT S.A.

¹⁰⁰ IP/MPLS (siglas de *Multiprotocol Label Switching*) es un mecanismo de transporte de datos estándar de Conmutación Multi-Protocolar mediante Etiquetas; puede manejar tráfico IP.

¹⁰¹ Modo de Transferencia Asíncrona o Asynchronous Transfer Mode (ATM).

Pacifictel dispone de una red Metro Giga-Ethernet IP/MPLS, una red SDH¹⁰² en la ciudad de Guayaquil, complementada con una red regional de switches interconectados mediante E1s (1 E1= 2.048 Mbps) sobre SDH.

El Plan Nacional de Conectividad de la CNT tiene metas y objetivos para los servicios de telefonía, datos e Internet: para poder cumplir con los índices de penetración en cada una de las regiones.

La CNT tiene un Core metropolitano de datos en las ciudades principales como Quito y Guayaquil, la interconexión y ampliación de estas redes a nivel nacional, permitirán proporcionar servicios competitivos en el mercado de las telecomunicaciones.

La implementación del Backbone Nacional IP/MPLS, apalanca los demás proyectos de tecnología IP, que permiten ofrecer una gran variedad de servicios buscando la reducción de costos para los usuarios finales, y la provisión de tecnologías futuras tanto en voz, datos y video.

Se pretende disponer de una estructura de red de datos, que permita ofrecer redundancia de todos los servicios que se conecten e interconectan por medio de este equipamiento, tal como telefonía fija alámbrica e inalámbrica, telefonía móvil, Internet de banda ancha, servicio de IPTV; se aprovecha la cobertura del Backbone Nacional de Fibra Óptica, y así proveer servicios en diferentes poblaciones, cumpliendo con las metas del Plan Nacional de Conectividad. Ver *Anexo No. 2*

2.2.3.3 Fibra Óptica

La infraestructura desplegada e instalada por la empresa correspondiente a enlaces de fibra óptica, comprenden los anillos principales del backbone nacional de fibra óptica utilizando tecnología DWDM denominados Anillo 1 y Anillo 2 que cubren la mayor parte de la transmisión del territorio nacional. Sin embargo

¹⁰² Jerarquía digital síncrona (SDH) (Synchronous Digital Hierarchy)

existen macro proyectos de inversión de infraestructura para complementar estos anillos principales y extender la cobertura de transmisión en todo el Ecuador. Ver *Anexo No. 2*.

2.2.4 RED ACTUAL DE TRANSMISIÓN DE LA CNT INSTALADA EN LOS SECTORES DE CAYAMBE, TABACUNDO Y LA ZONA TURÍSTICA DE OTAVALO.

2.2.4.1 PSTN del sector, capacidad, tecnologías.

Dentro del plan de migración de centrales telefónicas por Sistemas de Nueva Generación controlados por el Softswitch Softx3000 de Huawei, se ha contemplado en el presente año el reemplazo y ampliación de las centrales de Cayambe (Ericsson), junto con sus concentradores remotos de Tabacundo y Olmedo, El Coca (Siemens), La Unión (Samsung) y El Tena (Siemens).

Estas centrales telefónicas corresponden a tecnología TDM, para la cual el proveedor ya no presta soporte técnico ni realiza ningún tipo de desarrollo, imposibilitando la ampliación de líneas telefónicas. Además, con estas centrales no es posible dar servicio de Internet banda ancha.

Actualmente la Central Digital de Cayambe marca Ericsson modelo AXE-10 con capacidad para 5888 usuarios¹⁰³ no se puede ampliar y no permite dar servicio de Internet banda ancha se propone el reemplazo y ampliación por un Sistema de Nueva Generación que permita entregar servicios de voz y datos.

La zona en estudio de la provincia de Imbabura que comprende la zona turística de Otavalo es atendida mediante el sistema multiacceso SMD-30 por una parte y por otra la central en Otavalo; como tal las líneas telefónicas no están preparadas para dar el servicio de Internet a alta velocidad por lo que los usuarios contratan otros proveedores del servicio. Debido a que se trata de una zona donde los

¹⁰³ Sistema Informático de Geo-referenciación GIS – CNT, Corporación Nacional de Telecomunicaciones, acceso: 17 Junio de 2009; 12h30.

abonados están dispersos, se encuentran tendidas líneas telefónicas de varios kilómetros de longitud, las mismas que continuamente sufren averías por caída de árboles, maleza y derrumbes de laderas. El servicio telefónico en temporadas de lluvia presenta ruido, que producen quejas de los usuarios.

Para entregar un servicio de voz y datos con calidad y aumentar la disponibilidad del servicio en estos sectores, es necesario adquirir equipos de acceso inalámbrico de moderna tecnología como sería del caso el sistema WiMAX, aprovechando la concesión de autorización de uso de frecuencias otorgada por el CONATEL.

2.2.4.2 Requerimientos Actuales, demanda del sector en estudio para servicios de telecomunicaciones

En la Tabla No. 2.5, se detalla de manera resumida y objetiva, los datos principales de demanda de servicios de telecomunicaciones en el sector, obtenida por la CNT mediante contrato con una empresa consultora de estadísticas y censos. Estos datos se encuentran actualizados a mayo del presente año y estructuran el punto de partida para el diseño propuesto en el capítulo tercero.

En cada unos de los casos referentes a la capacidad de POTS de voz, puertos ADSL de Internet y enlaces de datos a ser ampliados en cada una de las localidades indicadas; ha sido debidamente sustentada por las áreas solicitantes dentro de la empresa, verificados por la Gerencia de Conmutación, la Gerencia de Ingeniería y la Gerencia Nacional de Negocios; estos datos son expuestos en el cuadro a continuación:

LOCALIDAD	PROVINCIA	DEMANDA ACTUAL PUERTOS DE VOZ			DEMANDA DENTRO DE 5 AÑOS PUERTOS DE VOZ		
		Hogares	Pymes	Empresas	Hogares**	Pymes*	Empresas*
Cayambe y sus alrededores	Pichincha	445	67	8	510	93	11
Tabacundo y sus alrededores	Pichincha	318	42	2	365	59	3
Otavalo + Zona turística	Imbabura	695	105	9	795	147	13

LOCALIDAD	PROVINCIA	DEMANDA ACTUAL PUERTOS DE INTERNET			DEMANDA DENTRO DE 5 AÑOS PUERTOS DE INTERNET		
		Hogares	Pymes	Empresas	Hogares**	Pymes*	Empresas*
Cayambe y sus alrededores	Pichincha	248	56	12	546	84	18
Tabacundo y sus alrededores	Pichincha	177	35	10	390	53	15
Otavaló + Zona turística	Imbabura	386	88	14	850	132	21

LOCALIDAD	PROVINCIA	DEMANDA ACTUAL TRANSMISIÓN DE DATOS	DEMANDA DENTRO DE 5 AÑOS TRANSMISIÓN DE DATOS
		EMPRESAS	EMPRESAS*
Cayambe y sus alrededores	Pichincha	48	72
Tabacundo y sus alrededores	Pichincha	34	51
Otavaló + Zona turística	Imbabura	45	68

Tabla No. 2.5 Requerimientos actuales y futuros de demanda en los sectores en estudio

Fuente: Estudio de demanda Gerencia Nacional de Proyectos CNT S.A.¹⁰⁴

(*) Cifras acumulativas

() Cifras no acumulativas**

2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE WIMAX EN EL ECUADOR

2.3.1 TECNOLOGÍA WIMAX EN LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT S.A.

La empresa ha adoptado esta tecnología desde hace poco tiempo. Gracias a las ventajas y altas prestaciones definidas y antes descritas de esta tecnología, es que la empresa ha optado por esta solución para desplegar de forma rápida, económica y versátil su cobertura en parte del territorio nacional donde existe demanda no satisfecha y en el cual no existe infraestructura cableada principalmente de planta externa y de última milla.

¹⁰⁴ Proyecto: Contratación del estudio de demanda para servicios de voz y multiservicios.

En el portafolio de proyectos del plan de inversiones del año 2008, se contempló la primera fase del proyecto nacional inalámbrico denominado WiMAX nacional el cual incluía el diseño, adquisición, instalación y puesta en funcionamiento de 55 (cincuenta y cinco) radio bases desplegadas en gran parte del territorio nacional.¹⁰⁵ *Ver anexo No. 3.*

Para el presente año se planifica la ampliación del denominado proyecto en algunas localidades más, para completar y satisfacer las demandas en el resto del país. El presente trabajo da soporte a algunos de los diseños WiMAX ha implementarse, en forma particular a los sectores antes señalados.

2.3.2 OTRAS REDES WIMAX INSTALADAS EN EL PAÍS POR EMPRESAS PRIVADAS

En el Ecuador, la empresa privada también ha optado por la tecnología WiMAX como solución para brindar servicios de telecomunicaciones; incrementar su cobertura, desplegar su infraestructura de forma rápida y estar a la vanguardia tecnológica. El WiMAX Forum entre muchas otras actividades más, tiene como objetivo centralizar la información de estadísticas en cuanto al despliegue mundial de esta tecnología; a través de su página de Internet se muestran los datos de empresas que han instalado, están implementando o planifican sus redes con equipos WiMAX. En los anexos se presentan algunos gráficos que detallan las empresas privadas como TV Cable, Setel, Punto Net y Telmex con esta tecnología en el país. *Ver Anexo No. 4.*

¹⁰⁵ Gerencia Nacional de Proyectos de la CNT S.A.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA ARQUITECTURA E INFRAESTRUCTURA DE LA RED BASADA EN WIMAX

En este capítulo se hace énfasis en el diseño de la red de telecomunicaciones utilizando el estándar IEEE 802.16e WiMAX mobile (móvil) para los cantones de Cayambe, Pedro Moncayo junto con las zonas industriales, florícolas y el sector turístico de la ciudad de Otavalo. De acuerdo a las consideraciones técnicas, análisis de la situación actual e infraestructura de la CNT, requerimientos y demanda del sector presentada en los capítulos anteriores se sustenta el estudio, diseño y simulación de la interfaz aire que se propone a continuación.

Las consideraciones y características que se toman en cuenta para realizar el diseño de la red inalámbrica con tecnología WiMAX, entre estos aspectos: bandas de frecuencia a utilizarse, tipo de tráfico a cursar por la red, los principales componentes genéricos que forman parte de una red WiMAX, las características técnicas específicas de los equipos a utilizarse en el estudio; la arquitectura y topología de la red, entre otras de las características relevantes. Para el análisis y simulación de la cobertura, e interfaz aire del diseño, se utilizará el software de libre acceso "RADIO MOBILE", herramienta informática empleada para realizar cálculos de radio enlaces y simulaciones de cobertura, eficiencia, pérdidas de espacio libre, de redes inalámbricas; las características de este software se detallan más adelante en este documento.

Sobre la base de lo expuesto se presenta el diseño de una red inalámbrica WiMAX que permita su posible implementación futura y satisfaga la demanda del sector geográfico en estudio.

3.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En la actualidad todavía representa un desafío ofrecer aplicaciones de banda ancha, así como servicios de comunicación en tiempo real, en escenarios con movilidad y en algunos casos inclusive para suscriptores con terminales fijos. Son numerosas las iniciativas y protocolos desarrollados para resolver el problema de la gestión de la movilidad y la comunicación inalámbrica de banda ancha y de gran cobertura. En entornos en los que se propone una red inalámbrica de gran cobertura y con acceso de banda ancha, la construcción y pruebas es, si cabe, aun más compleja que en cualquier otro escenario. De ahí la necesidad de una fase previa de simulación. Este diseño presenta el desarrollo sobre una plataforma de simulación, denominada RADIO MOBILE v.10.1.4, herramienta basada en el modelo de transmisión por espacio libre: *Longley-Rice*, descrito más adelante; que utiliza además, cartografía digital especializada del área geográfica en estudio y disponible en la Internet; el software se configura para arquitecturas de red basadas en tecnología IEEE 802.16e, en entornos con usuarios fijos, con terminales de usuario o CPE's fijos indoor, y con posibilidades de terminales móviles de acuerdo a lo que soporta el estándar utilizado.

Se realiza una descripción general de los componentes que forman parte de la red inalámbrica; sin embargo para efectos de la simulación y configuraciones del software RADIO MOBILE se ha tomado las características técnicas de equipos específicos de marca: HUAWEI, utilizados por la CNT en el despliegue de la red inalámbrica WIMAX; se considera al fabricante HUAWEI, por varios aspectos técnicos y económicos explicados más adelante, sin embargo para justificar el uso de las especificaciones técnicas de este fabricante se puede mencionar que se contaba con la información más completa disponible. Cabe destacar que esto no representa que la red deberá funcionar solamente con equipos de este fabricante; sino con cualquier tipo de equipo que cumpla con los estándares IEEE 802.16d o IEEE 802.16e.

Para la arquitectura de red propuesta, se ha tomado en consideración la infraestructura de telecomunicaciones actual con la que cuenta la empresa,

detallada en el segundo capítulo de este proyecto; la conexión y acceso de la nueva red WiMAX al backbone principal de transmisión de datos toma en consideración dicha infraestructura.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones cuenta con un contrato vigente para el estudio de demanda de servicios de voz y telecomunicaciones a nivel nacional. Los resultados adaptados a la realidad del sector en estudio se han tomado como preliminares para el análisis, diseño y simulación de la red inalámbrica WiMAX. Como se muestra en una de las secciones de este capítulo, la demanda en el sector se considera como demanda dispersa en algunos sectores, indicándose la ubicación georeferenciada correspondiente.

A partir del análisis de cobertura, niveles de señal obtenidos en los puntos de prueba geográficos, tipo de tráfico a soportarse entre otros resultados, permitirá concluir que, una arquitectura de red basada en WiMAX, es una buena apuesta para dar soporte a Internet, comunicación de VoIP¹⁰⁶, transmisión de datos entre los principales servicios brindados.

3.1.1 BANDA DE FRECUENCIA A UTILIZARSE

En referencia al contenido del capítulo uno, en el que se describen las principales bandas de frecuencia utilizadas con esta tecnología, se detalla de manera resumida las características técnicas más comunes que utilizan la mayoría de equipos con tecnología WiMAX¹⁰⁷:

- Las estaciones base (BTS) soportan bandas de frecuencias de 2.5 GHz (entre 2. 2.496 GHz y 2.690 GHz); utilizando generalmente intervalos de frecuencia de 50 KHz y un ancho de banda de 5 MHz y 10 MHz.
- Bandas de frecuencia de 2.3 GHz (entre 2.3 GHz y 2.4 GHz), de la misma manera con 50 KHz de intervalos de frecuencia con anchos de banda de 5 MHz y 10 MHz.

¹⁰⁶ VoIP: Voz sobre IP (transmisión de voz usando el protocolo IP)

¹⁰⁷ http://www.upv.es/antenas/Tema_1/bandas_de_frecuencia_1.htm; Acceso: 27 de julio de 2009

- Soportan además la banda de frecuencia de 3.5 GHz (entre 3.4 GHz y 3.6 GHz), con intervalos de frecuencia de 50 KHz y anchos de banda de 5 MHz, 7 MHz, y 10 MHz. Todos estos anchos de banda son configurados a través del software de administración de la BTS.

A través de modificaciones y adecuaciones técnicas realizadas en las RRU¹⁰⁸ y dependiendo de los tipos de filtros instalados en las RRU se puede adecuar a los diferentes requerimientos de la red para operar en diferentes bandas de frecuencia y anchos de banda.

La banda de frecuencia para operación de sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA¹⁰⁹), esta dividida en 4 bloques de frecuencia comprendidos en dos bandas que van desde 3.4 - 3.5 GHz y 3.5 - 3.6 GHz (cada sub-banda, comprende dos bloques de 25 MHz con un total de 50 MHz), en todo el territorio nacional. La figura No. 3.1 muestra las 4 sub-bandas de operación para sistemas de acceso fijo inalámbrico (FWA) en el país.

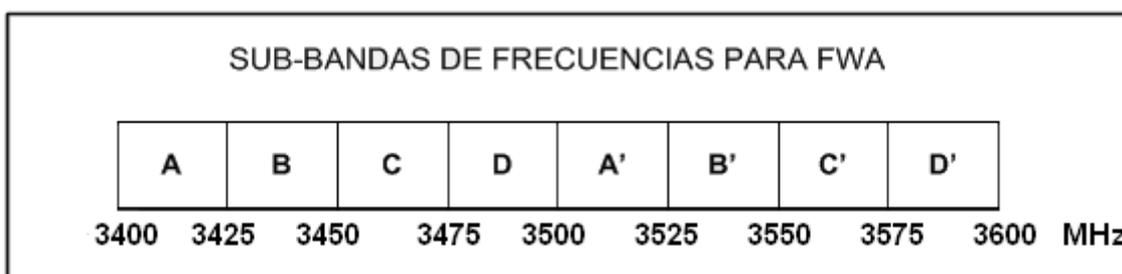


Figura No. 3.1 Sub-bandas de frecuencias para servicios inalámbricos

Fuente: CONATEL

En el mes de julio del 2002, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), realizó la concesión a la ex empresa ANDINATEL S.A. la banda de frecuencia A y A', la cual otorga la concesión al Servicio Final de Telefonía Fija Local, Servicio de Telefonía Pública a través de su propia infraestructura, Servicio de Portador y el permiso para prestar Servicios de Valor Agregado.

¹⁰⁸ RRU: Remote Radio Units (por sus siglas en Inglés); Unidades remotas de radio.

¹⁰⁹ FWA por sus siglas en inglés *Fixed Wireless Access*.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones tiene la concesión de la banda A-A' de los 3.5 GHz (3400 MHz – 3425 MHz y 3500 MHz – 3525 MHz)¹¹⁰ para operar con equipos de tecnología WiMAX¹¹¹; (Ver anexo No. 5). En virtud de ello para el diseño propuesto se utilizará la banda de frecuencia de 3.5 GHz con 50 KHz de intervalos de frecuencia y con 10 MHz de ancho de banda.

3.1.1.1 Análisis y Reuso de Frecuencias

El espectro de frecuencias es un recurso limitado. Los operadores de red inalámbrica a menudo tienen que competir en la adquisición de licencias para operar en las frecuencias de su elección. Por supuesto, todavía tienen otra alternativa, utilizar el espectro sin licencia en las bandas exentas. Pero entonces, tienen que encontrar los medios para controlar la interferencia de otras redes que comparten la misma banda y limitar el contagio a otros usuarios de la banda.

WiMAX móvil será implementado como una red celular (2G, 3G), lo que requiere un gran número de estaciones base para tener una cobertura considerable. Así que en la mayoría de los casos se operen en bandas licenciadas. La operación en bandas sin licencia puede ser considerada sólo para el despliegue en nuevas instalaciones, donde no hay otros usuarios del mismo espectro.

Independientemente de la licencia o sin licencia del espectro, las frecuencias tienen que ser utilizadas de manera eficiente. Por lo tanto, es crucial para mantener una reutilización de frecuencias. Una reutilización de frecuencias se logra cuando todos los sectores dentro de una celda y todas las células dentro de una red operan en el mismo canal de frecuencia. Sin embargo, una reutilización de frecuencias en una red celular implica que los usuarios en el borde de la célula pueden recibir señales de degradación debido a la interferencia de las células

¹¹⁰ “La banda 3 400 – 3 700 MHz está utilizada por el servicio FIJO para la operación de sistemas FWA (Fixed Wireless Access)”

http://www.conatel.gov.ec/aplicaciones_senatel/espectro/notas_espectro.php?codigo_eqa=EQA.60&codigo_atrib=526; Acceso: 15 sep. 09; 10h50.

¹¹¹ Gerencia de Ingeniería - Gerencia Nacional de Proyectos de la CNT, Gerencia de Regulación de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

adyacentes.

WiMAX se ocupa de este tema de la reutilización de frecuencias ligeramente. Funciona permitiendo a los usuarios en un centro de la celda funcionar en todos los sub-canales disponibles. El centro de la celda es el área más cercana a una estación base (BS), que es especialmente inmune a la interferencia co-canal, mientras que a los usuarios en un borde de celda sólo se les permite operar en una fracción de todos los sub-canales disponibles. Esta fracción de sub-canales se asignan de tal manera que los bordes las células adyacentes operarán en diferentes conjuntos de sub-canales como se muestra en la Figura No. 3.2. Esto se conoce como la reutilización de frecuencias fraccionada.

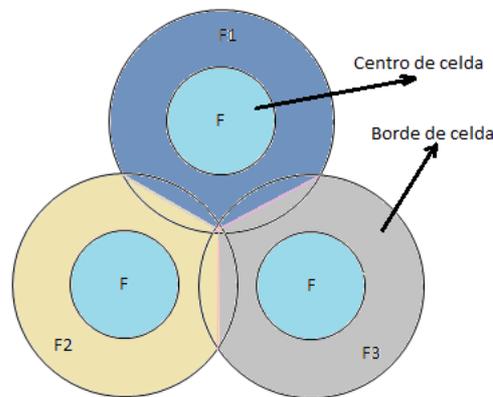


Figura No. 3.2 Re-uso de frecuencia fraccional

F1, F2 y F3 son diferentes conjuntos de sub-canales, asignados a los usuarios en los bordes de la célula.

$F = F1 + F2 + F3$. El sub-conjunto de canales (F) se asigna a los usuarios en los centros de la célula.

Fuente: Fractional Frequency Reuse in Mobile Wimax¹¹²

La reutilización de frecuencias fraccionada se aprovecha del hecho de que el usuario transmita WiMAX móvil en los sub canales (porque en OFDMA, un canal se divide en sub-canales) y no ocupa un canal entero como en 3G (CDMA2000 o WCDMA). La reutilización de frecuencias fraccionada maximiza la eficiencia

¹¹² <http://www.conniq.com/WiMAX/fractional-frequency-reuse.htm>; Acceso: 09 de octubre de 2009: 10h30

espectral para los usuarios en un centro de células y mejora la intensidad de la señal y el rendimiento para los usuarios en el borde de la célula.¹¹³

3.1.2 ANTENAS A UTILIZARSE

En el estándar WiMAX, los sistemas de antenas constituyen un tema muy especial.

En la primera versión del estándar IEEE 802.16d se usan antenas convencionales fijas que cubren determinados sectores, siendo las más usadas las omnidireccionales hasta las de sectores de 120° o 90°. En este tipo de antenas, la potencia de transmisión se distribuye igualitariamente dependiendo de la cantidad de sectores que se haya elegido. Se puede privilegiar el servicio de mayor cantidad de abonados en un cierto sector, mediante el uso de antenas de diferente polarización en el sector en que se ha creado el privilegio.¹¹⁴

Con la nueva versión del estándar IEEE 802.16e, que es la que se utilizará en el presente diseño, han aparecido nuevos tipos de antenas, conocidas como antenas “inteligentes” (smart antennas), las cuales adaptan sus lóbulos de radiación a fin de adecuarse a un tipo determinado de tráfico en entornos difíciles. Estas antenas utilizan sistemas de codificación adaptativa y codificación avanzada para el control de errores. Los tipos más conocidos son los siguientes:

3.1.2.1 MRA (Maximum Response Angle)

Antenas de ángulo de máxima respuesta, conocidas también como *Beamforming*, controlan dinámicamente el direccionamiento de la energía emitida, mediante la modificación de sus lóbulos de radiación en función de la ubicación instantánea de los usuarios del sistema¹¹⁵. Es un filtro espacial que opera a la salida de un

¹¹³ <http://www.conniq.com/WiMAX/fractional-frequency-reuse.htm>

¹¹⁴ Asesoría Técnica para el Proyecto de Expansión Inalámbrica de la CNT realizado por ASETA (Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina), Mayo 2009.

¹¹⁵ Asesoría Técnica para el Proyecto de Expansión Inalámbrica de la CNT realizado por ASETA (Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina), Mayo 2009.

arreglo de sensores o transmisores, con el objeto de mejorar la amplitud de un frente de ondas coherentes en relación al ruido de fondo. Se basa en el carácter directivo de la señal, concentrando la mayor parte de la energía en una dirección específica. La dirección de apuntamiento recibe el nombre de Maximum Response Angle (MRA). La formación del haz en el dominio del tiempo se realiza mediante el retardo y suma de un arreglo de transductores¹¹⁶. En suma, permite obtener haces más directivos.

3.1.2.2 MIMO (Multiple Input; Multiple Output)

Mejoran el rendimiento con una combinación de diversidad espacial y temporal. En este tipo de antenas, la trama original de datos transmitida se descompone en varias tramas parciales que se transmiten en diversidad temporal. En el extremo receptor, se recompone la trama original. El método se utiliza en modalidades de 2x4 o 4x4 significando el número de descomposición de tramas en transmisión y recepción respectivamente. Debido a las reflexiones por multitrayectorias, en recepción la señal a la salida de cada antena es una combinación lineal de múltiples tramas de datos, transmitidas por cada una de las antenas.

3.1.2.3 AAS (Adaptative Array System)

Sistema de arreglos de antenas adaptativo, es una combinación de los tipos indicados anteriormente. Consiste en múltiples arreglos de antenas que gestionan las interferencias y ruido recogido para maximizar la recepción. La forma del lóbulo varía con el entorno del canal. Corresponde a arreglos de 4 antenas que se pueden configurar en las siguientes modalidades:

- DL Broadcast + UL beamforming: Los cuatro elementos de antena se conectan a la estación base, en donde transmiten los 4 elementos, aumentando la ganancia del DL; UL utiliza beamforming.

¹¹⁶ Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida; por ejemplo energía eléctrica en campo electromagnético.

- DL beamforming + UL beamforming: En esta configuración se usa beamforming en ambos sentidos.¹¹⁷

Los distintos fabricantes de soluciones WiMAX privilegian el uso de cada tipo de antena inteligente en función de sus propios desarrollos y considerando el funcionamiento del sistema en alguno de los siguientes entornos: Rurales, Semi-urbanos, urbanos, altamente urbanos. En la tabla No. 3.1 se resume las principales características de las antenas descritas.

Características	MIMO	BEAMFORMING
Principio de Funcionamiento	Multiplexación por Diversidad Espacial Transmite múltiples streams de datos a través de múltiples antenas, tanto en Tx como en Rx.	Modificación dinámica de los lóbulos de radiación en relación al ruido de fondo. Concentra la mayor parte de la energía direccionalmente para maximizar la recepción.
Objetivo	Maximizar la eficiencia espectral	Maximizar alcance por potencia.
Uso recomendado	Eficaz en entornos urbanos y altamente urbanos con multitrayectorias.	Eficaz en entornos rurales y semiurbanos.
Ventajas	Multiplica la tasa de transmisión. Disminuye el fading (desvanecimiento).	Aumenta la cobertura. Disminuye las posibilidades de interferencia en canal adyacente.
Desventajas	Mayor costo de implementación y software más complejo. Mayor consumo de energía	No mejora la eficiencia espectral.

Tabla No. 3.1 Cuadro de Resumen características de antenas usadas en WiMAX

Fuente: Antenas de WiMAX¹¹⁸

En conclusión se utilizarán antenas MIMO para ciertas radio bases y antenas con Beamforming para otras radio bases dependiendo del entorno; ya que sus

¹¹⁷ Asesoría Técnica para el Proyecto de Expansión Inalámbrica de la CNT realizado por ASETA (Asociación de Empresas de Telecomunicaciones de la Comunidad Andina), Mayo 2009.

¹¹⁸ <http://espanol.stelladoradus.com/wimax.antennas.php>; Acceso: 22de Agosto de 2009; 18h00

características como eficiencia, adaptabilidad, incremento de las tasas de transmisión, hacen de estas la mejor selección para el entorno en estudio.

3.2 SOFTWARE DE SIMULACIÓN A UTILIZARSE

Hasta hace pocos años, la aplicación de la ingeniería de radio al cálculo de coberturas se restringía a un ámbito estrictamente profesional, mediante la utilización de aplicaciones de propósito específico y de modelos digitales del terreno muy costosos, fuera del alcance de los pequeños usuarios. Esta situación cambió a finales de los 90 por dos motivos: la aparición del software gratuito “Radio Mobile” y la publicación igualmente gratuita de los datos en forma de modelo digital del terreno recogidos en la misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de la NASA.

3.2.1 QUE ES RADIO MOBILE

“Radio Mobile” es un excelente programa creado en 1998, destinado principalmente para radioaficionados y organizaciones de asistencia humanitaria o intervención en emergencias que precisen la utilización de sistemas de radiocomunicaciones, éste software ha sido desarrollado y/o actualizado desde entonces por el ingeniero y radioaficionado canadiense Roger Coudé.

El programa utiliza datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transceptores, sirven para alimentar un modelo de propagación de las ondas de radio conocido como “*Irregular Terrain Model*” (ITM), basado en el algoritmo de Longley-Rice e integrado en el propio programa, que permite determinar el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones que trabaje en una frecuencia comprendida entre los 20 y los 20.000 MHz.¹¹⁹

La misión SRTM de la NASA se realizó en febrero del año 2000 y tuvo una duración de 11 días, durante los cuales se acoplaron dos antenas de radar

¹¹⁹ http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_01.html; Acceso: 15 de septiembre de 2009; 12h30

especiales al trasbordador espacial Endeavour. Siguiendo una trayectoria perfectamente calculada, el trasbordador orbitó alrededor de la Tierra emitiendo señales con su radar de apertura sintética y recogiendo sus ecos. Mediante técnicas de interferometría¹²⁰, la combinación de los ecos radar recogidos para cada punto de medición permite obtener la altitud del terreno. Los datos fueron procesados por el Jet Propulsion Laboratory (JPL) del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para elaborar un modelo digital del terreno, cuya distribución final al público se realiza gratuitamente a través de la Inspección Geológica de los Estados Unidos (US Geological Survey).

El producto final del cálculo de los radioenlaces se plasmará en un mapa de cobertura, para cuya generación se utilizarán tres elementos básicos: cartografía de la zona donde se van a realizar los cálculos (por ejemplo, Google Earth), un modelo digital del terreno que cubra esa zona y el algoritmo de cálculos de propagación implementado en Radio Mobile.

3.2.1.1 Algoritmo de propagación ITM

El algoritmo de cálculos de propagación utilizado por Radio Mobile es el de *Longley-Rice*¹²¹, también conocido como "*Irregular Terrain Model*" o ITM. Está basado en la teoría del electromagnetismo y en el análisis estadístico de las características del terreno y de los parámetros del radio enlace, prediciendo la atenuación media de una señal de radio que se propaga en un entorno troposférico sobre terreno irregular. Para ello, calcula la atenuación media de la misma, en función de la distancia y de la variabilidad de la señal en el espacio y en el tiempo. Fue diseñado para frecuencias de trabajo entre 20 MHz y 20 GHz y para longitudes de trayecto entre 1 Km. y 2000 Km. El modelo ha sido adoptado por el Instituto de Ciencias de Telecomunicación del Departamento del Comercio de los Estados Unidos (ITS).

¹²⁰ Técnica utilizada en astronomía que consiste en combinar la luz proveniente de diferentes receptores, telescopios o antenas de radio para obtener una imagen de mayor resolución. www.wikipedia.org

¹²¹ http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/peu/material/Modelos_propagacion.ppt#258,18,Longley-Rice; Acceso: 18de Marzo de 2009:17h00

El modelo se describe como un algoritmo usado para hacer predicciones de áreas; es una aplicación de estimación preliminar, para la realización de diseños y proyectos de implementación de comunicaciones. Puede ser usado en diversas situaciones como por ejemplo comunicaciones tácticas militares y de vigilancia, sistemas terrestres de comunicación, fija y móvil.

3.2.2 Cartografía Digital y Modelos Digitales del Terreno

Como se había mencionado, el software radio mobile utiliza datos de cartografía digital, información sobre la elevación y topografía del terreno para generar un perfil de la trayectoria entre el transmisor y receptor. El mapa topográfico se superpone al mapa de trabajo y al mapa de cobertura para ofrecer información más completa al usuario final.

La herramienta maneja principalmente dos modelos digitales del terreno: GTOPO30/SRTM30 y SRTM-DTED¹²². Ambos modelos han sido elaborados por la NASA, son de utilización y distribución libres.

3.2.2.1 Modelo digital de terreno GTOPO30 / STRM30

Este modelo digital de terreno GTOPO30 fue desarrollado por el USGS (United States Geological Survey) por sus siglas en inglés, a partir de datos recogidos desde 1993 con una resolución de 30 segundos de arco, lo que implica 1 Km. de resolución. Todos los detalles de terreno inferiores a 1 Km. no se visualizan¹²³.

El modelo digital del terreno SRTM30 es modelo casi global que combina datos recogidos por la misión SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, STS-99) de la NASA y las agencias espaciales alemana e italiana en febrero del año 2000, con datos del modelo anterior GTOPO30, pudiendo considerarse por tanto como una mejora de este último.

¹²² <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html>; Acceso: 13 de Noviembre de 2009: 13h00

¹²³ <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html>; Acceso: 13 de Noviembre de 2009: 13h00

3.2.2.2 Modelo digital de terreno STRM – DTED

El modelo SRTM DTED (*Shuttle Radar Topography Mission – Digital Terrain Elevation Data*) se basa en los mismos datos recogidos en la misión SRTM de la NASA en febrero del año 2000, pero ofrece una resolución de hasta 1 segundo de arco para los Estados Unidos y de hasta 3 segundos de arco (aproximadamente 100 m) para el resto de regiones comprendidas entre las latitudes 56°S y 60°N. La cobertura total del modelo se muestra en la Figura No. 3.3. Este último modelo será utilizado para los cálculos del diseño y la simulación¹²⁴.

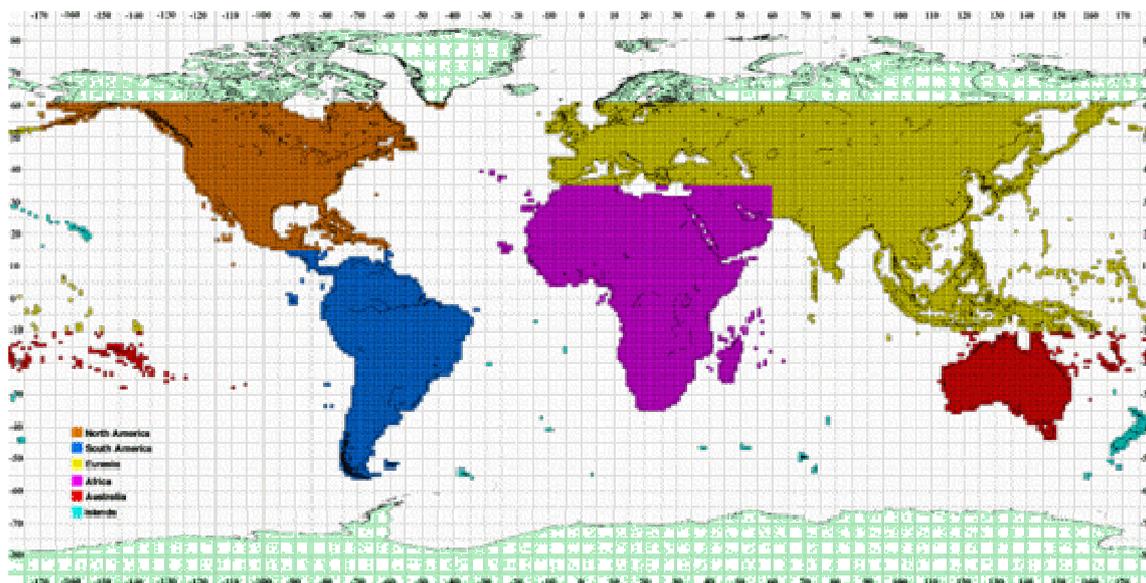


Figura No. 3.3 Cobertura del modelo digital STRM – DTED

Fuente: Manual para Radio Mobile¹²⁵

3.3 COMPONENTES DE UNA RED WIMAX

La Figura No. 3.4 muestra la arquitectura de una red WiMAX

¹²⁴ http://www.mission-planning.com/DTED_Part1.htm; Acceso 12 de septiembre de 2009; 12h00

¹²⁵ http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_03.html; Acceso 15 de septiembre de 2009; 16h00

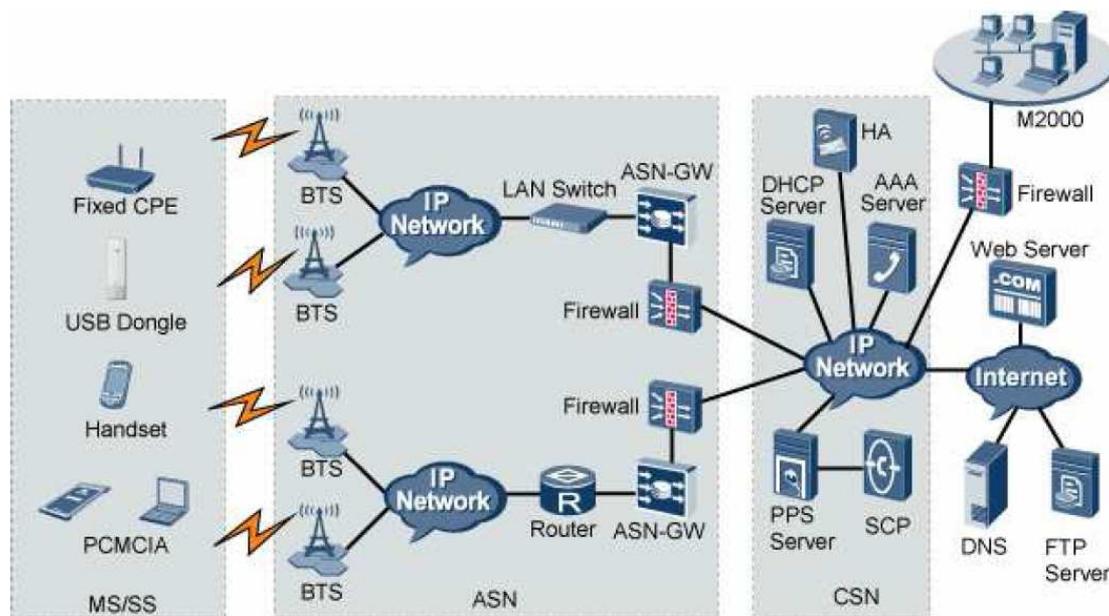


Figura No. 3.4 Arquitectura de una red WiMAX

Fuente: DBS3900 WiMAX, Huawei Product Description

En la Tabla No. 3.2. se presenta la descripción de los componentes de una red WiMAX

Componente	Descripción
AAA	Es un servidor remoto para la verificación de autenticación, autorización y contabilidad. Proporciona autenticación remota telefónica de usuario (RADIUS). La AAA también provee funciones de servidor robusto y flexible, y apoya las operaciones de diversas bases de datos.
ASN	<p>La Red de Servicio de Acceso (ASN) se compone de la estación base (BS) y la Red de Servicio de acceso-Gateway (ASN-GW). El ASN permite a los equipos de usuario (UE) acceder a la CSN de los diferentes proveedores de servicios de red (NSPs). La ASN también maneja la interfaz aire IEEE802.16 y proporciona las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La creación de conexiones en capa-2 entre el BS y la MS • La transmisión de mensajes AAA a la capa NSP de la MS • Asistencia a la configuración de las conexiones en capa-3 entre las NEs de nivel superior y los Estados miembros y la asignación de direcciones IP • Creación y gestión de los túneles entre la ASN y el CSN • Realización de la gestión de la movilidad y el traspaso entre ASNs • Realización de paginación y la gestión de ubicación dentro de la ASN

	<ul style="list-style-type: none"> • Realización de Gestión en Fuentes de Radio (RRM) • Almacenamiento de la información de los MSs temporal
ASN-GW	<p>El ASN-GW es una NE lógica que realiza funciones de control. El ASN-GW se comunica con su propia NE, como el BS, y también se comunica con la consola NE en el CSN u otros ASNs.</p> <p>El ASN-GW también realiza enrutamiento de datos y modulación entre portadoras.</p>
BTS	<p>El BTS recibe y transmite señales de radio. Por lo tanto, permite la comunicación entre la red WiMAX y la SS/MS.</p>
CSN	<p>El CSN está formado por el router, el agente/servidor AAA, y el gateway de Internet. Se puede construir una red de CSN nueva o utilizar el equipo existente para aplicar las funciones del CSN. El CSN establece la investigación a raíz de funciones basadas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Asignación de direcciones IP y los parámetros de sesión • Facilitar el acceso a Internet • Configuración de conexiones Capa-3 y la transferencia de mensajes (tales como la asignación de direcciones IP) para la MS • Desempeño de las funciones del agente/servidor AAA • Manejo de la carga de tráfico • Manejo de la gestión de QoS • Manejo de la gestión de la movilidad entre ASNs • Creación y gestión de los túneles entre la ASN y el CSN • La prestación de servicios WiMAX, tales como servicios basados en ubicación y los servicios de multidifusión
HA	<p>El Agente Principal (HA) es la unidad de función dentro del MIP (Mobile IP), responsable de la arquitectura de enrutamiento de datos a los nodos móviles actualmente conectado a una red extranjera</p>
MS/SS	<p>La estación móvil (MS) o la estación de suscriptor (SS) es el dispositivo de suscriptor que se comunica con el BS.</p> <p>La MS es un dispositivo móvil.</p> <p>La SS es un dispositivo fijo.</p>
PPS	<p>En el servicio de prepago (PPS) los abonados deben pagar por el servicio antes de usarlo. El servicio de datos PPS se mide por el tiempo o el tráfico de datos. El servicio sigue el estado de la utilización de servicios, ya sea por tiempo o por tráfico de datos, y luego se deducen los gastos por la carga transaccional de la cuenta del usuario en tiempo real.</p>
SCP	<p>El punto de control de servicios (SCP) es el componente básico de la red inteligente. Las SCP contienen los datos de suscriptor y la lógica de</p>

	<p>servicio. Tras la recepción de las solicitudes de consulta del punto de conexión de servicios (SSP), el SCP busca en la base de datos y decodifica mensajes según sea necesario. Con base en los hechos reportados por llamar a la SSP, el SCP establece relacionados con la lógica de servicio y envía comandos de control de llamada a la SSP correspondiente, permitiendo así una interacción inteligente de las llamadas.</p>
--	--

Tabla No. 3.2 Descripción de los componentes de una red WiMAX

Fuente: DBS3900 WiMAX, Huawei Product Description

3.4 ARQUITECTURA DE RED PROPUESTA (CORE DE LA RED)

El estándar IEEE 802.16e comprende la especificación de la capa PHY y la capa MAC. La MAC, a su vez, está formada por la subcapa de convergencia (CS), la subcapa de parte común (CPS) y la subcapa de seguridad. CS se encarga de adaptar los paquetes del nivel superior (IP, Ethernet, ATM...), CPS realiza los procedimientos propios del acceso al medio, y la subcapa de seguridad gestiona las funciones de autenticación y cifrado. Para el desarrollo de la plataforma de simulación, y el diseño propuesto se han tomado en cuenta las arquitecturas indicadas a continuación.

3.4.1 SISTEMA SIMPLE CON FUNCIONES DE RED DE BANDA ANCHA DE ACCESO INALÁMBRICO COMPATIBLE

La red WiMAX permite terminales, tales como CPEs, computadoras portátiles, de bolsillo y tarjetas de datos para acceder a Internet. En un sistema simple de red WiMAX, múltiples BTS y ASN - GW trabajan en topología tipo estrella de red¹²⁶, como se muestra en la Figura No. 3.5.

¹²⁶ Descripción técnica Equipos WiMAX; Documento proporcionado por CNT S.A.

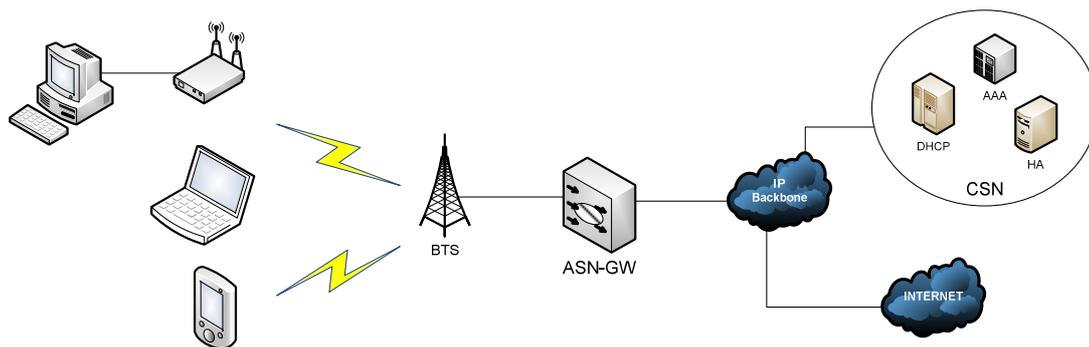


Figura No. 3.5 Red WiMAX Independiente

Fuente: Red WiMAX¹²⁷

- El ASN-GW es un dispositivo de puerta de enlace que realiza la autenticación, enrutamiento de datos, y gestión de la movilidad en la red WiMAX. En la red de Internet, la ASN-GW funciona como un router. El ASN-GW, junto con el BTS forma la ASN.
- El servidor AAA, servidor DHCP, y HA forman el CSN, que es similar a la CN en redes 2G o 3G móvil. En el CSN, la AAA proporciona autenticación, autorización y contabilidad, el DHCP asigna direcciones IP a la UES, y la HA (opcional) implementa los servicios móviles de propiedad intelectual.
- Cuando la red WiMAX opera en la convergencia con una red 2G (como la red CDMA o una red GSM), la ASN es la misma que la que se muestra en la Figura No. 3.5., pero la red WiMAX hereda la AAA y HA de la red 2G.

3.4.2 ARQUITECTURA DE CONEXIÓN DE RED WIMAX +DSL

Operadores de red fijos pueden desarrollar redes WiMAX que funcionan en convergencia con las redes DSL existentes. En este caso, la arquitectura de red más recomendada se muestra en la Figura No. 3.6.

¹²⁷ Descripción técnica Equipos WiMAX; Documento proporcionado por CNT S.A.

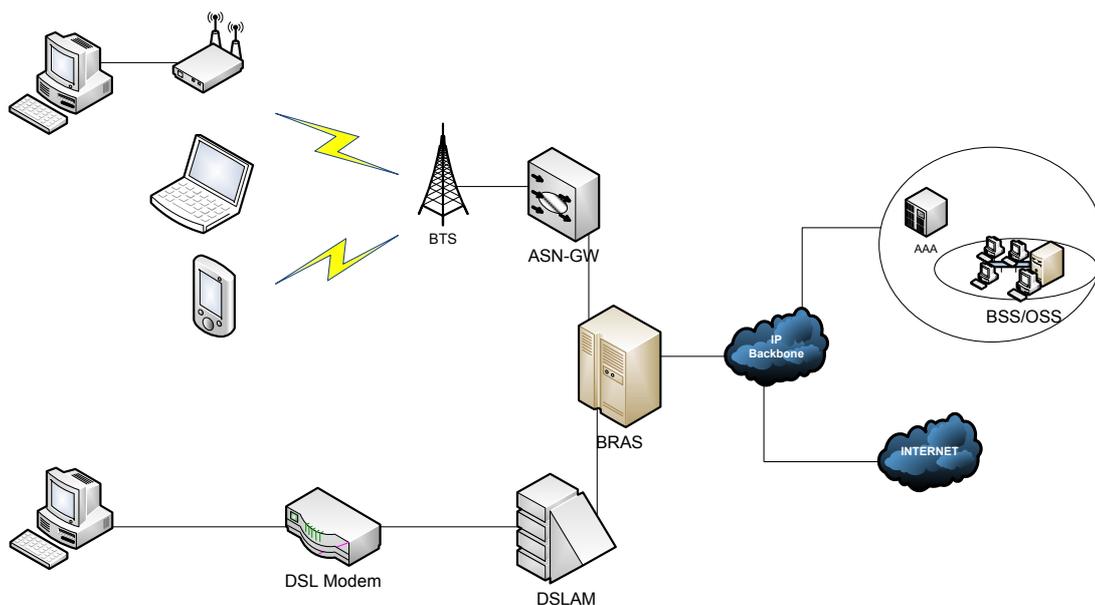


Figura No. 3.6 WiMAX + red DSL

Fuente: Red WiMAX + ADSL¹²⁸

WiMAX + recursos compartidos de la red DSL de los equipos CN (como la AAA, el OSS y BSS) con la red DSL existentes, heredan algunas de las funciones soportadas por el servidor de acceso remoto de banda ancha (BRAS).

- Multiplexor de acceso DSL (DSLAM): Los agregados DSLAM permiten a las líneas DSL un flujo de datos de alta velocidad.
- BRAS: Es básicamente un ruteador de borde que cubre las conexiones de acceso de banda ancha. Los BRAS mejoran la agregación, la autenticación, control de cuentas, control y gestión de las conexiones de banda ancha. También soporta multicast, QoS, seguridad y servicios de VPN.
- BSS y OSS: El BSS y OSS forman el BOSS, que puede dividirse en la gestión de redes, gestión del sistema, servicios de cuentas, operación, administración de cuentas y servicios al cliente.

¹²⁸ Descripción técnica Equipos WiMAX; Documento proporcionado por CNT S.A.

3.4.3 ARQUITECTURA DE CONEXIÓN DE RED WiMAX + NGN

Operadores de red fijos pueden desplegar redes WiMAX que funcionan en convergencia con las redes NGN existentes. En este caso, los suscriptores WiMAX pueden disfrutar de los servicios que ofrece una red NGN, como los servicios de VoIP. La Figura No. 3.7 muestra el diagrama de interconexión de WiMAX con redes NGN.

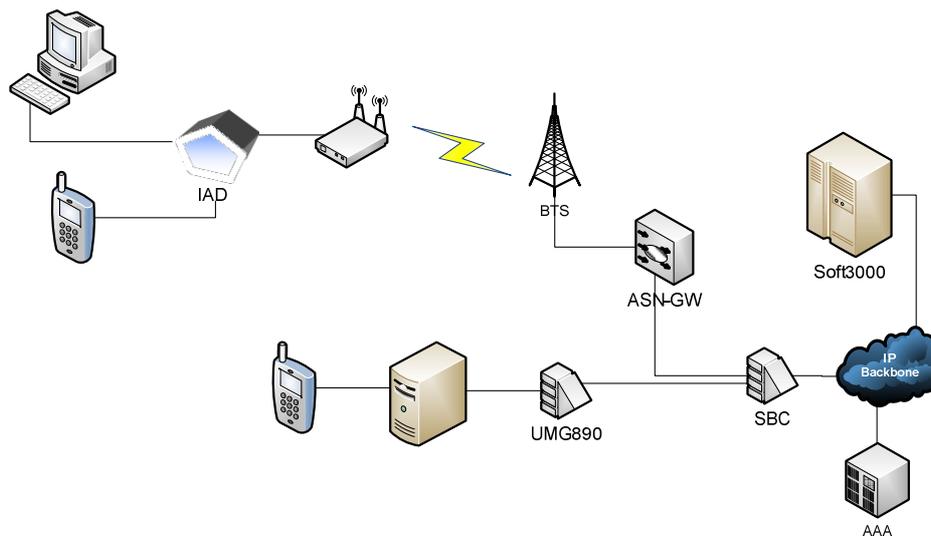


Figura No. 3.7 Diagrama de una red WiMAX + NGN.

Fuente: Redes WiMAX Nueva generación¹²⁹

- **SoftX3000:** El SoftX3000 es un componente básico de Softswitch en la red NGN.
- **UMG8900:** El UMG8900 es un dispositivo acceso a medios que actúa como una unidad de traducción entre una red de conmutación de circuitos con servicios de voz como lo es la PSTN y una red de conmutación de paquetes con servicios de conmutación de voz.
- **Session Border Control (SBC):** El SBC es un dispositivo sesión consciente que gestiona las llamadas de VoIP y MoIP en las fronteras de una red IP. Ofrece calidad de servicio, funciones de seguridad, y el recorrido de NAT o firewalls para llamadas VoIP.

En conclusión el softswitch es el equipo que proporciona el servicio de telefonía IP con señalización SIP RFC 3261¹³⁰; el BRAS permite la conexión hacia la Internet

¹²⁹ Descripción técnica Equipos WiMAX; Documento proporcionado por CNT S.A.

mediante el establecimiento de conexiones PPPoE¹³¹ con el equipo de cliente o CPE y la diferenciación de servicios se lo realiza por medio de VLAN's. En virtud de esto para la conexión de las estaciones base con la infraestructura de transporte de la empresa se utilizará las dos arquitecturas finales expuestas en esta sección, es decir las estaciones WiMAX + DSL y las estaciones WiMAX + la red NGN de la empresa.

3.5 TOPOLOGÍA DE LA RED

La conexión entre el SBC y el AGW se lo realizará por medio de la red IP/MPLS de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones con interfaces de 1 GigaBitEthernet. Las cinco estaciones base estarán interconectadas a los nodos más cercanos a su emplazamiento del backbone IP/MPLS de la empresa, mediante fibra óptica; para referirse al diagrama esquemático del backbone IP/MPLS de la CNT ver el *Anexo No.2*

Al ser el portafolio de productos y servicios de telecomunicaciones que ofrece la CNT de característica convergente, es decir, orientados a integrarse en la tecnología IP, se sugiere que la red inalámbrica propuesta deberá obedecer a las arquitecturas antes indicadas, conectándose a los nodos de acceso de la red IP/MPLS con la capacidad mencionada de acuerdo a la demanda prevista.

En virtud de esto la topología de interconexión de las estaciones bases será tipo Bus hacia el backbone de fibra óptica de la empresa hacia el backbone IP/MPLS. El SBC existente en la infraestructura de la empresa CNT trabaja bajo el protocolo SIP V2 estándar y en configuración Proxy Server por lo cual el registro se lo realizará a través del softswitch Softx3000.

En el diseño de la red WiMAX se ha decidido optar por una red con las siguientes características:

¹³⁰ SIP (Session Initiation Protocol) versión RFC 3261 que se publicó en junio del 2002, señalización para control de VoIP.

¹³¹ Protocolo Punto a Punto sobre Ethernet

- Costos iniciales más bajos
- Tráfico equilibrado
- Robustez y elasticidad

En la Figura No. 3.8 se presenta el diagrama resumido de la red de fibra óptica nacional instalada por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

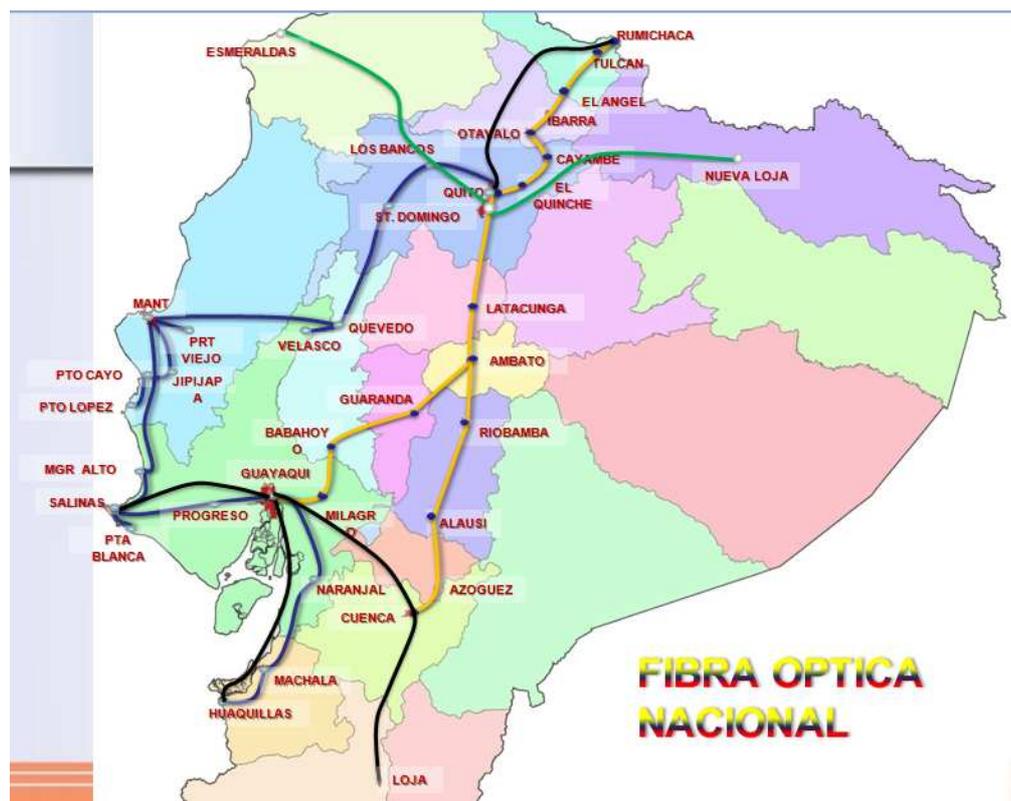


Figura No. 3.8 Red de Backbone de Fibra Óptica Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones

Fuente: Presentación Arquitectura de Red Internacional – Gerencia de Ingeniería CNT
 Las figuras No. 3.9 y 3.10 indican de forma general la conexión de las radio bases hacia el backbone de fibra óptica y backbone IP/MPLS de la CNT.

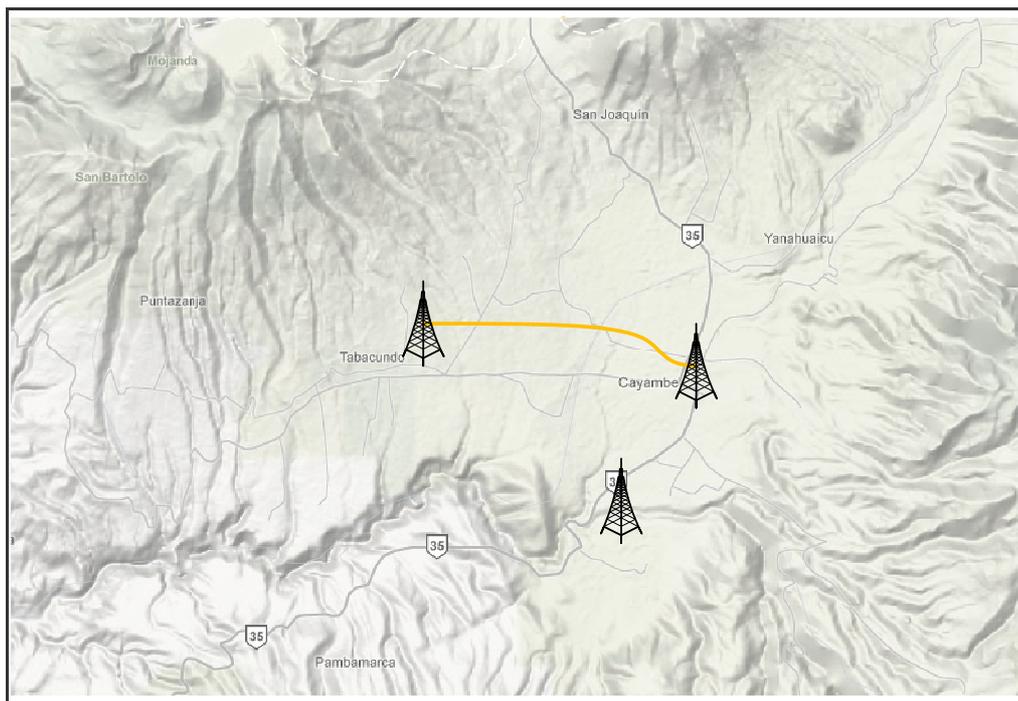


Figura No. 3.9 Conexión de las tres primeras estaciones base ubicadas en las ciudades de Cayambe y Tabacundo al backbone de FO.

Fuente: Autores

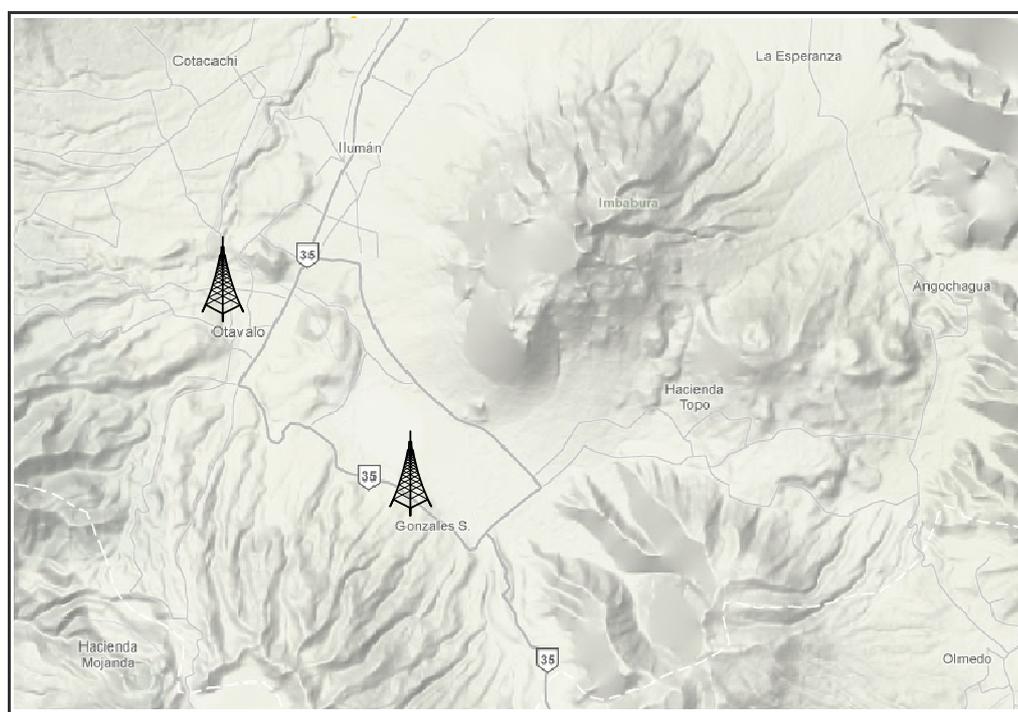


Figura No. 3.10 Conexión de las dos estaciones base ubicadas en la ciudad de Otavalo y sus sectores turísticos al backbone de FO.

Fuente: Autores

3.6 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

3.6.1 DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE SERVICIO

Como se había mencionado en los objetivos para el diseño de la red inalámbrica, la cobertura de radio que se pretende planificar tiene como directriz satisfacer la mayor parte del territorio del área en estudio; cubriendo satisfactoriamente las zonas pobladas donde existen cientos de potenciales suscriptores de acuerdo a la demanda del sector. Abarca además las zonas industriales y florícolas de los cantones Cayambe y Pedro Moncayo, sin embargo de acuerdo a las simulaciones, es factible además brindar servicios de telecomunicaciones como acceso a Internet a las parroquias urbanas de estos cantones. De igual manera el diseño otorga cobertura de servicios de telecomunicaciones a la ciudad de Otavalo con sus principales áreas turísticas. Referirse al *Anexo No. 7* para observar fotografías de sitios relevantes de las áreas de servicio.

3.6.2 SUSCRIPTORES

De acuerdo a la demanda establecida en el sector en estudio se puede clasificar en cuatro tipos de suscriptores de acuerdo a sus requerimientos particulares de velocidad de conexión, puertos para VoIP y ancho de banda. La tabla No. 3.3 muestra la clasificación establecida para los perfiles de los suscriptores a ofrecer servicio; referida a la sección del capítulo número dos en la que se detalla el número de suscriptores y la demanda completa.

Tipo de suscriptor	Velocidad UP LINK (Kbps)	Velocidad DOWN LINK (Kbps)	Puertos VoIP (Codec G.729)	% Clientes por perfil	% Compartición en datos
A	1024	1024	1 POTS	10	4
B	256	512	1 POTS	30	8
C	128	256	1 POTS	50	8
D	---	---	1 POTS	10	---

Tabla No. 3.3 Clasificación de los perfiles de suscriptores

Fuente: Autores, Estudio de la Demanda para servicios de voz y multiservicios de la CNT

3.6.3 INFORMACIÓN GEOREFERENCIADA DE LA DEMANDA

Para una mejor distribución de las redes y ejecución del software de planeación de radio a utilizarse para el diseño del sistema WiMAX, se ha dividido empíricamente la misma, en seis (6) zonas de acuerdo a la demanda georeferenciada. Los lugares escogidos se presentan a continuación:

3.6.3.1 Sector Uno: Demanda en el centro de Cayambe

La cobertura que se pretende otorgar contiene la zona urbana de la ciudad de Cayambe, incluyendo la zona industrial ubicada al occidente de la ciudad, que contempla varias empresas, industrias lácteas, algunas plantaciones florícolas, entre otras como se ilustra en la figura No. 3.11. Para el sector las coordenadas consideradas centro de la cobertura son:

Latitud: 0°02'57.53" N Longitud: 78°09'13.14" O



Figura No. 3.11 Demanda georeferenciada Sector Uno (Cayambe centro)

Fuente: Fotografía Google Earth

3.6.3.2 Sector Dos: Demanda en la ciudad de Tabacundo

En este sector se planifica dar cobertura la zona urbana de la ciudad de Tabacundo, las zonas rurales aledañas, el sector industrial que contempla varios kilómetros ubicado junto a la panamericana norte; además una gran densidad de industrias florícolas del cantón Pedro Moncayo se ilustra en la figura No. 3.12., las coordenadas son:

Latitud: 0°02'29.75"N Longitud:78°12'58.98" O

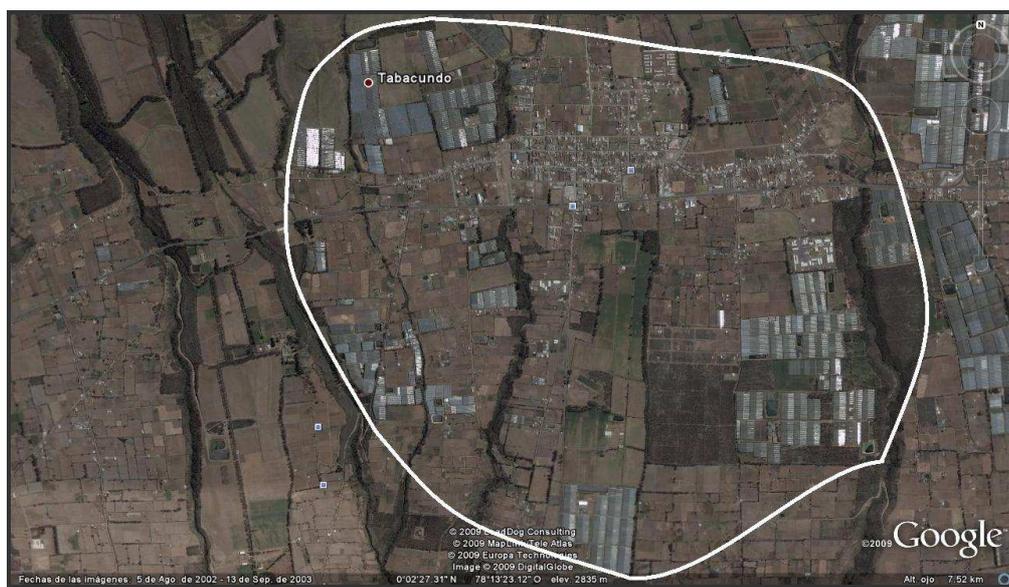


Figura No. 3.12 Demanda georeferenciada Sector Dos (Centro de Tabacundo)

Fuente: Fotografía Google Earth

3.6.3.3 Sector Tres: Demanda sector Florícola 1 (sur de la ciudad de Cayambe)

Se planifica ofrecer cobertura al sector Florícola 1 ubicado al sur de la ciudad de Cayambe, donde existen algunas empresas Florícolas de importancia se ilustran en la figura No. 3.13. y son parte de la potencial demanda dispersa indicada en el Capítulo 2. Para el sector las coordenadas consideradas centro de cobertura son:

Latitud: 0°1'16.52"N Longitud: 78°9'54.72"O



Figura No. 3.13 Demanda georeferenciada Sector Tres (Sector Florícola 1)

Fuente: Fotografía Google Earth

3.6.3.4 Sector Cuatro: Demanda sector Florícola 2 (sector rural de Guachalá hacia el sur del sector tres)

Se planifica ofrecer cobertura al sector Florícola 2 aproximadamente a 10Km al sur de la ciudad de Cayambe vía a Quito, en el sector de Guachalá donde existen algunas empresas Florícolas de importancia y son parte de la potencial demanda dispersa indicada en el Capítulo 2 y que se ilustran en la figura No. 3.14. Para el sector las coordenadas consideradas centro de cobertura son:

Latitud:0°0'17.72"S Longitud: 78°9'55.82"O

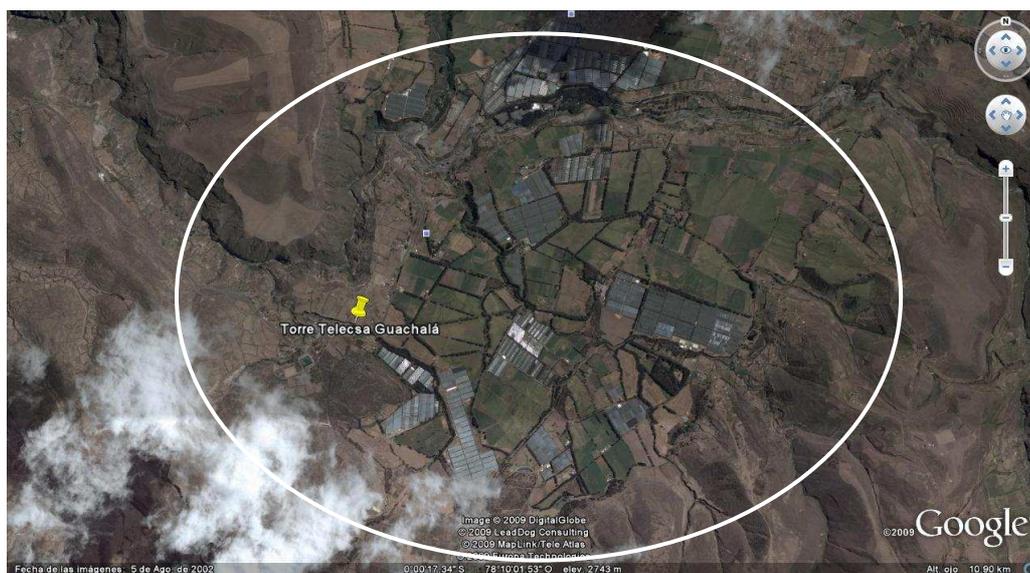


Figura No. 3.14 Demanda georeferenciada Sector Cuatro (Zona Florícola 2)

Fuente: Fotografía Google Earth

3.6.3.5 Sector Cinco: Demanda en la ciudad de Otavalo

Se planifica brindar cobertura de servicios de Telecomunicaciones a la zona urbana y parte de los alrededores de la ciudad de Otavalo; el sector en mención contiene además, las principales zonas turísticas dentro de la ciudad que se muestran en la figura No. 3.15. Para el sector las coordenadas consideradas centro de la cobertura son:

Latitud: 0°13'58.05"N Longitud: 78°15'43.18" O

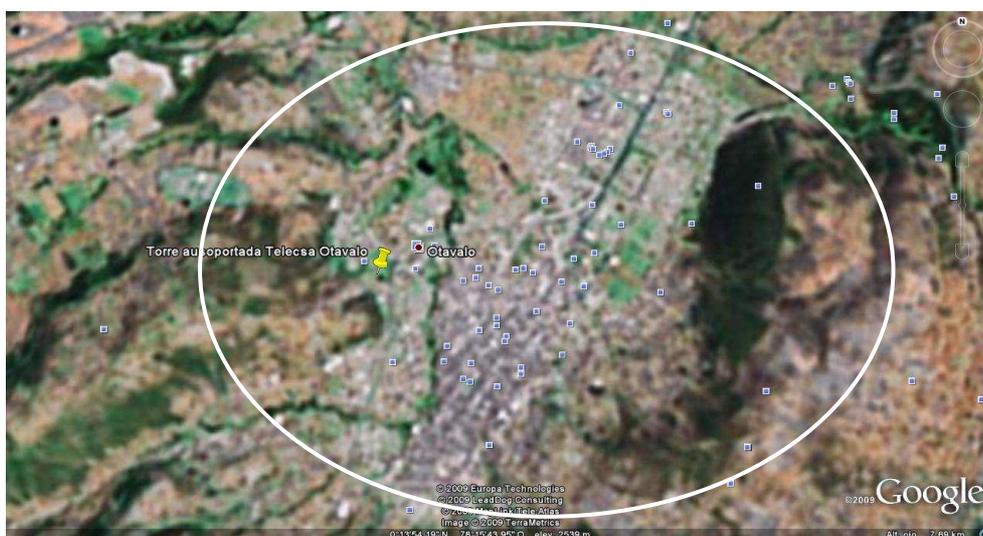


Figura No. 3.15 Demanda georeferenciada Sector Cinco (Ciudad de Otavalo)

Fuente: Fotografía Google Earth

3.6.3.6 Sector Seis: Demanda en la zona del Lago San Pablo

Para culminar con el proyecto de la red inalámbrica se planifica brindar cobertura con servicios de Telecomunicaciones a la zona turística circundante del lago San Pablo en la provincia de Imbabura ubicado a 5 Km, sureste de la ciudad de Otavalo; esta zona turística abarca varias instalaciones turísticas que forman parte de la demanda y que se muestran en la figura No. 3.16. Para el sector las coordenadas consideradas centro de la cobertura son:

Latitud:0°11'52.46"N

Longitud:78°13'46.89 "O

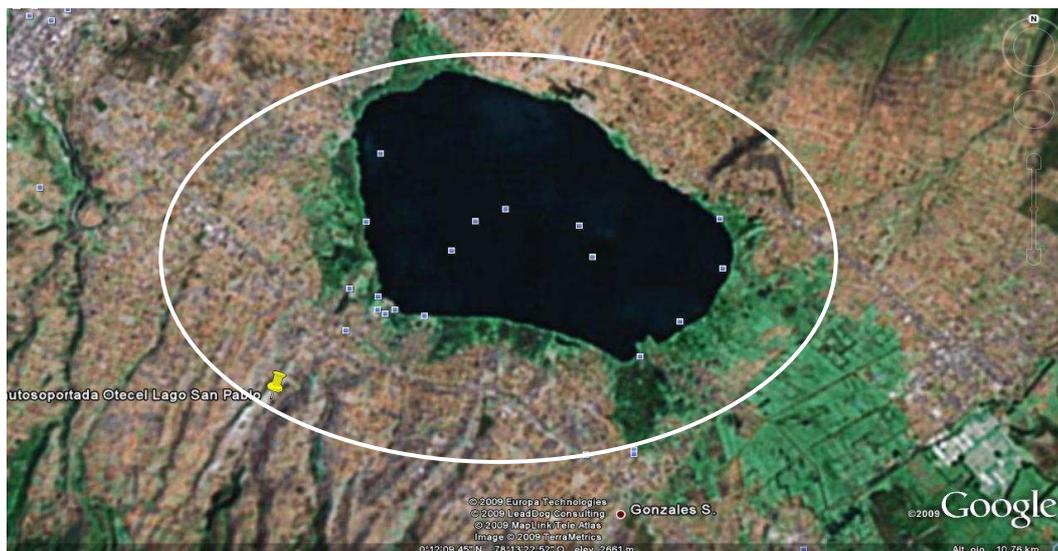


Figura No. 3.16 Demanda georeferenciada Sector Seis (Lago San Pablo)

Fuente: Fotografía Google Earth

3.7 CÁLCULOS TEÓRICOS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DEL ENLACE

Antes de realizar una simulación utilizando la herramienta Radio Mobile, es preciso realizar un cálculo de los parámetros del enlace, utilizando fórmulas teóricas; para de esta manera tener una pauta para comparar los resultados obtenidos en la simulación computacional. A continuación se muestran los cálculos para dos zonas de diferentes características contempladas en la simulación.

3.7.1 CÁLCULOS ESTACIÓN BASE UNO, TORRE AUTOSOPORTADA OTECEL CAYAMBE.

- DATOS DE UBICACIÓN**

Sitio 1 (Estación Base)

Latitud: 0°2'28.32"

Longitud: 78°7'50.21"

Altura: 2962m

Sitio 2 (CPE Prueba)

Latitud: 0°2'33.84"

Longitud: 78°8'56.08"

Altura: 2810m

- CÁLCULO DE LA DISTANCIA ENTRE PUNTOS

$$D_{(Km)} = \sqrt{(\Delta \text{longitud} * 111)^2 + (\Delta \text{latitud} * 111)^2 + (\Delta h)^2}$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{(0^{\circ}1'5.87 * 111)^2 + (0^{\circ}0'5.52 * 111)^2 + (0.152)^2}$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{(0.0183 * 111)^2 + (0.00153 * 111)^2 + 0.023104}$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{4.1769}$$

$$D_{(Km)} = 2.044 \text{ Km}$$

- CÁLCULO DE FRECUENCIA DE CANAL

$$f_n = f_o - 0.8125 + 0.0625n$$

$$f'_n = f_o - 0.1875 + 0.0625n$$

Frecuencia a utilizar

$$f_o = 3500.8125$$

$$f_n = 3500.8125 - 0.8125 + 0.0625n, \text{ donde } n= 1$$

$$f_n = 3500.8125 - 0.8125 + 0.0625$$

$$f_n = 3500.0625$$

$$f'_n = 3500.8125 - 0.1875 + 0.0625n, \text{ donde } n= 1$$

$$f'_n = 3500.8125 - 0.1875 + 0.0625$$

$$f'_n = 3500.6875$$

- ALTURA DE DESPEJE

$$H_{desp} = \frac{H_{1(m)} * d_2(Km) + H_{2(m)} * d_1(Km)}{D_{(Km)}} - H_{o(m)} - 0.0785 \frac{d_1 * d_2}{k},$$

$$\text{donde } k = \frac{4}{3(\text{curvatura de la tierra})}$$

$$H_{desp} = \frac{(30 + 2962) * 0.03 + (2 + 2810) * 2.01}{2.04} - 2812 - 0.0785 \frac{2.01 * 0.03}{\frac{4}{3}}$$

$$H_{desp} = 2814.64 - 2814 - 0.0036$$

$$H_{desp} = 0.6435 \text{ m}$$

- RADIO ZONA DE FRESNEL

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f_n * D(\text{km})}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{\frac{2.01 * 0.03}{3500.0625 * 2.04}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{\frac{0.0603}{7140.1275}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{8.445^{-6}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 * 2.096^{-3}$$

$$R_{F_1} = 1.5917$$

$$\frac{H_{dssp}}{R_{F_1}} = \frac{0.5685}{1.5917} = 0.4042$$

La primera zona de Fresnel se encuentra liberada al 40.42%

- ATENUACIÓN POR OBSTÁCULOS

Recordando: La UIT proporciona la forma de calcular la atenuación producida por un obstáculo en función del parámetro adimensional v , definido como:

$$v = \sqrt{2} \left(-\frac{H_{dssp}}{R_{F_1}} \right)$$

$$v = \sqrt{2} \left(-\frac{0.5685}{1.5917} \right)$$

$$v = \sqrt{2}(-0.4042)$$

$$v = -0.5717$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(-0.5717 - 0.1)^2 + 1} - 0.5717 - 0.1 \right)$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(-0.6717)^2 + 1} - 0.6717 \right)$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log(0.5329)$$

$$L_D(v) = 6.9 - 5.467$$

$$L_D(v) = 1.43 \text{ dB}$$

- **PERDIDAS ESPACIO LIBRE (PATHLOSS)**

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)}$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log(3500.0625) + 20 \log(2.04)$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 70.8815 + 6.1926$$

$$L_{P(dB)} = 109.474 \text{ dB}$$

PERDIDAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN. Son las pérdidas de los cables que conectan el radio con la antena, para ello asumimos que utilizamos cables coaxiales con pérdidas típicas de 0,1 dB/m.

En el sitio 1: Los dispositivos de radio se ubicarán en caseta de equipos, ubicado a una distancia de 30 m de la antena transmisora.

En el sitio 2: El equipo de usuario estará ubicado a una distancia de 3 m de la antena receptora.

$$L_{sitio1(dB)} = 30m * 0.1 \frac{dB}{m} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{sitio2(dB)} = 3m * 0.1 \frac{dB}{m} = 0.3 \text{ dB}$$

- **PERDIDAS EN CONECTORES**

Se asume los siguientes valores

$$L_{sitio1(dB)} = 1dB$$

$$L_{sitio2(dB)} = 1dB$$

- **CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCIÓN**

$$P_{r(dBm)} = P_{Tx(dBm)} + G_T(dB) + G_r(dB) - L_T(dB) - L_P(dB) - L_r(dB) - L_D(dB)$$

$$P_{r(dBm)} = 40 + 18 + 18 - (3 + 1) - 109.474 - (0.3 + 1) - 1.43$$

$$P_{r(dBm)} = -40.204 \text{ dBm}$$

- **MARGEN DE UMBRAL (MU)**

$$\text{Margen de Umbral (MU)} = P_r - U_r,$$

donde U es la sensibilidad del receptor

$$MU = -40.204 - (-96)$$

$$MU = 55.796 \text{ dB}$$

- **INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA**

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * D}{400}$$

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * 2.04}{400}$$

$$(1 - R) = 0.00000051$$

- **MARGEN DE DESVANECIMIENTO F_M**

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

Donde

F_M = margen de desvanecimiento [dB]

D = distancia entre transmisor y receptor [km]

f = frecuencia de la portadora [GHz]

A = factor de rugosidad

= 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso

= 1 sobre un terreno promedio

= 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

= 0.5 para áreas calientes y húmedas

= 0.25 para áreas continentales promedio

= 0.125 para áreas muy secas o montañosas

$$F_M = 30 \log(2.04) + 10 \log(6 * 1 * 0.125 * 3.5000625) - 10 \log(0.00000051) - 70$$

$$F_M = 6.4045$$

$MU \geq F_M$, se cumple

- **CONFIABILIDAD**

$$R = (1 - P) * 100$$

$$R = (1 - 0.00000051) * 100$$

$$R = (0.99999949) * 100$$

$$R = 99.99\%$$

La confiabilidad para la UIT es

$$R_T \geq 99.9664\%, \text{ para } L < 280\text{Km}$$

$$R \geq R_T, \text{ se cumple}$$

- **CALCULO DEL VOLTAJE RECIBIDO**

$$P_R = \frac{V_r^2}{R}$$

$$V_r = \sqrt{P_R * R}, \text{ donde } R = 50 \Omega$$

$$P_{R(dBm)} = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{P_{R(dBm)}}{10} \right)$$

$$P_{R(dBm)} = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{-40.204}{10} \right)$$

$$P_R = 9.5411 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

$$V_r = \sqrt{9.5411 \cdot 10^{-8} * 50}$$

$$V_{r(\mu V)} = 2184.16$$

- **ANGULO DE ELEVACIÓN**

$$H_1 = 2962 + 30 = 2992 \text{ m}$$

$$H_2 = 2810 + 2 = 2812 \text{ m}$$

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

$$\Delta H = 2992 \text{ m} - 2812 \text{ m}$$

$$\Delta H = 180 \text{ m}$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{\Delta H}{D}$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{0.18}{2.04} \right)$$

$$\alpha = 5.062^\circ$$

- **ANGULO DE APUNTAMIENTO**

$$\theta = \arctan \left(\frac{\Delta \text{latitud}}{\Delta \text{longitud}} \right)$$

$$\theta = \arctan \left(-\frac{0.00153}{0.0183} \right)$$

$$\theta = -4.79^\circ$$

- AZIMUT**

$$A_{Z \text{ sitio 2}} = 90^\circ + |\theta|$$

$$A_{Z \text{ sitio 2}} = 90^\circ + 4.79^\circ$$

$$A_{Z \text{ sitio 2}} = 94.79^\circ$$

$$A_{Z \text{ sitio 1}} = 270^\circ + |\theta|$$

$$A_{Z \text{ sitio 1}} = 270^\circ + 4.79^\circ$$

$$A_{Z \text{ sitio 1}} = 274.79^\circ$$

- CÁLCULO DE LA POTENCIA ISOTRÓPICAMENTE RADIADA EQUIVALENTE**

$$PIRE (dBm) = P_r + G_T - L_T$$

$$PIRE (dBm) = 40 + 18 - 0.5$$

$$PIRE (dBm) = 57.5 \text{ dBm}$$

$$PIRE (W) = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{57.5}{10} \right)$$

$$PIRE (W) = 562.34 \text{ W}$$

3.7.2 CÁLCULOS ESTACIÓN BASE CUATRO, TORRE AUTOSOPORTADA OTECEL LAGO SAN PABLO.

- UBICACIÓN**

Sitio 1 (Estación Base)

Latitud: 0°11'34.79"

Longitud: 78°14'37.72"

Altura: 2726m

Sitio 2 (CPE de Prueba)

Latitud: 0°13'3.53"

Longitud: 78°12'59.70"

Altura: 2675m

- CÁLCULO DE LA DISTANCIA ENTRE PUNTOS**

$$D_{(Km)} = \sqrt{(\Delta \text{longitud} * 111)^2 + (\Delta \text{latitud} * 111)^2 + (\Delta h)^2}$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{(0^\circ 1' 38.02 * 111)^2 + (-0^\circ 1' 28.74 * 111)^2 + (0.051)^2}$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{(0.0272 * 111)^2 + (0.02465 * 111)^2 + 0.0025}$$

$$D_{(Km)} = \sqrt{16.62}$$

$$D_{(Km)} = 4.08 \text{ Km}$$

- **CÁLCULO DE FRECUENCIA DE CANAL**

$$f_n = f_o - 0.8125 + 0.0625n$$

$$f'_n = f_o - 0.1875 + 0.0625n$$

Frecuencia a utilizar

$$f_o = 3500.8125$$

$$f_n = 3500.8125 - 0.8125 + 0.0625n, \text{ donde } n= 1$$

$$f_n = 3500.8125 - 0.8125 + 0.0625$$

$$f_n = 3500.0625$$

$$f'_n = 3500.8125 - 0.1875 + 0.0625n, \text{ donde } n= 1$$

$$f'_n = 3500.8125 - 0.1875 + 0.0625$$

$$f'_n = 3500.6875$$

ALTURA DE DESPEJE

$$H_{desp} = \frac{H_1(m) * d_2(Km) + H_2(m) * d_1(Km)}{D(Km)} - H_o(m) - 0.0785 \frac{d_1 * d_2}{k},$$

$$\text{donde } k = \frac{4}{3(\text{curvatura de la tierra})}$$

$$H_{desp} = \frac{(54 + 2726) * 0.04 + (2 + 2675) * 4.04}{4.08} - 2677 - 0.0785 \frac{4.04 * 0.04}{\frac{4}{3}}$$

$$H_{desp} = 2678.01 - 2677 - 0.0095142$$

$$H_{desp} = 1.0005 \text{ m}$$

- **RADIO ZONA DE FRESNEL**

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f_n * D(Km)}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{\frac{4.04 * 0.04}{3500.0625 * 4.08}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{\frac{0.1616}{7140.1275}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 \sqrt{1.13^{-5}}$$

$$R_{F_1} = 547.72 * 3.364^{-3}$$

$$R_{F_1} = 1.843$$

$$\frac{H_{dssp}}{R_{F_1}} = \frac{1.0005}{1.843} = 0.543$$

La primera zona de Fresnel se encuentra liberada al 54.3%

- **ATENUACIÓN POR OBSTÁCULOS**

Recordando: La UIT proporciona la forma de calcular la atenuación producida por un obstáculo en función del parámetro adimensional v , definido como:

$$v = \sqrt{2} \left(-\frac{H_{dssp}}{R_{F_1}} \right)$$

$$v = \sqrt{2} \left(-\frac{1.0005}{1.843} \right)$$

$$v = \sqrt{2}(-0.543)$$

$$v = -0.7679$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(-0.7679 - 0.1)^2 + 1} - 0.7679 - 0.1 \right)$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(-0.8679)^2 + 1} - 0.8679 \right)$$

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log(0.4562)$$

$$L_D(v) = 6.9 - 6.82$$

$$L_D(v) = 0.083 \text{ dB}$$

- **PERDIDAS ESPACIO LIBRE (PATHLOSS)**

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(Km)}$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log(3500.0625) + 20 \log(4.08)$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 70.8815 + 12.213$$

$$L_{P(dB)} = 115.5 \text{ dB}$$

PÉRDIDAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN. Son las pérdidas de los cables que conectan el radio con la antena, para ello asumimos que utilizamos cables coaxiales con pérdidas típicas de 0,1 dB/m.

En el sitio 1: Los dispositivos de radio se ubicarán en caseta de equipos, ubicado a una distancia de 54 m de la antena transmisora.

En el sitio 2: El equipo de usuario estará ubicado a una distancia de 3 m de la antena receptora.

$$L_{sitio1(dB)} = 54m * 0.1 \frac{dB}{m} = 5.4 dB$$

$$L_{sitio2(dB)} = 3m * 0.1 \frac{dB}{m} = 0.3 dB$$

- **PERDIDAS EN CONECTORES**

Se asume los siguientes valores

$$L_{sitio1(dB)} = 1dB$$

$$L_{sitio2(dB)} = 1dB$$

- **CALCULO DE LA POTENCIA DE RECEPCIÓN**

$$P_{r(dBm)} = P_{Tx(dBm)} + G_T(dBi) + G_r(dBi) - L_T(dB) - L_P(dB) - L_r(dB) - L_D(dB)$$

$$P_{r(dBm)} = 40 + 18 + 18 - (5.4 + 1) - 115.5 - (0.3 + 1) - 0.083$$

$$P_{r(dBm)} = -47.278 dBm$$

- **MARGEN DE UMBRAL (MU)**

$$\text{Margen de Umbral (MU)} = P_r - U_r,$$

donde U es la sensibilidad del receptor

$$MU = -47.278 - (-96)$$

$$MU = 48.722 dB$$

- **INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA**

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * D}{400}$$

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * 4.08}{400}$$

$$(1 - R) = 0.00000102$$

- **MARGEN DE DESVANECIMIENTO F_M**

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

Donde

$$F_M = \text{margen de desvanecimiento [dB]}$$

$$D = \text{distancia entre transmisor y receptor [km]}$$

f = frecuencia de la portadora [Ghz]

A = factor de rugosidad

= 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso

B = factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

= 0.5 para áreas calientes y húmedas

= 0.25 para áreas continentales promedio

= 0.125 para áreas muy secas o montañosas

$$F_M = 30 \log(4.08) + 10 \log(6 * 4 * 0.125 * 3.5000625) - 10 \log(0.00000102) - 70$$

$$F_M = 18.445$$

$MU \geq F_M$, se cumple

- **CONFIABILIDAD**

$$R = (1 - P) * 100$$

$$R = (1 - 0.00000102) * 100$$

$$R = (0.9999989) * 100$$

$$R = 99.99\%$$

La confiabilidad para la UIT es

$$R_T \geq 99.9664\%, \text{ para } L < 280\text{Km}$$

$R \geq R_T$, se cumple

- **CALCULO DEL VOLTAJE RECIBIDO**

$$P_R = \frac{V_r^2}{R}$$

$$V_r = \sqrt{P_R * R}, \text{ donde } R = 50 \Omega$$

$$P_{R(W)} = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{P_{R(dBm)}}{10} \right)$$

$$P_{R(W)} = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{-47.278}{10} \right)$$

$$P_R = 1.8715^{-9} W$$

$$V_r = \sqrt{1.8715^{-9} * 50}$$

$$V_{r(dB)} = 967.35$$

- **ANGULO DE ELEVACIÓN**

$$H_1 = 2726 + 54 = 2780m$$

$$H_2 = 2675 + 2 = 2677m$$

$$\Delta H = H_1 - H_2$$

$$\Delta H = 2780 m - 2677 m$$

$$\Delta H = 103 m$$

$$\text{Sen } \alpha = \frac{\Delta H}{D}$$

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{0.103}{4.08} \right)$$

$$\alpha = 1.45^\circ$$

- **ANGULO DE APUNTAMIENTO**

$$\theta = \arctan \left(\frac{\Delta \text{latitud}}{\Delta \text{longitud}} \right)$$

$$\theta = \arctan \left(-\frac{0.02465}{0.0272} \right)$$

$$\theta = -42.18^\circ$$

- **AZIMUT**

$$A_{Z \text{ sitio 2}} = 90^\circ + |\theta|$$

$$A_{Z \text{ sitio 2}} = 90^\circ + 42.18^\circ$$

$$A_{Z \text{ sitio 2}} = 132.18^\circ$$

$$A_{Z \text{ sitio 1}} = 270^\circ + |\theta|$$

$$A_{Z \text{ sitio 1}} = 270^\circ + 42.18^\circ$$

$$A_{Z \text{ sitio 1}} = 312.18^\circ$$

- **CÁLCULO DE LA POTENCIA ISOTRÓPICAMENTE RADIADA EQUIVALENTE**

$$PIRE (dBm) = P_r + G_T - L_T$$

$$PIRE(dBm) = 40 + 18 - 0.5$$

$$PIRE(dBm) = 57.5 dBm$$

$$PIRE(W) = 0.001 * \text{antilog}\left(\frac{57.5}{10}\right)$$

$$PIRE(W) = 562.34 W$$

3.8 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA INTERFAZ AIRE Y ENLACES DE RADIO

3.8.1 UBICACIÓN Y MAPA DE COBERTURA RADIAL DE LOS SITIOS DE LOS TRANSMISORES

La posición de las estaciones transmisoras para las antenas WiMAX, utilizadas para el diseño y la simulación, será en sitios existentes, donde se cuenta con infraestructura de torres auto soportadas de transmisión para otros servicios de telecomunicaciones tales como empresas privadas de telefonía móvil, e infraestructura de radio enlaces propia instalada en edificaciones pertenecientes a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. En el capítulo cuarto se estable los costos vigentes, que por efecto de arrendamiento de las torres privadas se generará.

Todos los parámetros requeridos por el software para la simulación, se configuran adecuadamente de acuerdo a las características y especificaciones técnicas detalladas en la sección respectiva. Para efectos demostrativos las figuras desde la No. 3.17 a la No. 3.22. a continuación muestran los cuadros de configuración de los parámetros técnicos para el software de simulación; una explicación más detallada corresponde al manual de funcionamiento y utilización del Radio Mobile.



Figura No. 3.17 Configuración del mapa de trabajo Radio Mobile

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

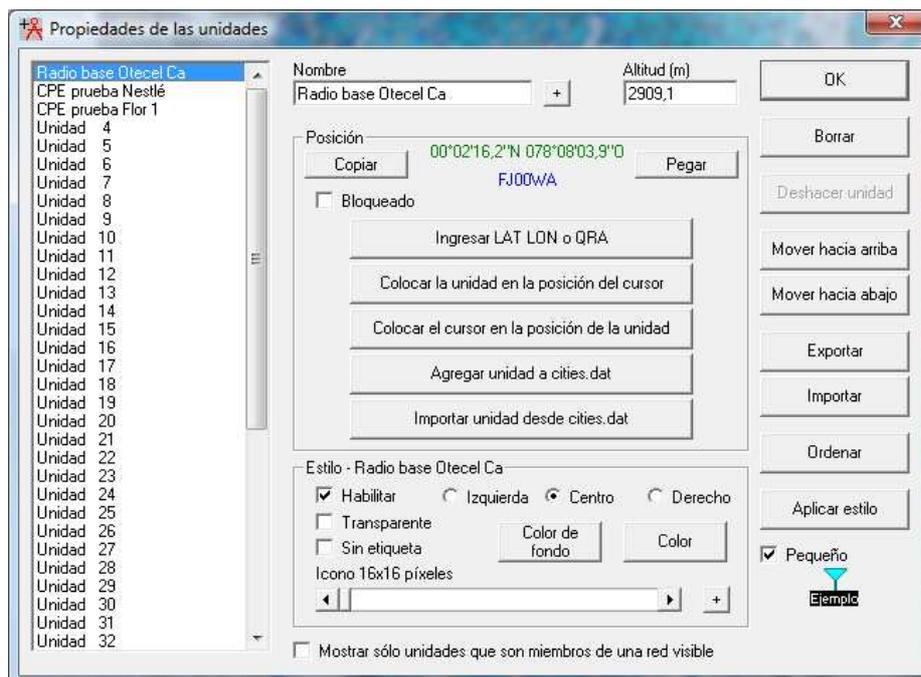


Figura No. 3.18 Ubicación de las estaciones base y equipos de usuario

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

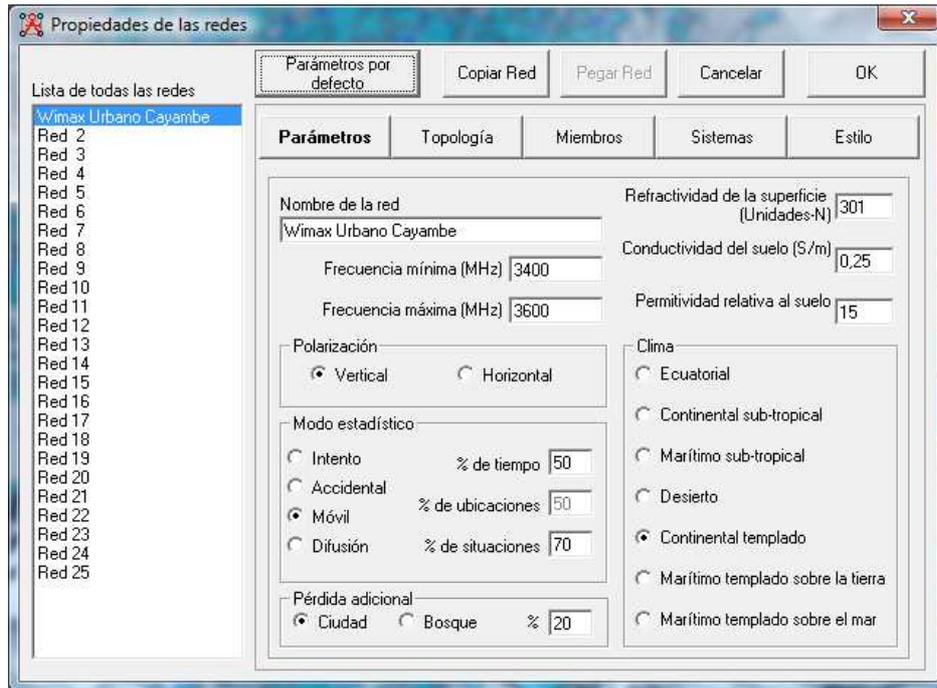


Figura No. 3.19 Parámetros Generales de la Red

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

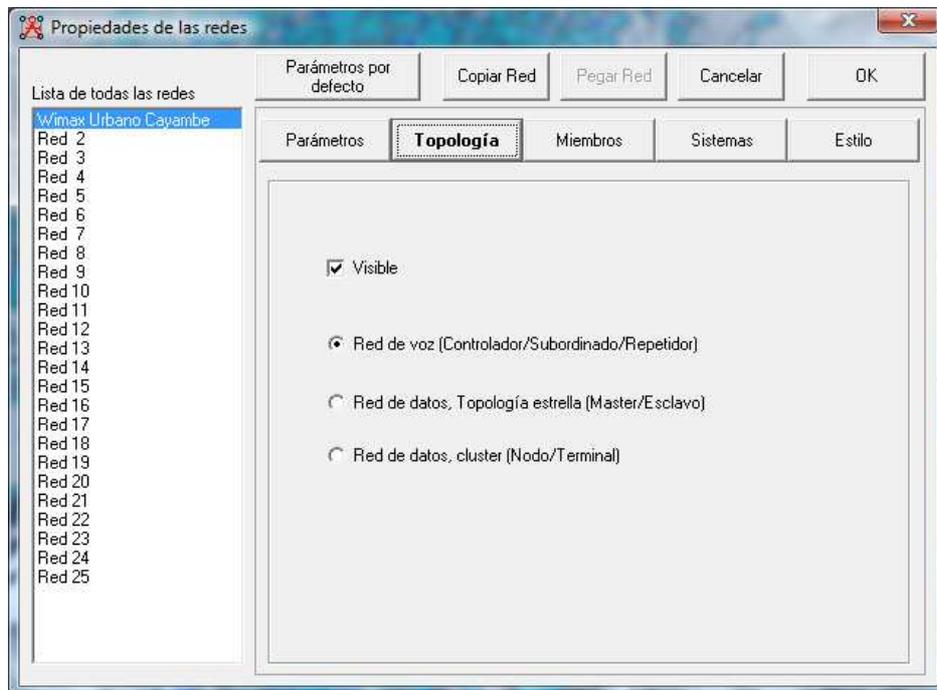


Figura No. 3.20 Topología de la Red

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

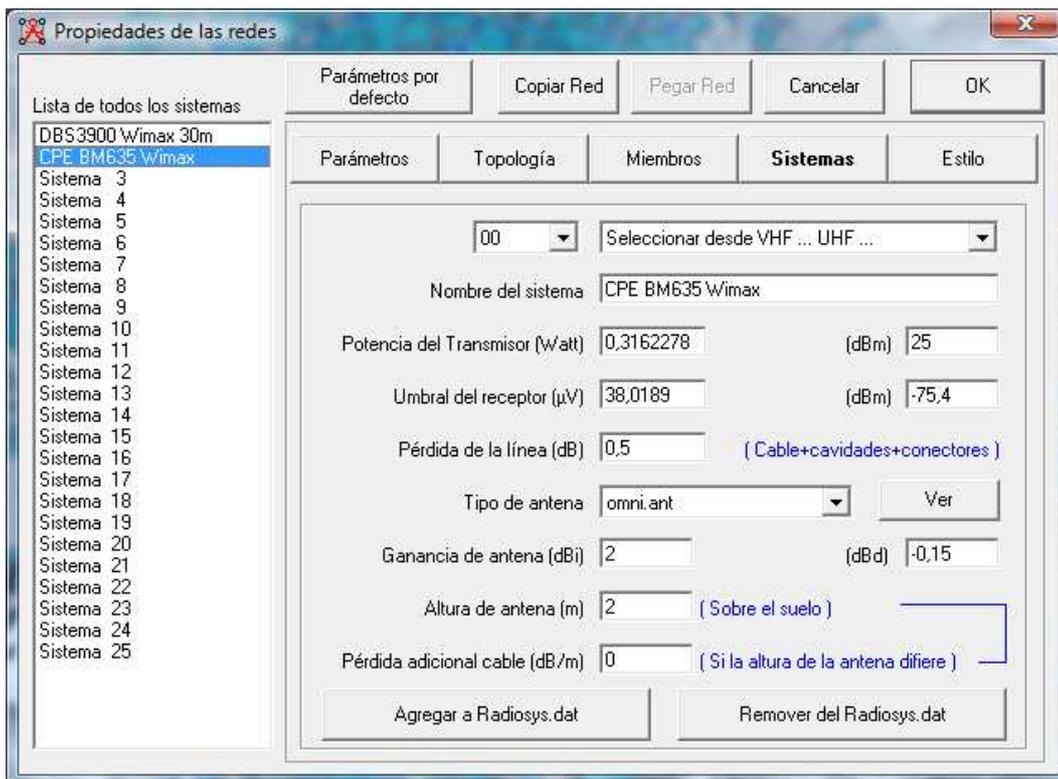


Figura No. 3.21 Parámetros de configuración de los equipos

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

Una vez establecidos y configurados todos los parámetros de simulación y características de las redes, se lleva a cabo la simulación de la cobertura mediante el menú contextual del software cobertura de radio, polar simple. La figura No. 3.22 muestra los parámetros configurables para la simulación polar simple donde se pueden configurar parámetros tales como: selección de las unidades, dirección de los enlaces, opciones del dibujo, unidad del umbral receptor.

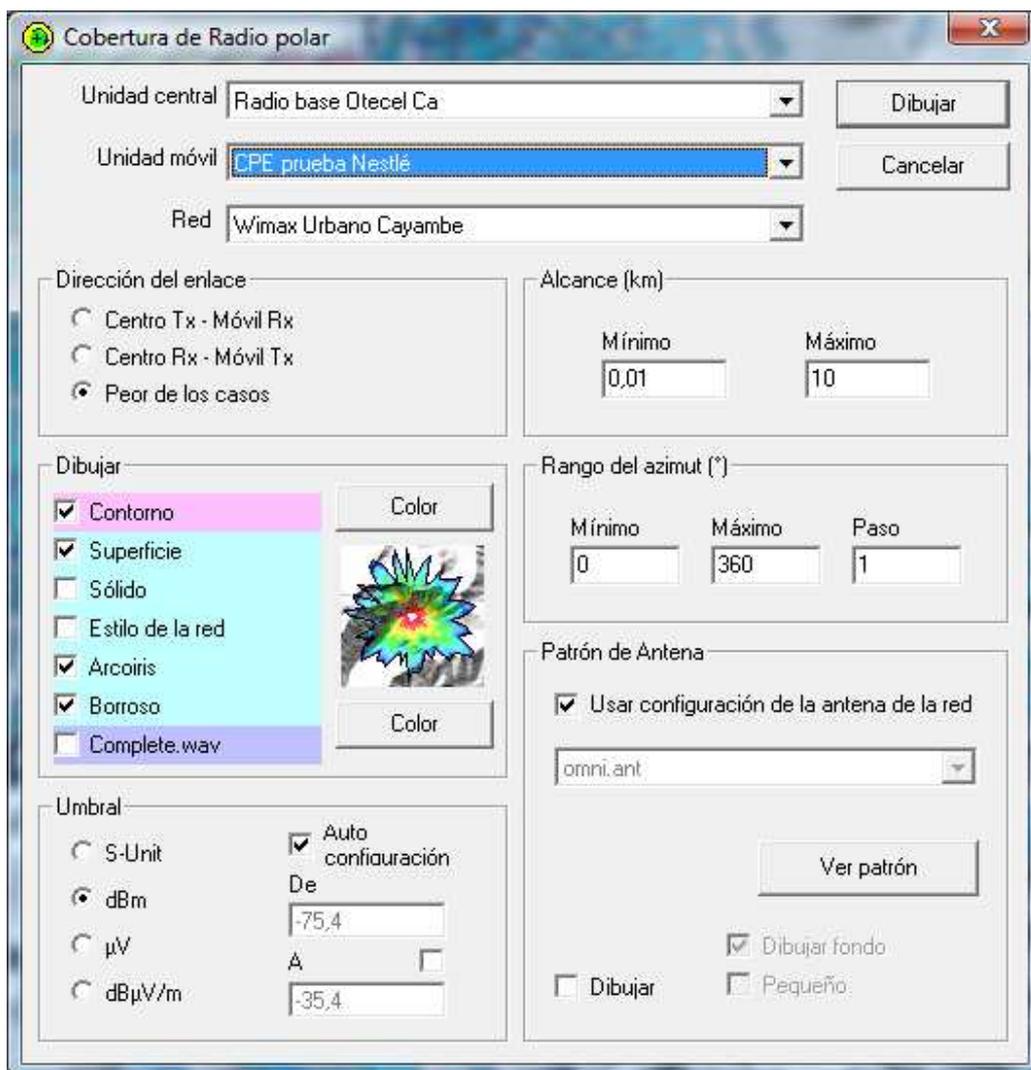


Figura No. 3.22 Configuración de Parámetros para el gráfico de cobertura

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

La unidad “S” utilizada en los cálculos representa un color distinto para cada nivel de señal respecto de la sensibilidad del receptor, usando el código “S” y de acuerdo a los valores indicados en la Tabla No. 3.4. Cada valor de “S” corresponde con un rango de valores del margen de fading (M) en un punto determinado del radioenlace, siendo $M = Pr - Pr_{min}^{132}$ (Pr = potencia recibida en un punto, Pr_{min} = sensibilidad del receptor).

¹³² http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_08.html

Referencia código S	Margen de fading (M) respecto al umbral de sensibilidad del receptor
S0	$M \leq -1,5 \text{ dB}$
S1	$-1,5 \text{ dB} < M \leq 1,5 \text{ dB}$
S2	$1,5 \text{ dB} < M \leq 4,5 \text{ dB}$
S3	$4,5 \text{ dB} < M \leq 7,5 \text{ dB}$
S4	$7,5 \text{ dB} < M \leq 10,5 \text{ dB}$
S5	$10,5 \text{ dB} < M \leq 13,5 \text{ dB}$
S6	$13,5 \text{ dB} < M \leq 16,5 \text{ dB}$
S7	$16,5 \text{ dB} < M \leq 19,5 \text{ dB}$
S8	$19,5 \text{ dB} < M \leq 22,5 \text{ dB}$
S9	$22,5 \text{ dB} < M \leq 27 \text{ dB}$
S9 + 10	$27 \text{ dB} < M \leq 39 \text{ dB}$
S9 + 20	$39 \text{ dB} < M \leq 49 \text{ dB}$
S9 + 30	$49 \text{ dB} < M \leq 59 \text{ dB}$

Tabla No. 3.4 Correspondencia entre los niveles de señal según el código “S” y el margen de fading M para frecuencias superiores a 30 MHz

Fuente: http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_08.html

A continuación se indican los resultados gráficos de la simulación de cobertura de la interfaz aire para cada estación base, obtenidos mediante el software de simulación.

3.8.1.1 Estación Base torre auto soportada Otecel Cayambe

Latitud: 0° 2' 28.32"N

Longitud: 78° 7' 50.21"O

Altura: 30 m

La estación base ubicada en el sitio referido cubre satisfactoriamente la demanda indicada en el **sector uno** concentrada en el zona urbana de la ciudad de Cayambe. Las Figuras No. 3.23 y No. 3.24 muestran el entorno, y la posición de esta radio base, respectivamente.



Figura No. 3.23 Entorno Radio Base Otecel Cayambe
Fuente: Autores



Figura No. 3.24 Ubicación Radio Base Otecel Cayambe
Fuente: Autores

Luego de realizar la simulación respectiva para la estación base indicada; configurando todos los parámetros técnicos requeridos, se muestran a continuación los resultados más relevantes presentados en forma gráfica.

La figura No. 3.25 muestra la ubicación de la **Radio Base Uno** y los CPE's de prueba sobre el mapa de trabajo de Radio Mobile; se puede notar además el relieve y la cartografía digital con los datos de elevación que soporta el software de simulación.

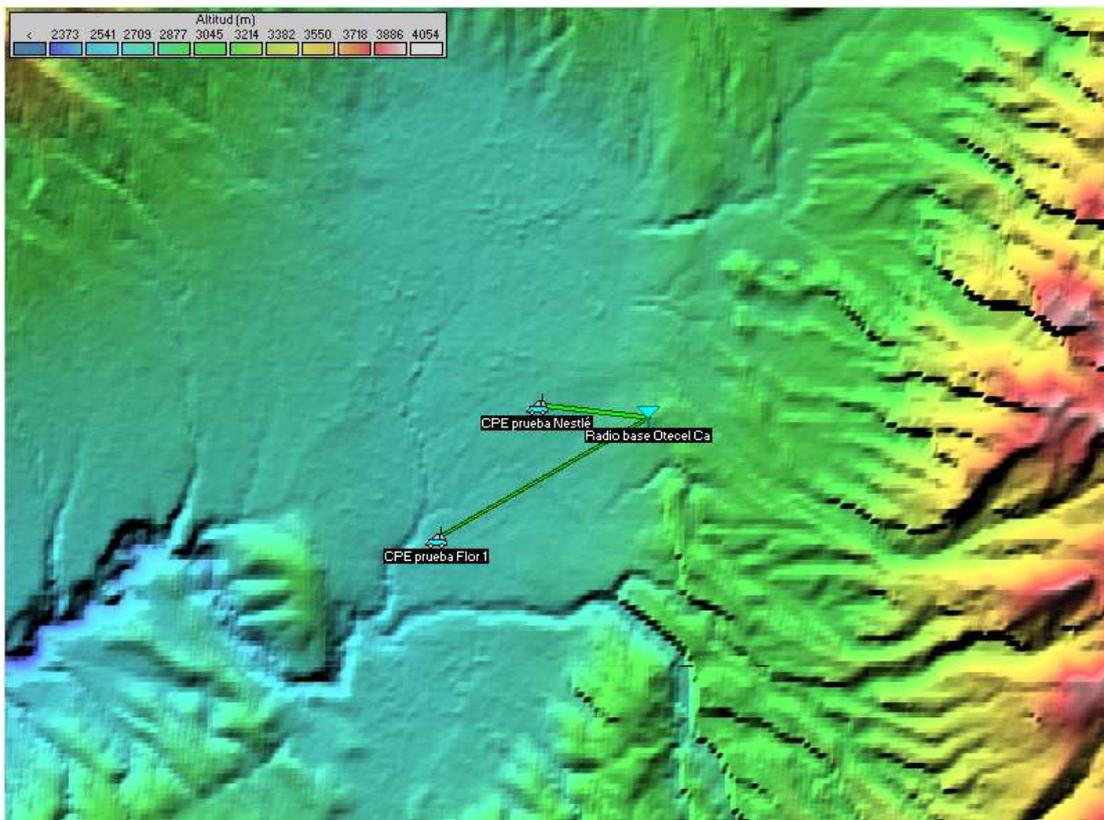


Figura No. 3.25 Ubicación de la Radio Base Uno, y CPE de prueba

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

Las figuras No. 3.26 y No. 3.27. muestran el resultado de la simulación y cobertura de la **Radio Base Uno** en dBm, cabe indicar que el límite inferior de la escala esta configurada automáticamente de acuerdo a la sensibilidad de los receptores CPE utilizados y configurados en el software, cuyas características técnicas se indican en la sección correspondiente. Se puede concluir que la cobertura de alcance efectivo y una recepción adecuada por los equipos de

usuario es de alrededor de seis (6) Km., valor que coincide con surveys reales realizados en otras estaciones base tipo WiMAX instaladas en otras poblaciones.

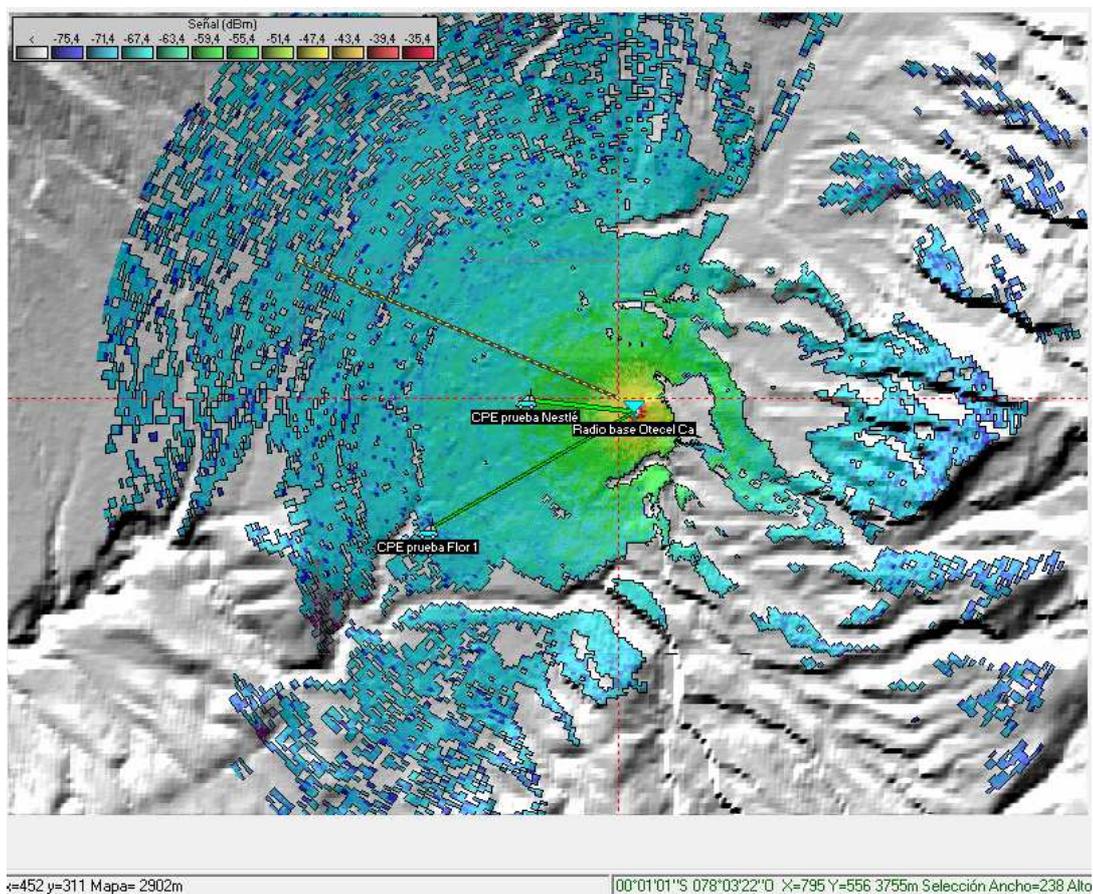


Figura No. 3.26 Cobertura Radio Base Uno sobre el mapa de trabajo

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

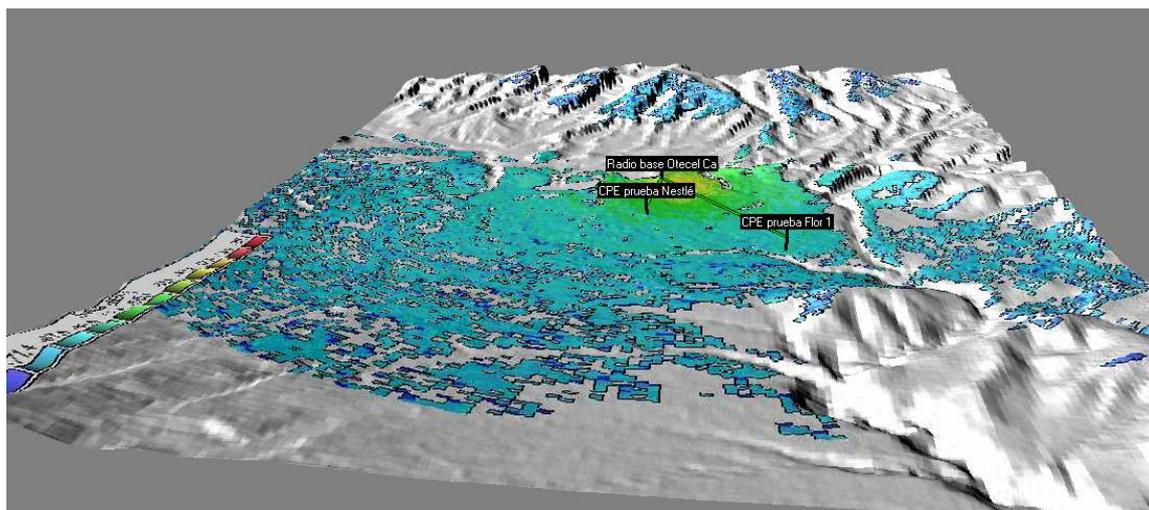


Figura No. 3.27 Cobertura Radio Base Uno 3D

La figura No. 3.28 muestra la cobertura de la **Radio Base Uno** fusionando la imagen de Radio Mobile con el mapa de imágenes satelitales Google Earth; ofreciendo una mayor apreciación de la cobertura.

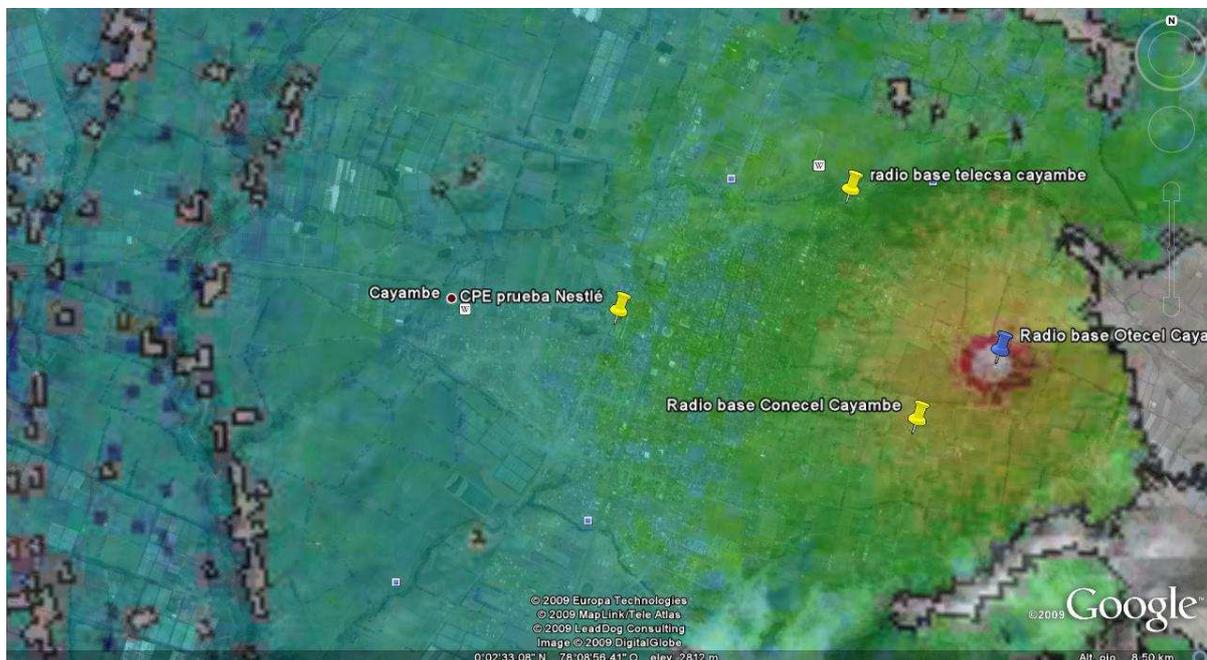


Figura No. 3.28 Cobertura Radio Base Uno fusionada con imagen satelital

Fuente: Autores (Radio Mobile + Google Earth)

En el *Anexo 9* se puede apreciar el enlace y el perfil supuesto entre la BTS referida y el CPE de prueba ubicados en sus respectivas posiciones.

3.8.1.2 Estación Base torre auto soportada CNT Tabacundo

Latitud: 0°2'53.75"N

Longitud: 78°13'2.71"O

Altura: 54 m

La segunda estación base ubicada en las edificaciones y terreno de la CNT en la ciudad de Tabacundo cubre satisfactoriamente la demanda indicada en el **sector dos** concentrada en el zona urbana de la misma ciudad. Las Figuras No. 3.29 y No. 3.30 muestran el entorno, y la posición de esta radio base, respectivamente.



Figura No. 3.29 Entorno Radio Base CNT Parque Central Tabacundo

Fuente: Autores



Figura No. 3.30 Ubicación Radio Base CNT Parque Central Tabacundo

Fuente: Autores

Luego de realizar la simulación respectiva para la **Radio Base Dos** indicada; configurando todos los parámetros técnicos requeridos, se muestran a continuación los resultados más relevantes presentados gráficamente.

La figura No. 3.31 muestra la ubicación de la **Radio Base Dos** y los CPE's de prueba sobre el mapa de trabajo de Radio Mobile; se puede notar además el relieve y la cartografía digital con los datos de elevación que soporta el software de simulación.

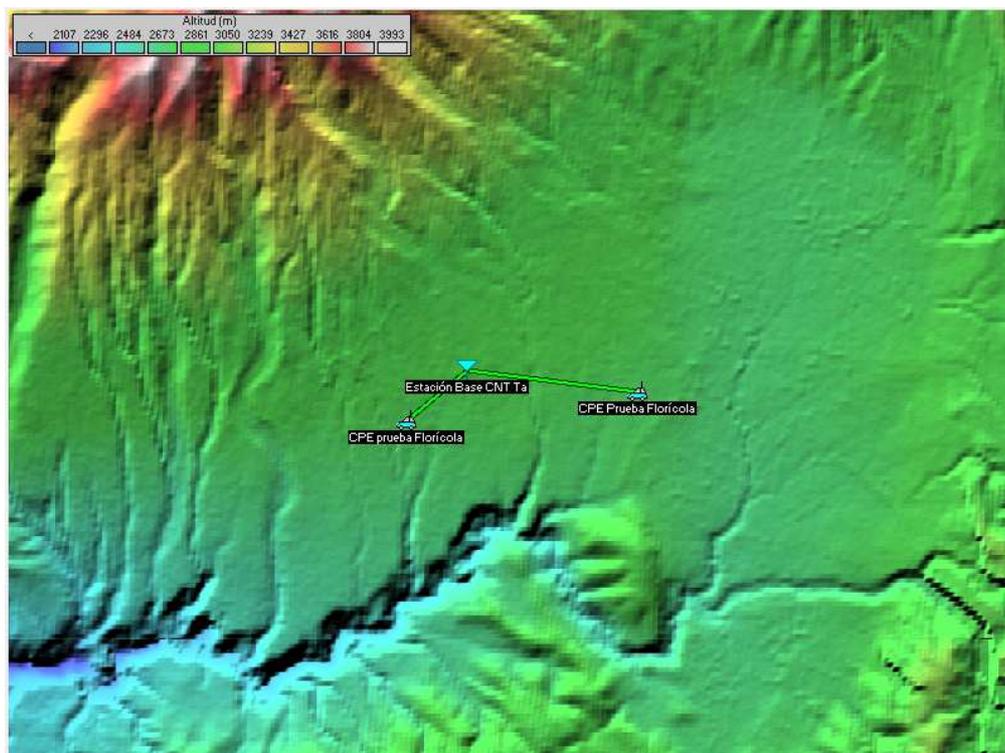


Figura No. 3.31 Ubicación de la Radio Base Dos, y CPE de prueba

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

Las figuras No. 3.32 y No. 3.33 muestran el resultado de la simulación y cobertura de la **Radio Base Dos** en dBm, cabe indicar que el límite inferior de la escala esta configurada automáticamente de acuerdo a la sensibilidad de los receptores CPE utilizados y configurados en el software, cuyas características técnicas se indican en la sección correspondiente. Se puede concluir que la cobertura de alcance efectivo y una recepción adecuada por los equipos de usuario es de alrededor de cuatro (4) Km.

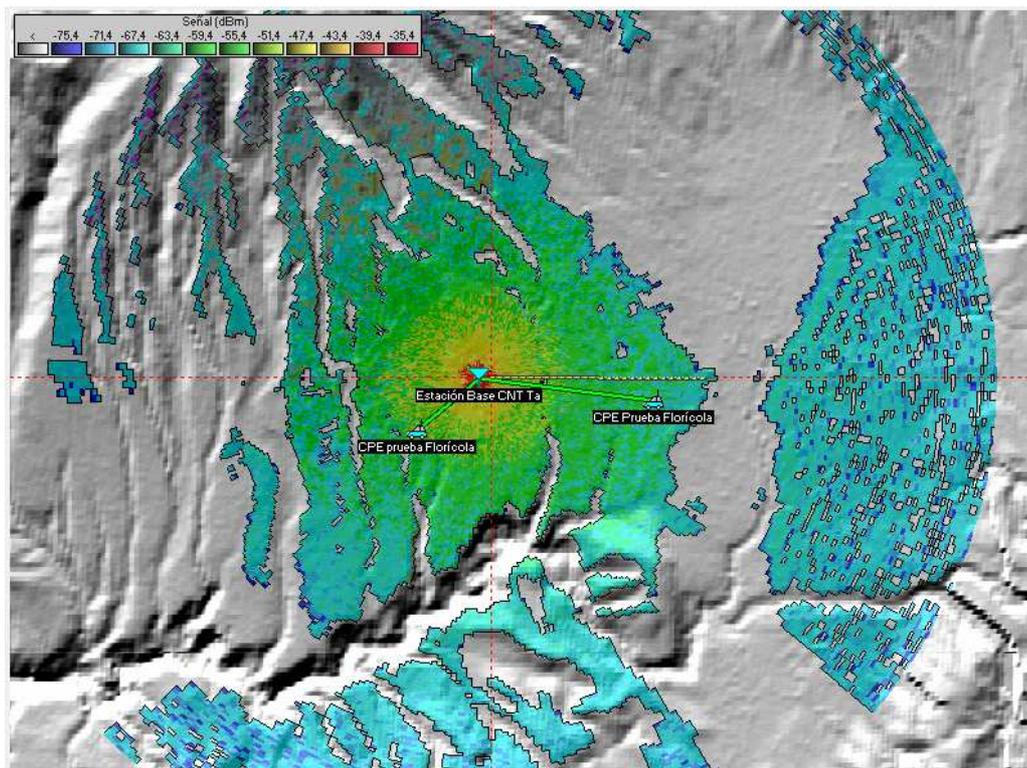


Figura No. 3.32 Cobertura Radio Base Dos sobre el mapa de trabajo
Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

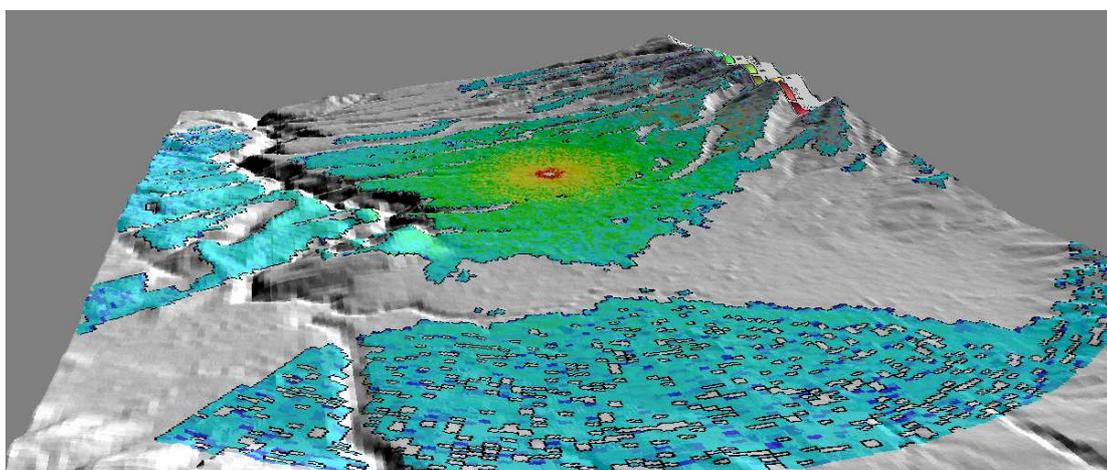


Figura No. 3.33 Cobertura Radio Base Dos 3D
Fuente: Autores (Radio Mobile)

La figura No. 3.34 muestra la cobertura de la **Radio Base Dos** fusionando la imagen de Radio Mobile con el mapa de imágenes satelitales Google Earth; ofreciendo una mayor apreciación de la cobertura.

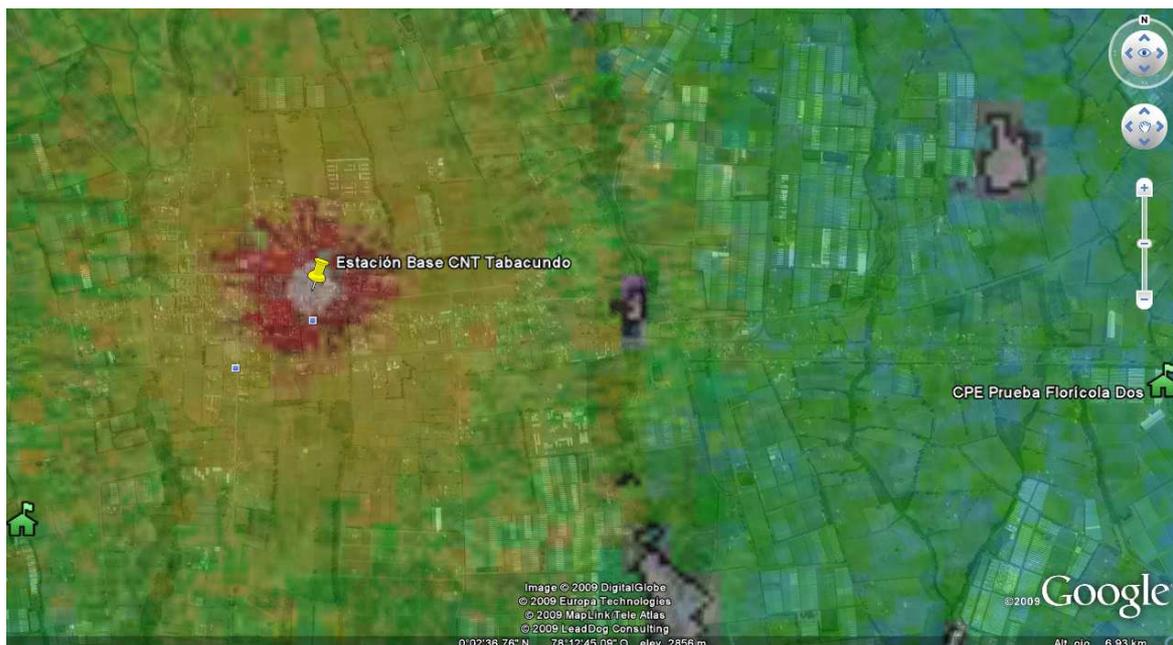


Figura No. 3.34 Cobertura Radio Base Dos fusionada con imagen satelital

Fuente: Autores (Radio Mobile + Google Earth)

En el *Anexo No. 9* se puede apreciar el enlace y el perfil supuesto entre la BTS referida y el CPE de prueba ubicados en sus respectivas posiciones.

3.8.1.3 Estación Base torre auto soportada Telecsa Guachalá - Cayambe

Latitud: 0°0'26.17"S

Longitud: 78°10'51.51"O

Altura: 40 m

La tercera estación base ubicada en el sitio referido cubre satisfactoriamente parte de la demanda indicada en el **sector tres** y la demanda dispersa indicada en el **sector cuatro**. Las Figuras No. 3.35 y No. 3.36 muestran el entorno, y la posición de esta radio base, respectivamente.



Figura No. 3.35 Entorno Radio Base Telecsa sector Guachalá
Fuente: Autores



Figura No. 3.36 Ubicación Radio Base Telecsa sector Guachalá
Fuente: Autores

Luego de realizar la simulación respectiva para la **Radio Base Tres** indicada; configurando todos los parámetros técnicos requeridos, se muestran a continuación los resultados más relevantes presentados gráficamente.

La figura No. 3.37 muestra la ubicación de la **Radio Base Tres** y los CPE's de prueba sobre el mapa de trabajo de Radio Mobile; se puede notar además el relieve y la cartografía digital con los datos de elevación que soporta el software de simulación.

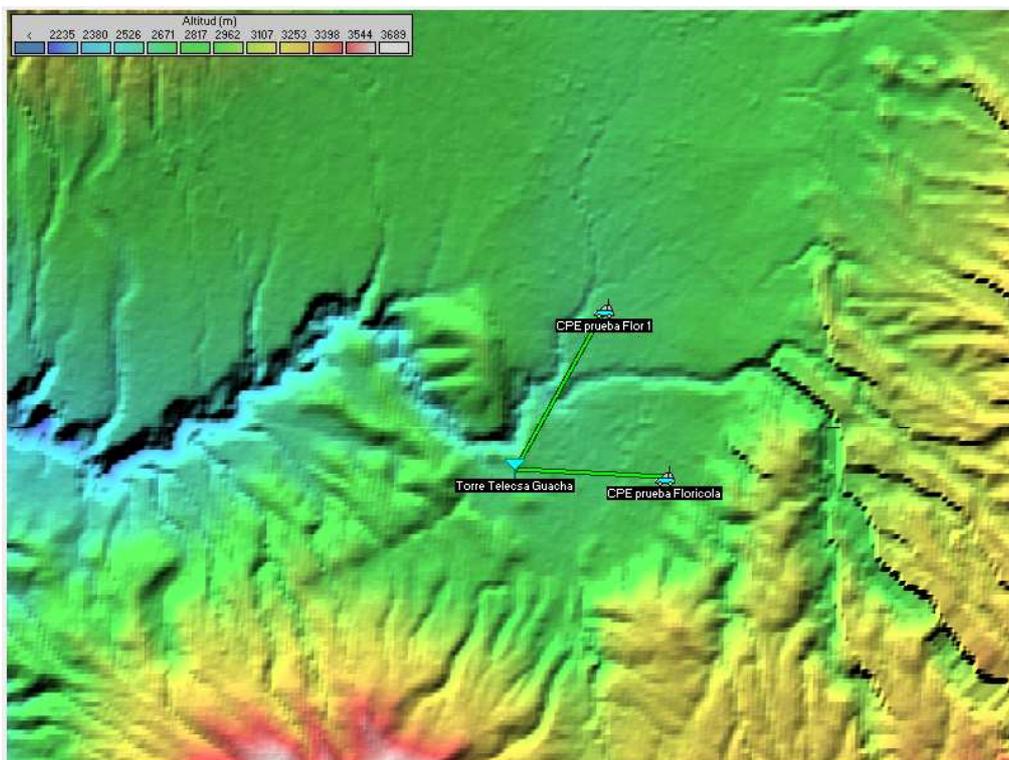


Figura No. 3.37 Ubicación de la Radio Base Tres, y CPE de prueba

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

Las figuras No. 3.38 y No. 3.39 muestra el resultado de la simulación y cobertura de la **Radio Base Tres** en dBm, cabe indicar que el límite inferior de la escala esta configurada automáticamente de acuerdo a la sensibilidad de los receptores CPE utilizados y configurados en el software, cuyas características técnicas se indican en la sección correspondiente. Se puede concluir que la cobertura de alcance efectivo y una recepción adecuada por los equipos de usuario es de alrededor de cinco (5) Km.

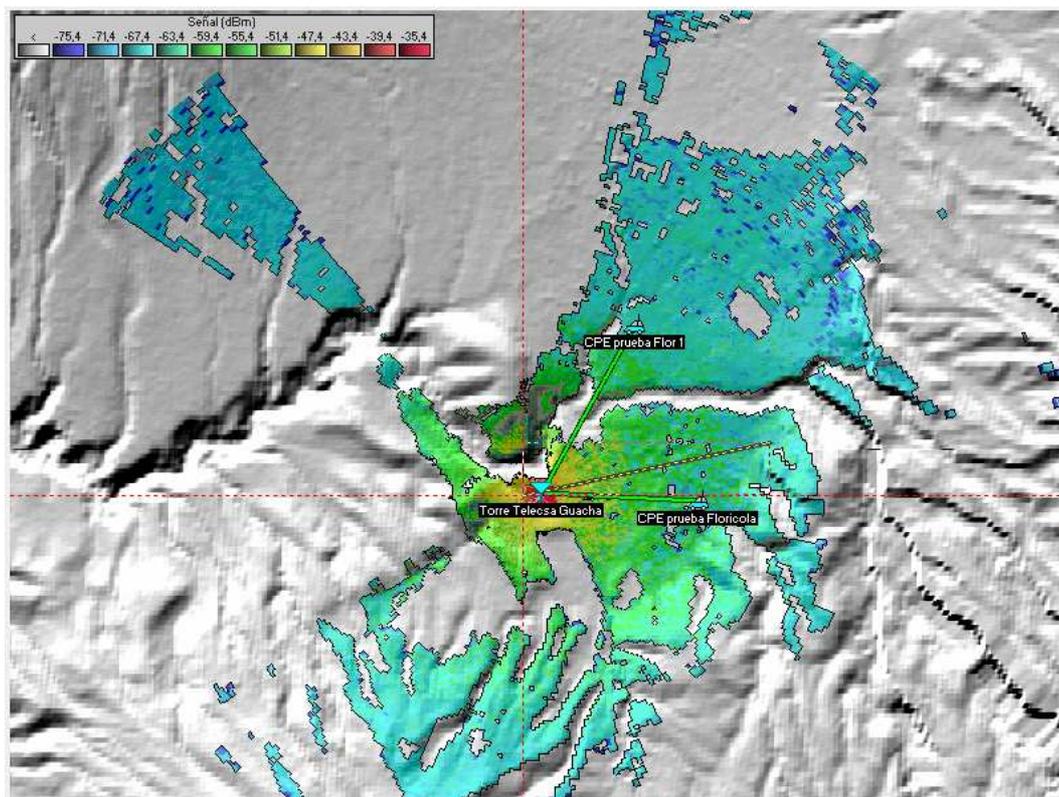


Figura No. 3.38 Cobertura Radio Base Tres sobre el mapa de trabajo

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

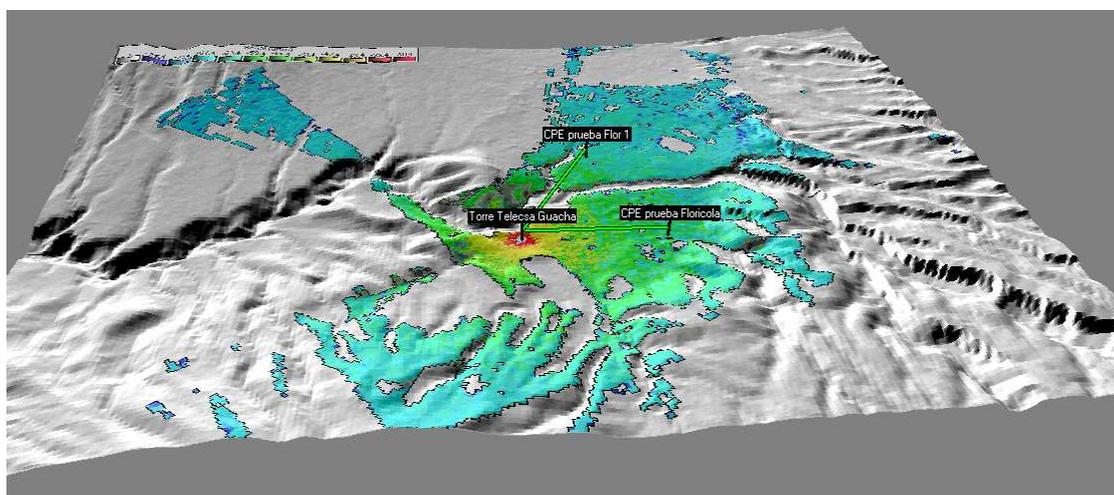


Figura No. 3.39 Cobertura Radio Base Tres 3D

Fuente: Autores (Radio Mobile)

La figura No. 3.40 muestra la cobertura de la **Radio Base Tres** fusionando la imagen de Radio Mobile con el mapa de imágenes satelitales Google Earth; ofreciendo una mayor apreciación de la cobertura.

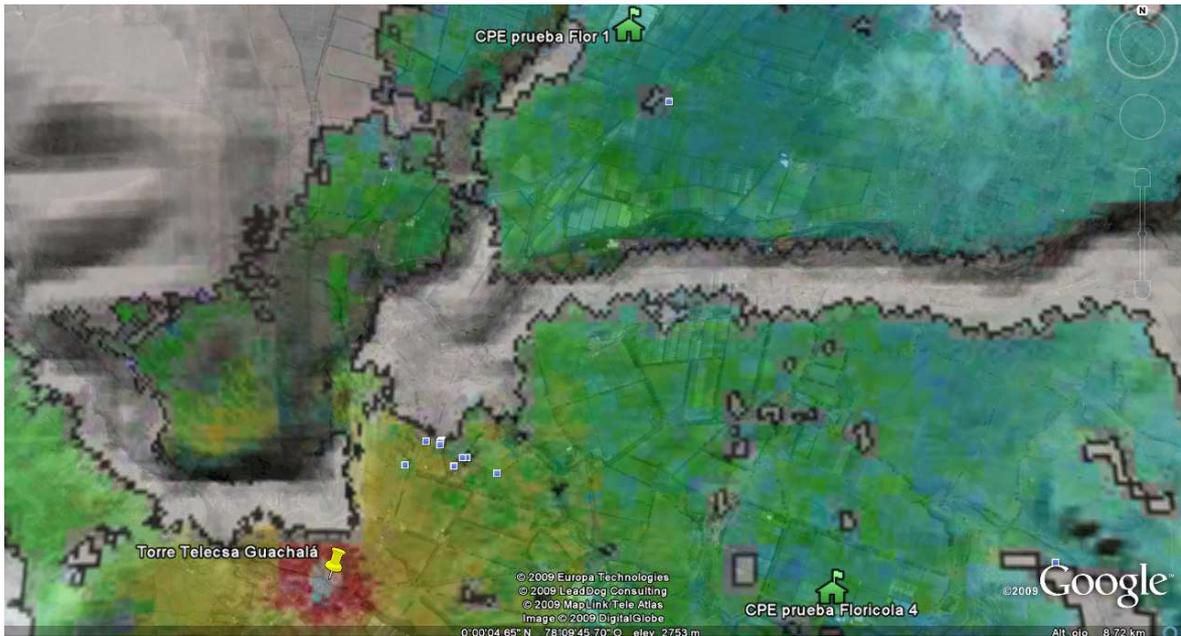


Figura No. 3.40 Cobertura Radio Base Tres fusionada con imagen satelital
Fuente: Autores (Radio Mobile + Google Earth)

En el *Anexo No. 9* se puede apreciar el enlace y el perfil supuesto entre la BTS referida y el CPE de prueba ubicados en sus respectivas posiciones.

3.8.1.4 Estación Base torre auto soportada Otecel Lago San Pablo

Latitud: 0°11'34.79"N

Longitud: 78°14'37.72"O

Altura: 42 m

La cuarta estación base ubicada en las inmediaciones del Lago San Pablo perteneciente a Otecel cubre la demanda que este sector turístico posee. Las Figuras No. 3.41 y No. 3.42 muestran el entorno, y la posición de esta radio base, respectivamente.



Figura No. 3.41 Entorno Radio Base Otecel Lago San Pablo

Fuente: Autores



Figura No. 3.42 Ubicación Radio Base Otecel Lago San Pablo

Fuente: Autores

Luego de realizar la simulación respectiva para la **Radio Base Cuatro** indicada; configurando todos los parámetros técnicos requeridos, se muestran a continuación los resultados más relevantes presentados gráficamente en las siguientes figuras.

La figura No. 3.43 muestra la ubicación de la **Radio Base Cuatro** y los CPE's de prueba sobre el mapa de trabajo de Radio Mobile; se puede notar además el relieve y la cartografía digital con los datos de elevación que soporta el software de simulación.

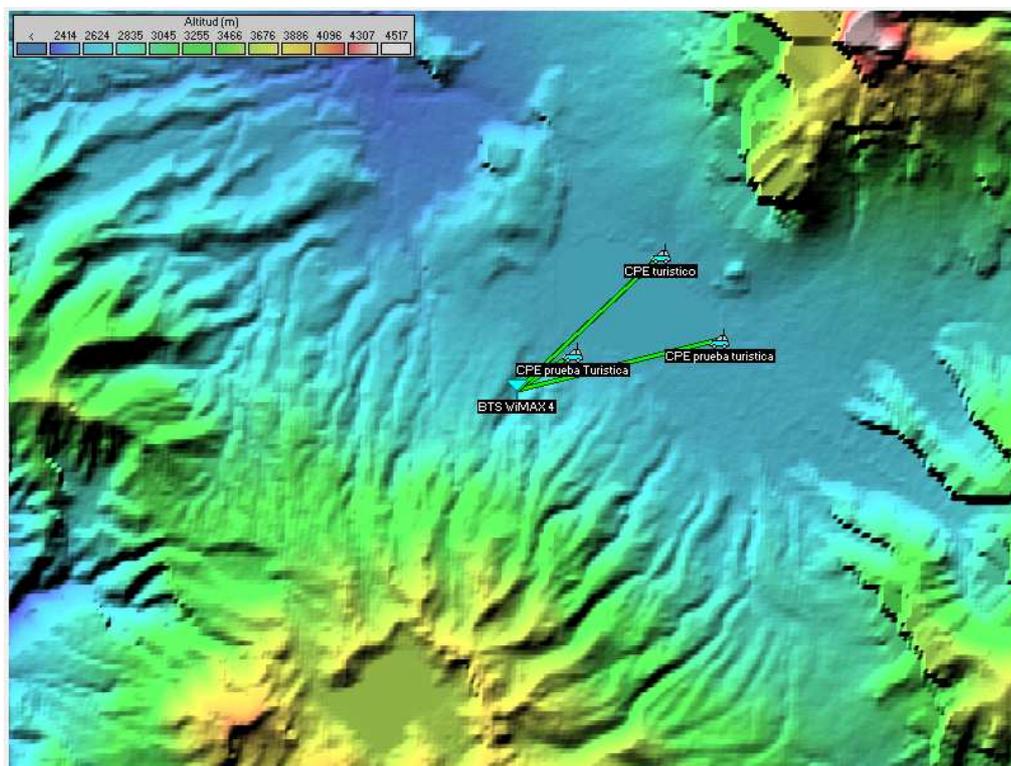


Figura No. 3.43 Ubicación de la Radio Base Cuatro, y CPE de prueba

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

Las figuras No. 3.44 y No. 3.45 muestra el resultado de la simulación y cobertura de la **Radio Base Cuatro** en dBm, cabe indicar que el límite inferior de la escala esta configurada automáticamente de acuerdo a la sensibilidad de los receptores CPE utilizados y configurados en el software, cuyas características técnicas se indican en la sección correspondiente. Se puede concluir que la cobertura de

alcance efectivo y una recepción adecuada por los equipos de usuario es de alrededor de 3,5 Km.

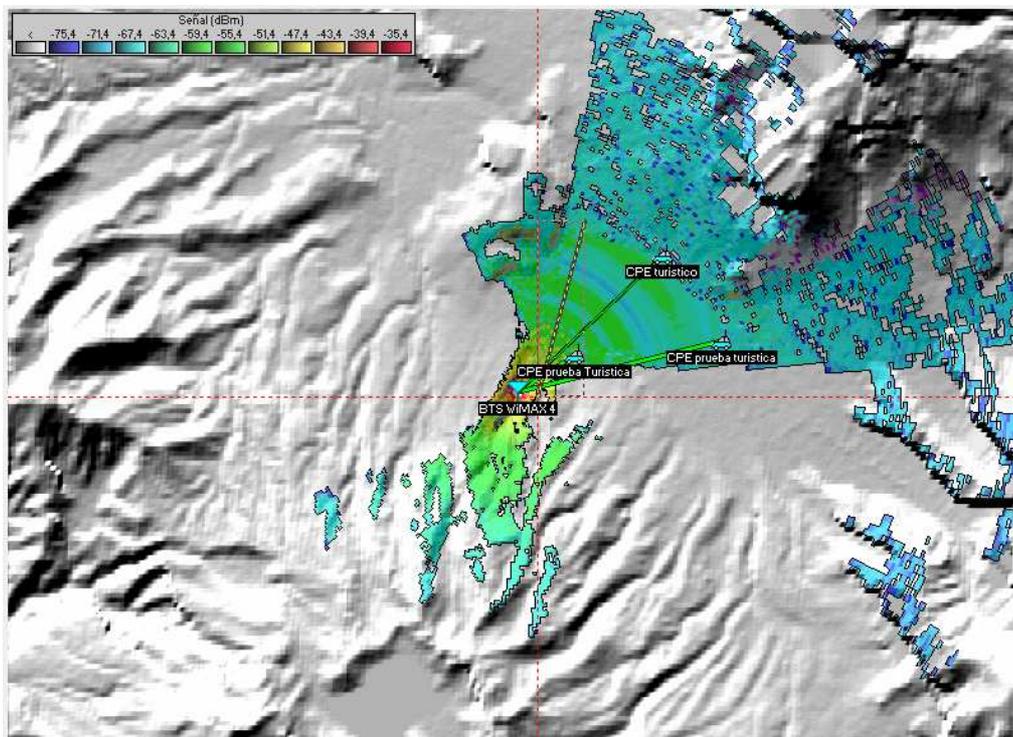


Figura No. 3.44 Cobertura Radio Base Cuatro sobre el mapa de trabajo
Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

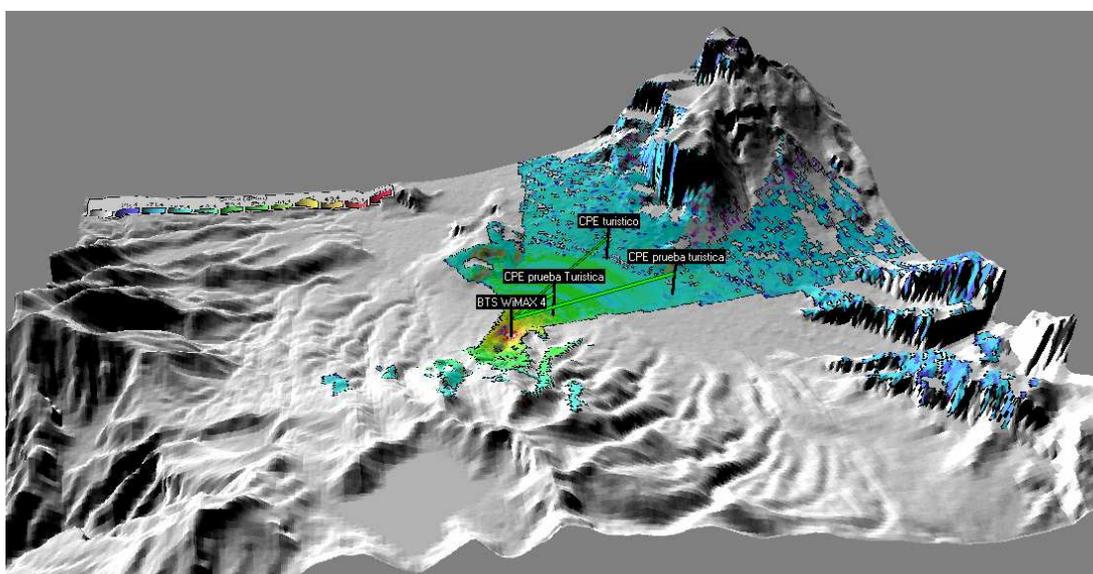


Figura No. 3.45 Cobertura Radio Base Cuatro 3D
Fuente: Autores (Radio Mobile)

La figura No. 3.46 muestra la cobertura de la **Radio Base Cuatro** fusionando la imagen de Radio Mobile con el mapa de imágenes satelitales Google Earth; ofreciendo una mayor apreciación de la cobertura.

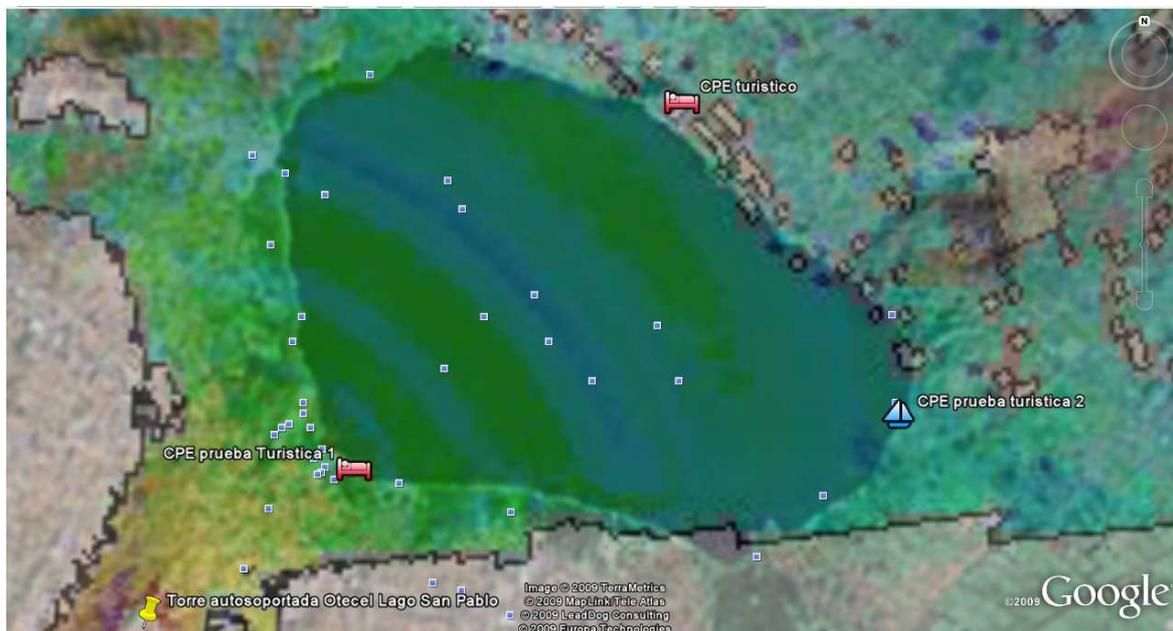


Figura No. 3.46 Cobertura Radio Base Cuatro fusionada con imagen satelital

Fuente: Autores (Radio Mobile + Google Earth)

En el *Anexo No. 9* se puede apreciar el enlace y el perfil supuesto entre la BTS referida y el CPE de prueba ubicados en sus respectivas posiciones.

3.8.1.5 Estación Base torre auto soportada Otecel - Telecsa Otavalo

Latitud: 0°13'54.68"N

Longitud: 78°16'8.06"O

Altura: 30 m

La quinta estación base ubicada al oeste junto a la ciudad de Otavalo perteneciente a Otecel cubre la demanda en esta ciudad y parte de sus alrededores. Las Figuras No. 3.47 y No. 3.48 muestran el entorno, y la posición de esta radio base, respectivamente.



Figura No. 3.47 Entorno Radio Base Otecel Otavalo
Fuente: Autores

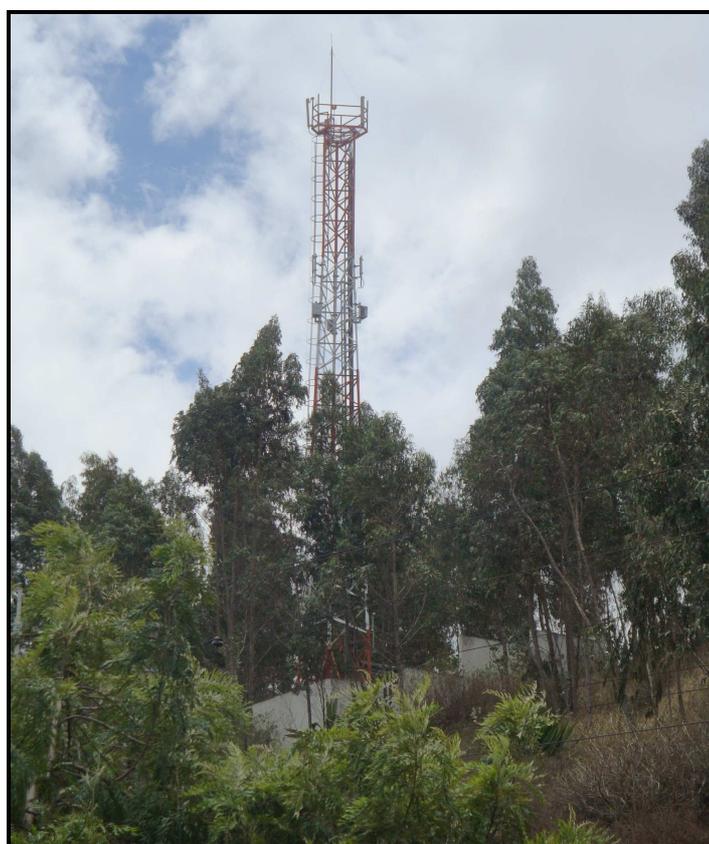


Figura No. 3.48 Ubicación Radio Base Otecel Otavalo
Fuente: Autores

Luego de realizar la simulación respectiva para la **Radio Base Cinco** indicada; configurando todos los parámetros técnicos requeridos, se muestran a continuación los resultados más relevantes presentados gráficamente en las siguientes figuras.

La figura No. 3.49 muestra la ubicación de la **Radio Base Cinco** y los CPE's de prueba sobre el mapa de trabajo de Radio Mobile; se puede notar además el relieve y la cartografía digital con los datos de elevación que soporta el software de simulación.

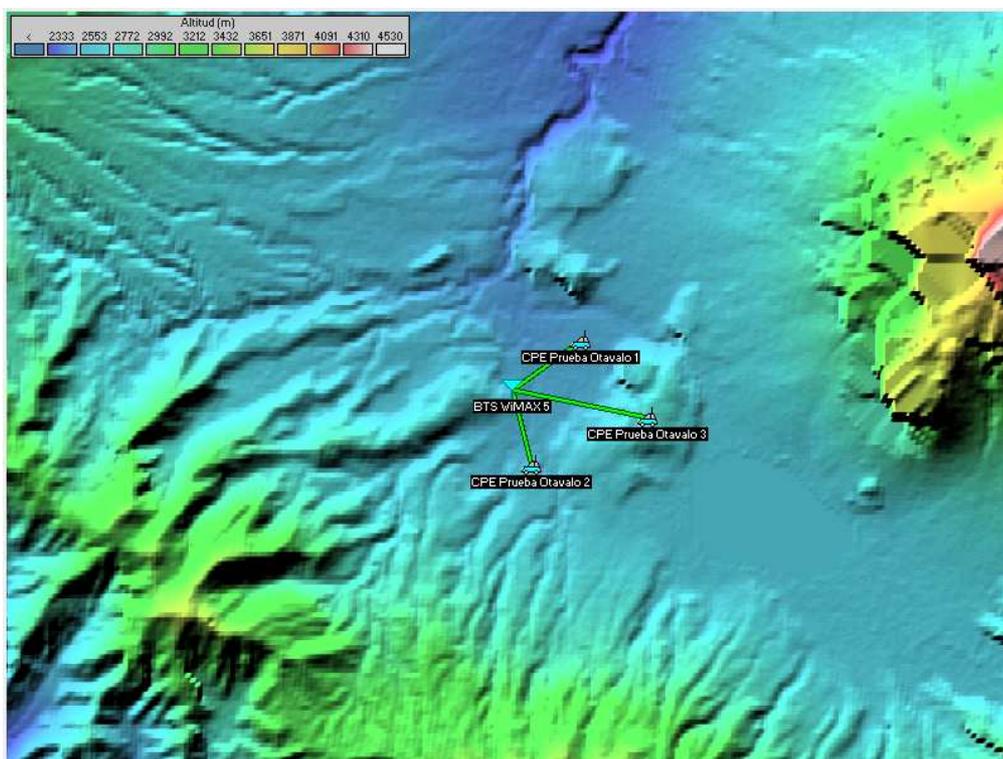


Figura No. 3.49 Ubicación de la Radio Base Dos, y CPE de prueba

Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

Las figuras No. 3.50 y No. 3.51 muestran el resultado de la simulación y cobertura de la **Radio Base Cinco** en dBm, cabe indicar que el límite inferior de la escala esta configurada automáticamente de acuerdo a la sensibilidad de los receptores CPE utilizados y configurados en el software, cuyas características técnicas se indican en la sección correspondiente. Se puede concluir que la cobertura de

alcance efectivo y una recepción adecuada por los equipos de usuario es de alrededor de 2.7 Km.

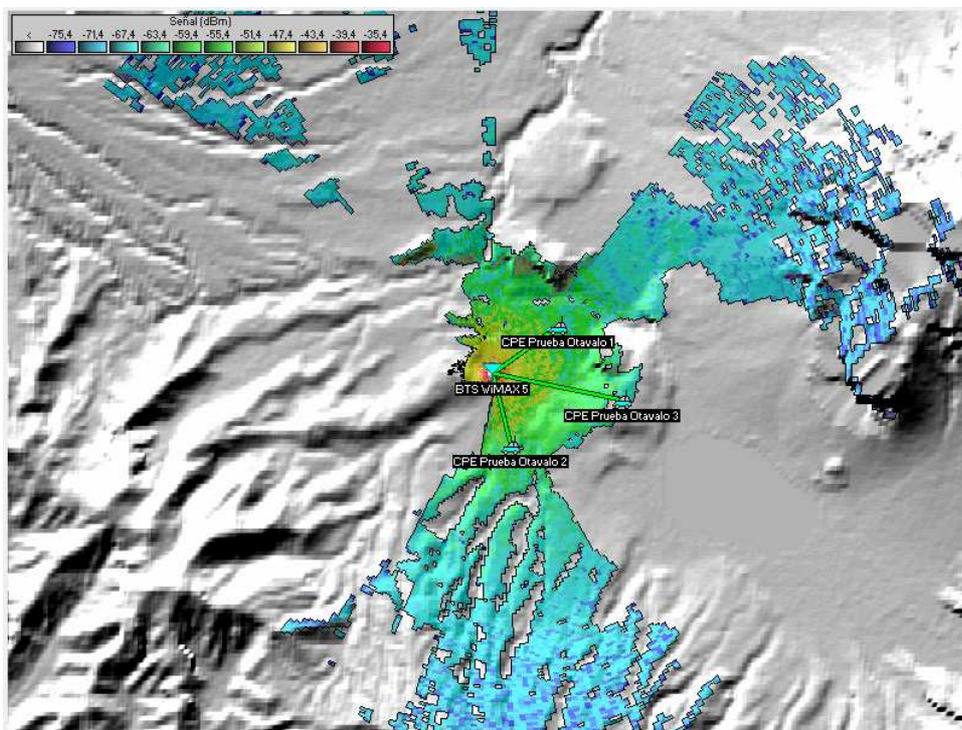


Figura No. 3.50 Cobertura Radio Base Cinco sobre el mapa de trabajo
Fuente: Autores (Imagen Radio Mobile)

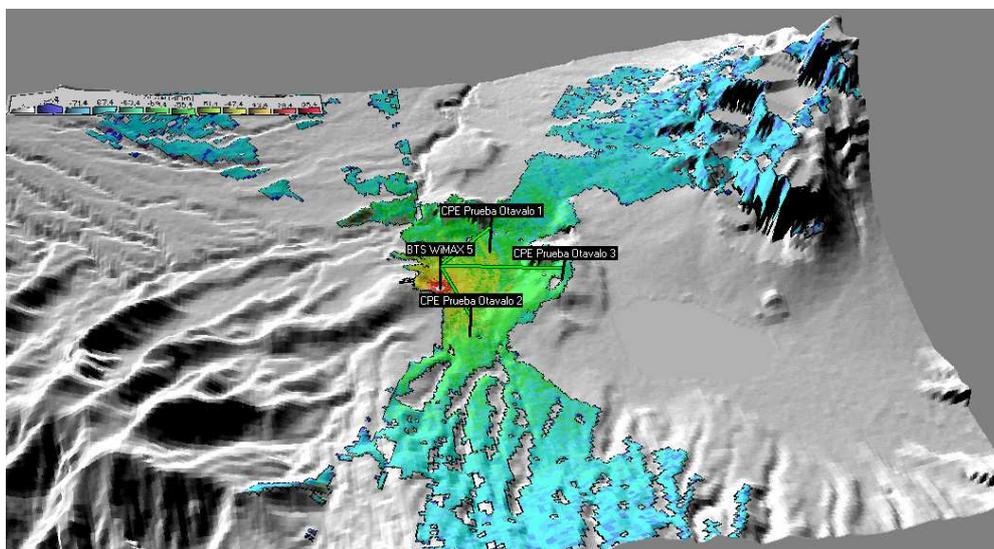


Figura No. 3.51 Cobertura Radio Base Cinco 3D
Fuente: Autores (Radio Mobile)

La figura No. 3.52 muestra la cobertura de la **Radio Base Dos** fusionando la imagen de Radio Mobile con el mapa de imágenes satelitales Google Earth; ofreciendo una mayor apreciación de la cobertura.

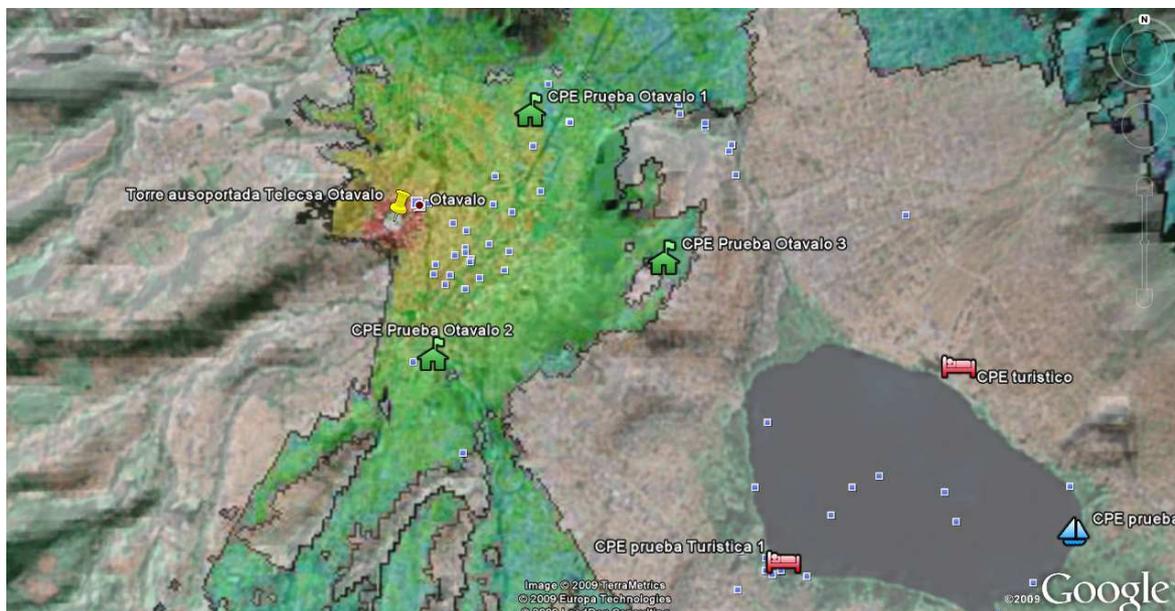


Figura No. 3.52 Cobertura Radio Base Cuatro fusionada con imagen satelital
Fuente: Autores (Radio Mobile + Google Earth)

En el *Anexo No. 9* se puede apreciar el enlace y el perfil supuesto entre la BTS referida y el CPE de prueba ubicados en sus respectivas posiciones.

3.8.2 RED ESQUEMÁTICA TOTAL PARA EL DISEÑO

Una vez realizado el estudio en cada una de las localidades para la red WiMAX del proyecto, la Figura No. 3.53 muestra la arquitectura completa de este diseño, se incluye parte de la red preexistente de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones y que servirá como core para la red inalámbrica propuesta. La Figura No. 3.53 presenta las interfaces aire con las BTS propuestas en cada localidad con su respectiva conexión al backbone IP / MPLS, además muestra la manera de como se interconecta estas redes a la red PTSN mediante el softswitch para servicios de voz en la red NGN y los equipos BRAS que permiten el acceso hacia la Internet.

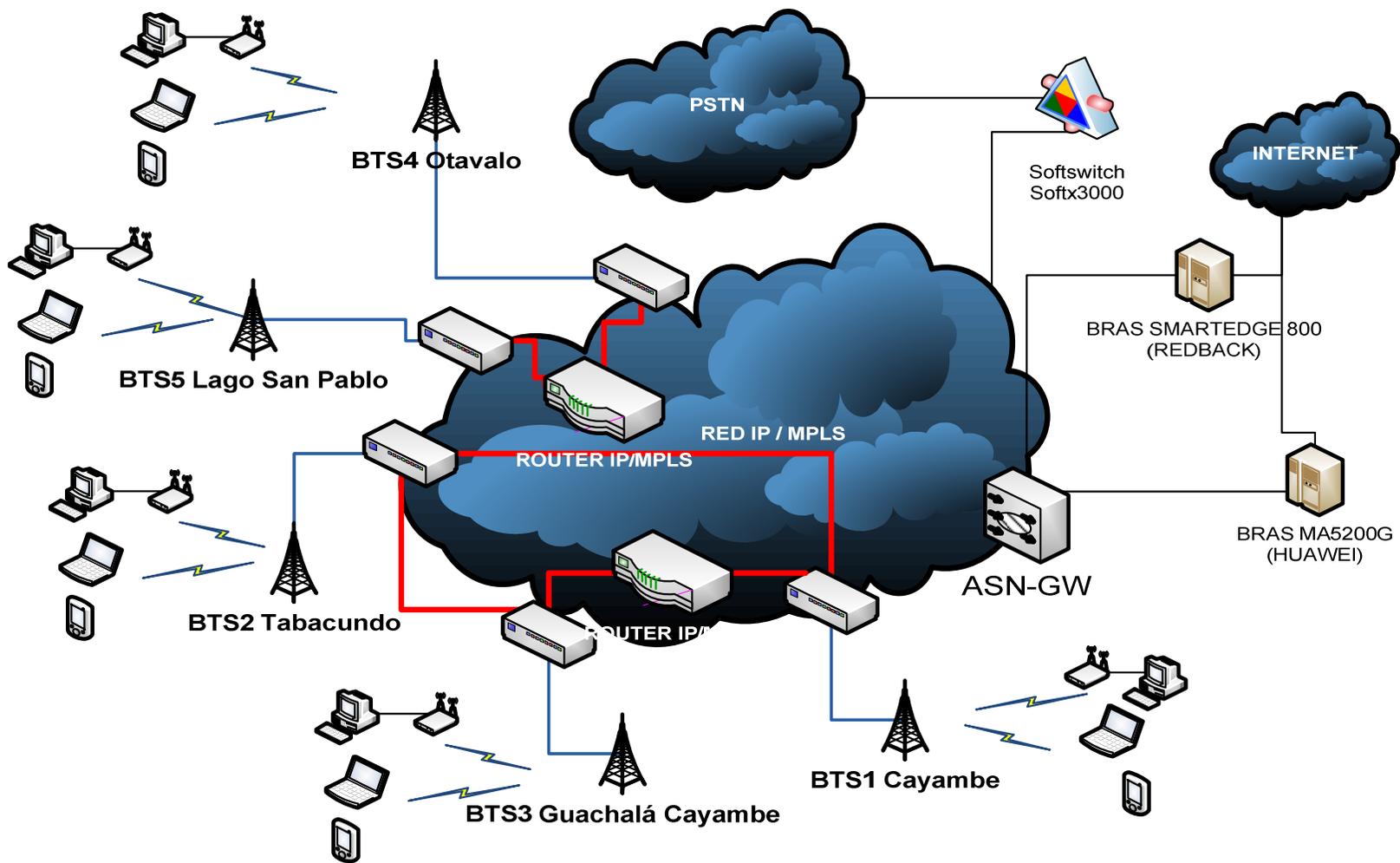


Figura No. 3.53 Red esquemática total de la red WiMAX para los sectores de Cayambe, Tabacundo y Otavalo y su interconexión a la red IP/MPLS de CNT S. A.

Fuente: Autores

3.9 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PREDICCIÓN DE COBERTURA Y SIMULACIÓN

Es importante para el estudio, destacar los resultados obtenidos de la simulación de cobertura y de los diferentes análisis realizados en el programa de simulación Radio Mobile V.10.1.4. Entre algunos de los parámetros medidos están: el nivel de señal recibido por los CPE's de prueba en dBm, la distancia de cobertura promedio en Km. observada en el mapa de trabajo, el PIRE¹³³ de la antena en la estación base.

El cálculo del enlace que supone utilizar los métodos convencionales matemáticos para su resolución; es realizado de manera automática con el apoyo del software señalado y los recursos computacionales. Como se ha indicado en todo el desarrollo de este trabajo, la tecnología WiMAX utiliza muchas innovaciones en técnicas de transmisión que a través del programa informático es más versátil predecir la cobertura tomando en consideración estas características, en comparación con los cálculos manuales de los modelos matemáticos.

3.9.1 ESTACIÓN BASE UNO

La estación base uno, instalada al Oriente de la ciudad de Cayambe, emplazada en las coordenadas antes descritas en la sección correspondiente, cubre satisfactoriamente el **sector uno**, es decir toda la zona urbana de la ciudad de Cayambe con un nivel de señal muy satisfactorio, y zonas rurales aledañas al norte, al sur y al oeste de la ciudad donde existe también demanda. Se puede observar que el enlace entre la Estación Base y el CPE de prueba es satisfactorio y mucho mejor considerando que los enlaces utilizando WiMAX no necesitan línea de vista (NLOS).

La tabla No. 3.5 muestra los valores relevantes obtenidos de la simulación:

¹³³ PIRE (Potencia Isotrópicamente Radiada Efectiva); Cátedra de Sistemas Radiantes.

PIRE de la Estación Base	Cobertura promedio de la radio base	Señal recibida CPE Prueba
562.34 (W)	6 (Km)	- 60 (dBm)

Tabla No. 3.5 Resultados de la simulación Estación Base Uno

Fuente: Autores (Simulación Radio Mobile V.10.1.4)

3.9.2 ESTACIÓN BASE DOS

La estación base dos, instalada en las edificaciones de la CNT en el centro de la ciudad de Tabacundo, emplazada en las coordenadas antes descritas en la sección correspondiente, cubre satisfactoriamente el **sector dos**; es decir, toda la zona urbana de la ciudad de Tabacundo con un nivel de señal muy satisfactorio, y zonas rurales aledañas al norte, al sur, al oeste y al este de la ciudad, donde también existe demanda del sector industrial. Se puede observar que el enlace entre la Estación Base y el CPE de prueba es satisfactorio y mucho mejor considerando que los enlaces utilizando WiMAX no necesitan línea de vista (NLOS).

La tabla No. 3.6 muestra los valores relevantes obtenidos de la simulación:

PIRE de la Estación Base	Cobertura promedio de la radio base	Señal recibida CPE Prueba
562.34 (W)	4 (Km)	-58.2 (dBm)

Tabla No. 3.6 Resultados de la simulación Estación Base Dos

Fuente: Autores (Simulación Radio Mobile V.10.1.4)

3.9.3 ESTACIÓN BASE TRES

La estación base tres, instalada en una de las torres autosoportadas en el sector de Guachalá al sur de la ciudad de Cayambe, emplazada en las coordenadas antes descritas en la sección correspondiente, cubre satisfactoriamente el **sector tres y el sector cuatro**; es decir, una gran parte de la zona industrial florícola, y ciertas áreas turísticas localizadas al sur de la ciudad de Cayambe con un nivel de señal muy satisfactorio, donde existe demanda con clientes corporativos potenciales. Se puede observar que el enlace entre la Estación Base y el CPE de prueba ubicado aproximadamente en una de las industrias florícolas es satisfactorio y mucho mejor considerando que los enlaces utilizando WiMAX no necesitan línea de vista (NLOS).

La tabla No. 3.7 muestra los valores relevantes obtenidos de la simulación:

PIRE de la Estación Base	Cobertura promedio de la radio base	Señal recibida CPE Prueba
562.34 (W)	5 (Km)	-59,4 (dBm)

Tabla No. 3.7 Resultados de la simulación Estación Base Tres

Fuente: Autores (Simulación Radio Mobile V.10.1.4)

3.9.4 ESTACIÓN BASE CUATRO

La estación base cuatro, instalada cerca de las inmediaciones del Lago San Pablo en la Provincia de Imbabura, emplazada en las coordenadas antes descritas en la sección correspondiente, cubre satisfactoriamente el **sector seis**, que comprende toda el área turística y poblaciones junto al Lago San Pablo con un nivel de señal muy satisfactorio. Se puede observar que el enlace entre la Estación Base y el CPE de prueba ubicado junto al lago es satisfactorio y mucho mejor considerando que los enlaces utilizando WiMAX no necesitan línea de vista (NLOS).

La tabla No. 3.8 muestra los valores relevantes obtenidos de la simulación:

PIRE de la Estación Base	Cobertura promedio de la radio base	Señal recibida CPE Prueba
562.34 (W)	3.5 (Km)	- 62.3 (dBm)

Tabla No. 3.8 Resultados de la simulación Estación Base Dos

Fuente: Autores (Simulación Radio Mobile V.10.1.4)

3.9.5 ESTACIÓN BASE CINCO

La estación base cinco, instalada en una torre autosoportada junto a la ciudad de Otavalo, emplazada en las coordenadas antes descritas en la sección correspondiente, cubre satisfactoriamente el **sector cinco**, toda la zona urbana de la ciudad de Otavalo con un nivel de señal muy satisfactorio, y zonas rurales aledañas al norte al sur, y este de la ciudad, donde existe demanda potencial. Se puede observar que el enlace entre la Estación Base y el CPE de prueba es satisfactorio y mucho mejor considerando que los enlaces utilizando WiMAX no necesitan línea de vista (NLOS).

La tabla No. 3.9 muestra los valores relevantes obtenidos de la simulación:

PIRE de la Estación Base	Cobertura promedio de la radio base	Señal recibida CPE Prueba
562.34 (W)	2.7 (Km)	- 52.0 (dBm)

Tabla No. 3.9 Resultados de la simulación Estación Base Dos

Fuente: Autores (Simulación Radio Mobile V.10.1.4)

3.9.6 TABLAS COMPARATIVAS DE LOS CÁLCULOS TEÓRICOS VS. VALORES OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez realizada la simulación y basándonos en los resultados antes indicados, se muestra a continuación tablas comparativas de dichos valores; se puede mostrar un valor de error muy bajo de aproximadamente 0,1%. Los valores están tabulados en las tablas No. 3.10 y 3.11

Parámetro	Modelo de cálculo teórico	Modelo de cálculo con RADIO MOBILE
Distancia de enlace D	2.04Km	2.03Km
Angulo de elevación α	5.08°	5.215°
Azimut sitio 1	274.79°	276.1°
Azimut sitio2	94.79°	96.1°
Pérdidas por espacio libre	109.474	109.5
Pérdidas por obstrucción	1.43	--
PIRE	562.34	562.34

Tabla No. 3.10 Comparación Cálculo Teórico vs. Simulación Estación Base Uno

Fuente: Autores

Parámetro	Modelo de cálculo teórico	Modelo de cálculo con RADIO MOBILE
Distancia de enlace D	4.08Km	4.1Km
Angulo de elevación α	1.45°	1.525°
Azimut sitio 1	312.18°	315°
Azimut sitio2	132.18°	135°
Pérdidas por espacio libre	115.5	115.5
Pérdidas por obstrucción	1.43	--
PIRE	562.34	562.34

Tabla No. 3.11 Comparación Cálculo Teórico vs. Simulación Estación Base Cuatro

Fuente: Autores

3.10 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS A UTILIZARSE

3.10.1 ESTACIÓN BASE (HUAWEI DBS3900 WiMAX)

Localizado entre el ASN-GW y la MS/SS en el estándar IEEE802.16-e compatible con redes WiMAX, es controlado por el ASN-GW, recibe y transmite señales. EL DBS3900 WiMAX es una estación base distribuida que consiste de una Unidad de Banda de Base (BBU) y una o más Unidades Remotas de Radio (RRU). El BBU y las RRUs están conectadas mediante fibra óptica. Físicamente la estación base está compuesta por las siguientes partes:

3.10.1.1 BBU

Apariencia de la BBU:

La BBU está diseñada con un chasis estándar de 19 pulgadas. Este puede ser colocado dentro de un local en un gabinete estándar de 19 pulgadas o fuera del mismo en un gabinete con protección, la Figura No. 3.54 se muestra la apariencia de una BBU



Figura No. 3.54 Apariencia de una BBU

Fuente: Descripción de producto DBS3900 WiMAX (HUAWEI)

Principios de funcionamiento de la BBU:

La Figura No. 3.55 muestra los principios de funcionamiento de la BBU

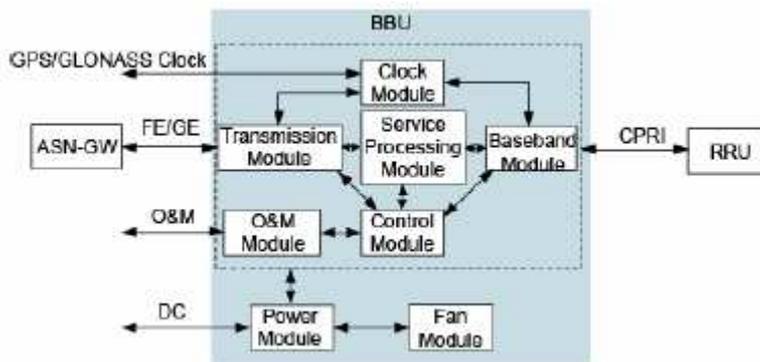


Figura No. 3.55 Principios de funcionamiento de una BBU

Fuente: Descripción de producto DBS3900 WiMAX (HUAWEI)

La BBU consiste de los siguientes módulos funcionales:

- Módulo de banda base: Realiza las funciones como la codificación/decodificación de la señal y la modulación/demodulación por los canales UL y los de DL. Las funciones se realizan en la capa PHY en el estándar 802.16e-2005.
- Módulo de procesamiento de servicio: Realiza funciones tales como servicio de aseo y la encapsulación PDU en la capa inferior MAC.
- Módulo de transmisión: El módulo de transporte soporta R6 de gestión del túnel y proporciona los canales de servicio a través de vínculos Ethernet. El sistema admite dos puertos Ethernet 10/100Mbit/s eléctricos o dos puertos Ethernet 1000 Mbit/s óptico o eléctrico.
- Módulo de control: Realiza funciones tales como el control de los recursos de radio, procesamiento de gestión de servicios en la capa superior de MAC, y el tratamiento de control de los mensajes de señalización en la interfaz R6.
- Módulo O&M: Permite la operación y mantenimiento del sistema, proporcionando un puerto Ethernet 10 Mbit/s ó 100 Mbit/s y un puerto serie.
- Módulo de reloj: El módulo de reloj provee las señales GPS de reloj.
- Módulo de ventilador: Cinco ventiladores son equipados en una BBU para brindar refrigeración.
- Módulo de poder: Convierte la energía de entrada en -48V DC de salida. Para observar las fotografías reales referirse al *Anexo No.6*

3.10.1.2 RRU

Apariencia de la RRU:

La Figura No. 3.56 se muestra la apariencia de una RRU



Figura No. 3.56 Apariencia de una BBU

Fuente: Descripción de producto DBS3900 WiMAX (HUAWEI)

Principios de funcionamiento de la RRU:

La Figura No. 3.57 muestra los principios de funcionamiento de la BBU

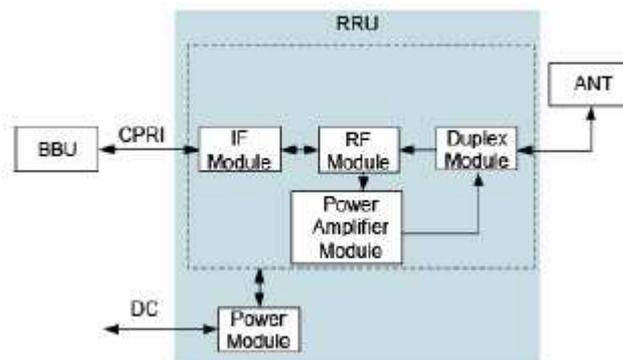


Figura No. 3.57 Principios de funcionamiento de una BBU

Fuente: Descripción de producto DBS3900 WiMAX (HUAWEI)

Una RRU consiste de los siguientes módulos:

- Módulo IF: Realiza la conversión digital hasta la conversión digital a analógico (D/A) a través de canales DL. A través de canales UL, el módulo IF realiza la conversión análoga a digital (A/D), por la conversión digital, y demodulación digital I/Q.
- Módulo RF: A través de canales DL, el módulo de RF se mezcla con las señales analógicas de la frecuencia de trabajo requerida del módulo IF y

envía las señales mixtas a la antena después de amplificación de potencia. A través de canales UL, el módulo de RF realiza la amplificación de ruidos más bajos y por la conversión de las señales recibidas por la antena y entonces envía la señal a analógica al módulo IF.

- Módulo duplexor: Permite enviar y recibir señales a través de una sola antena.
- Módulo amplificador de poder: Amplifica las señales de transmisión de el módulo RF
- Módulo de poder: Convierte la energía de entrada en -48V DC de salida. Además provee protección anti-rayos. Para observar fotografías reales de los equipos referirse al *Anexo No.6*

3.10.1.3 Especificaciones de rendimiento

La Tabla No. 3.12 presenta las especificaciones de servicio del DBS3900 WiMAX

Ítem	Descripción
Número máximo de suscriptores en línea soportados por la BTS	Un sector soporta máximo 1024 suscriptores en línea (Incluyendo suscriptores activos, suscriptores inactivos y suscriptores desconectados). El DBS3900 en configuración S (1/1/1) soporta máximo 3072 suscriptores.
Número máximo de suscriptores activados	Un sector soporta como máximo 256 suscriptores activos; por la tanto la BTS en configuración S(1/1/1) soporta 768 suscriptores activos.
El rendimiento de la interfaz aire	<ul style="list-style-type: none"> • A través del canal DL de un sector, el rendimiento máximo llega hasta 30 Mbit/s cuando se proporcionan las configuraciones de ancho de banda de 10 MHz, PUSC / todos los SC, DL / UL = 32:15, y MIMO 2T2R SM. • A través del canal UL de un sector, el rendimiento máximo llega hasta 6 Mbit/s cuando se proporcionan las configuraciones de ancho de banda de 10 MHz, PUSC / todos los SC, DL / UL = 32:15, y UL CSM
Poder de transmisión	Cuando la banda de frecuencia es 2.5 GHz o 2.3 GHz, el máximo poder de transmisión de la antena es 10W, y en consecuencia a la máxima potencia de transmisión de una RRU es de 20 W.
Cobertura remota	En las zonas rurales donde la cobertura a distancia (> 10 km)

	es necesario.
Sincronización con BTS	La precisión del reloj BTS debe ser mejor que ± 2 ppm. La sincronización de frecuencia de precisión entre BTSs debe ser de 1% inferior al espacio entre sub-portadoras. La precisión de sincronización de tiempo entre BTS debe ser superior a 1 us.
Ocho horas de funcionamiento normal después del fracaso de la tarjeta de satélite o por la pérdida del satélite.	Ocho horas de + / -10 us de funcionamiento normal después de la pérdida de la fuente de reloj. Asegura las ocho horas de funcionamiento normal después del fracaso de la tarjeta de satélite o la pérdida del satélite.

Tabla No. 3.12 Especificaciones de servicio del DBS3900 WiMAX

Fuente: Descripción de producto DBS3900 WiMAX (HUAWEI)

3.10.2 (CPE) TERMINAL DE USUARIO WIMAX (ECHOLIFE BM635)

Es un terminal o equipo de usuario para WiMAX móvil de tipo “indoor”, que trabaja en la banda de frecuencias de 3.5 GHz.

- Basado en el estándar IEEE 802.16e
- Posee el estándar WiFi IEEE 802.11 b/g
- Banda de Frecuencia de 3.4 ~ 3.6 GHz
- Autenticación IEEE 802.16e para seguridad y cifrado.
- MIMO 1 Tx y 2 RX
- Administración y Gestión de QoS.
- Dos puertos para VoIP.
- Cuatro puertos Ethernet con características IP avanzadas.
- El máximo throughput para el equipo es 10 Mbps para downlink y de 3 Mbps para uplink.
- La técnica MIMO y la técnica OFDMA utilizada mejoran notablemente el rendimiento y capacidad del sistema y mejora la eficiencia espectral.

La figura No. 3.58 muestra la apariencia del equipo de usuario:



Figura No. 3.58 CPE WiMAX Echolife BM635

Fuente: Product Description HUAWEI WiMAX EchoLife BM635

3.10.2.1 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad de un receptor EchoLife BM635 varía con el ancho de banda del canal.

La Tabla No. 3.13 muestra la sensibilidad del receptor según el ancho de banda del canal con una tasa de BER (Bit Error Rate) igual a 10^{-6} .

Modo de Modulación	Sensibilidad del Receptor (dBm)	
	5MHz	10MHz
QPSK-1/2	-95.6	-93.8
QPSK-3/4	-93.6	-91.5
QAM16-1/2	-91.2	-89.2
QAM16-3/4	-86.7	-84.4
QAM64-1/2	-85.6	-82.9
QAM64-2/3	-81.1	-79.0
QAM64-3/4	-79	-77.5
QAM64-5/6	-76.3	-75.4

Tabla No. 3.13 Sensibilidad del receptor EchoLife BM635 para diferentes anchos de banda

Fuente: Product Description HUAWEI WiMAX EchoLife BM635

3.10.2.2 Especificaciones de la antena

La Tabla No. 3.14 muestra las especificaciones de la antena del receptor EchoLife BM635

Ítem	Rango
Conector	SMA femenino
Máxima poder de salida del puerto de la antena	25dBm@16-QAM, 27dBm@QPSK
Impedancia	50 Ω
Tipo de Radiación	Omni-direccional
Ganancia pico	2dBi
Polarización	Vertical

Tabla No. 3.14 Especificaciones de la Antena del receptor EchoLife BM635

Fuente: Product Description HUAWEI WiMAX EchoLife BM635

Para observa fotografías reales de los equipos referirse al *Anexo No.6*

CAPÍTULO 4

ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA RED INALÁMBRICA CON TECNOLOGÍA WIMAX

Como resultado de la simulación de cobertura realizada, el diseño final propuesto consta de cinco estaciones bases ubicadas a lo largo del área en estudio, sus principales componentes funcionales, tales como antenas, BBU's, RRU's, etc., equipos de core, de transmisión, y los equipos de usuario final. Es imprescindible realizar una estimación del presupuesto de inversión para la implementación de esta red inalámbrica.

En virtud de todo lo anterior, se presenta una valoración de los principales aspectos y rubros económicos a considerarse para calcular el costo total del proyecto.

4.1 WIMAX FORUM Y PRINCIPALES FABRICANTES DE EQUIPOS WIMAX

El WIMAX Forum es un consorcio que reúne las empresas líderes en telecomunicaciones en la tecnología WiMAX, una organización sin fines de lucro creada para certificar y promover la compatibilidad y la interoperabilidad de los equipos de banda ancha inalámbrica basados en el estándar IEEE 802.16. Uno de sus principales objetivos es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado de telecomunicaciones. Los productos certificados por el WIMAX Forum son completamente inter - operables y soportan redes de banda ancha fijas, portables, y de servicios móviles. A través de todos estos conceptos trabaja el WIMAX Forum íntimamente con los proveedores de servicio y las entidades reguladoras para garantizar que los sistemas certificados cumplan con los altos estándares, demandas de los consumidores y de los gobiernos.

4.1.1 PRINCIPALES FABRICANTES MIEMBROS DEL WIMAX FORUM

Entre algunos de los fabricantes que forman parte, trabajan y participan tecnológicamente en el WiMAX Forum tenemos¹³⁴:

- Airspan Networks
- Motorola
- Fujitsu
- Alvarion
- Samsung
- Clearwire
- Nextel
- Intel Corporation
- Cisco Systems
- Industrial Technology Research Institute
- Comcast Corporation
- Alcatel-Lucent
- Nokia
- Huawei Technologies
- Aperto Networks
- Sprint
- BT
- ZTE Corporation
- KDDI
- KT Corp.

4.2 COSTOS ACTUALES DE EQUIPOS WIMAX EN EL MERCADO DE TELECOMUNICACIONES

Para estimar el presupuesto de implementación de la red inalámbrica diseñada, es importante contar con información de ofertas reales realizadas en los concursos de contratación en el mercado ecuatoriano de telecomunicaciones. Los costos presentados en esta sección corresponden a datos económicos otorgados por las empresas ofertantes de equipos con tecnología WiMAX, estas ofertas corresponden a archivos de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. Por convenio de confidencialidad con la CNT cabe destacar que los valores aquí presentados son producto de la multiplicación por un factor a efecto de respetar la confidencialidad referida; pero sin embargo se aproximan a un posible valor final.

¹³⁴ <http://www.wimaxforum.org/about/member-roster>, acceso: 28 de octubre de 2009; 18h38

A continuación se muestran los precios estimados de cuatro empresas importantes proveedoras de equipos de telecomunicaciones en el mercado ecuatoriano y a nivel mundial; estas empresas ofrecen también equipos con tecnología WiMAX, su instalación, soporte y mantenimiento. A continuación se detalla una aproximación de los costos de los equipos WiMAX en el mercado; estos servirán de referencia económica para estimar el presupuesto final del proyecto.

4.2.1 EQUIPOS DEL FABRICANTE ALCATEL

En la Tabla No. 4.1 se muestran los precios aproximados de equipos WiMAX ofrecidos por la empresa ALCATEL – LUCENT DEL ECUADOR.

	Marca	Modelo	Precio (USD \$)
ESTACIÓN BASE	ALCATEL	9710 C-WBS	57.338,00
SWITCH	ALCATEL-LUCENT	OS6850-24LD	3.400,00
TERMINALES SUSCRIPTOR			
Indoor	ZyXEL	MAX-216 M1	142,00
Indoor multiuser	ZyXEL	MAX-216 HW2	232,00
Outdoor	ZyXEL	MAX-216 M1	299,00
Outdoor multiuser	ZyXEL	MAX-316 HW2	345,00
CONTROLADOR DE ESTACIONES	ALCATEL-LUCENT	WAC 9740	150.000,00
SISTEMA DE GESTIÓN	ALCATEL-LUCENT	OMC-R 9753	71.000,00
RACK OUTDOOR	-----	IP 65	7.884,00
EQUIPAMIENTO DE ENERGÍA DC			12.382,00
Rectificadores	ENERGYCOM	SRM-48/100U	9.305,00
Baterías	RITAR	RA12-100G	3.077,00
SOFTWARE DE PLANEACIÓN	ALCATEL-LUCENT	A9155	50.000,00
INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	-----	-----	321.900,00
ENTRENAMIENTO			45.000,00
Local	-----	-----	19.000,00
Fábrica	-----	-----	26.000,00
MANTENIMIENTO	-----	-----	279.394,00

REPUESTOS	-----	-----	366.809,00
LICENCIAMIENTOS	-----	-----	481.000,00
OTROS	Servidor AAA		190.249,00
	SBC ACME I&C		50.104,00
	Servicio DNS&DHCP	-----	64.472,00
	Total otros		304.825,00

Tabla No. 4.1 Precios equipos WiMAX empresa Alcatel

Fuente: Secretaria Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones

4.2.2 EQUIPOS DEL PROVEEDOR DESCASERV

La Tabla No. 4.2 se muestra los precios aproximados de equipos WiMAX ofrecidos por la empresa DESCASERV.

	Marca	Modelo	Precio (USD \$)
ESTACIÓN BASE	NAVINI	WX-BS8305	120.378,80
SWITCH	CISCO	CATALYST 3750	8.130,00
TERMINALES SUSCRIPTOR			
Indoor	NAVINI	WX-32V341	275,20
Indoor multiuser	NAVINI	WX-32V341	396,40
Outdoor	NAVINI	WX-32V341	516,20
Outdoor multiuser	NAVINI	WX-32V341	553,40
CONTROLADOR DE ESTACIONES	CISCO	R1-0 RTU SAMI	489.406,00
SISTEMA DE GESTIÓN	CISCO	MWTM6, 1SF	500.741,00
RACK OUTDOOR	-----	-----	37.905,00
EQUIPAMIENTO DE ENERGÍA DC			
Rectificadores	-----	-----	26.755,00
Baterías	-----	-----	-----
SOFTWARE DE PLANEACIÓN	ERICSSON	MPLANET	43.303,00
INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	-----	-----	669200

ENTRENAMIENTO			168.162,00
Local	-----	-----	-----
Fábrica	-----	-----	-----
MANTENIMIENTO	-----	-----	297.220,00
REPUESTOS	-----	-----	436.516,00
LICENCIAMIENTOS	-----	-----	-----
OTROS	Servidor AAA & DHCP		283.770,00
	Total otros	-----	283.770,00

Tabla No. 4.2 Precios equipos WiMAX empresa Descaserv

Fuente: Secretaría Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones

4.2.3 EQUIPOS DEL PROVEEDOR GHOZANTY

La Tabla No. 4.3 se muestra los precios aproximados de equipos WiMAX ofrecidos por la empresa GHOZANTY.

	Marca	Modelo	Precio (USD \$)
ESTACIÓN BASE	AIRSPAN	HiperMAX	52.445,32
SWITCH	CISCO	CATALYST 3750	9.168,41
TERMINALES SUSCRIPTOR			
Indoor	AIRSPAN	MIMAX-Easy	250,77
Indoor multiuser	AIRSPAN	MiMAZ-Biz	499,73
Outdoor	AIRSPAN	MiMAX-Pro	413,08
Outdoor multiuser	AIRSPAN	MiMAX-Pro	444,24
CONTROLADOR DE ESTACIONES	AIRSPAN	Control1MAX AN-1	35.695,00
SISTEMA DE GESTIÓN	AIRSPAN	NETSPAN	64.574,97
RACK OUTDOOR	-----	-----	2.061,70
EQUIPAMIENTO DE ENERGÍA DC			17.186,12
Rectificadores	UNIPOWER TELECOM	-----	1.057,28
Baterías	POWER	PRC-1290S	3.304,00
SOFTWARE DE PLANEACIÓN	ERICSSON	PLANETV	46.256,00

INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	-----	-----	565.200,00
ENTRENAMIENTO			58.600,00
Local	-----	-----	16.000,00
Fábrica	-----	-----	42.600,00
MANTENIMIENTO	-----	-----	69.000,00
REPUESTOS	-----	-----	388.579,61
LICENCIAMIENTOS	-----	-----	54.999,45

Tabla No. 4.3 Precios equipos WiMAX empresa Ghozanty

Fuente: Secretaría Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones

4.2.4 EQUIPOS DEL FABRICANTE HUAWEI

En la Tabla No. 4.4 se muestra los precios aproximados de equipos WiMAX ofrecidos por la empresa HUAWEI TECHNOLOGIES.

	Marca	Modelo	Precio (USD \$)
ESTACIÓN BASE	HUAWEI	DBS3900	29.036,20
SWITCH	HUAWEI	S5624P	2.198,00
TERMINALES SUSCRIPTOR			
Indoor	HUAWEI	BM632	174,07
Indoor multiuser	HUAWEI	BM635	243,43
Outdoor	HUAWEI	BM632	174,07
Outdoor multiuser	HUAWEI	BM635	243,43
CONTROLADOR DE ESTACIONES	HUAWEI	WASN9770	121.863,66
SISTEMA DE GESTIÓN	HUAWEI	M200 Y AP Manager	221.797,91
RACK OUTDOOR	HUAWEI	APM200	2.619,62
EQUIPAMIENTO DE ENERGÍA DC			7.567,57
Rectificadores	EMERSON	PS48600	3.646,15
Baterías	COSLIGHT	6GFMZ	1.688,74
SOFTWARE DE PLANEACIÓN	HUAWEI	GENEX-UNET	109.716,86
INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	-----	-----	431.790,45

ENTRENAMIENTO			108.160,00
Local	-----	-----	51.280,00
Fábrica	-----	-----	56.880,00
MANTENIMIENTO	-----	-----	0,00
REPUESTOS	-----	-----	222.409,76
LICENCIAMIENTOS	-----	-----	1'310.210,56
OTROS	Expansión del InfoXAA Licenciamiento		99.790,26
	Expansión del BRAS MA5200G-8 HW		34.500,00
	Expansión del BRAS MA5200G-8 Licenciamiento	-----	8.925,00
	Servicios relacionados con expansiones		5.250,00
	Supresores de Transciendes para gabinetes		10.902,70
	Switch		20.037,60

Tabla No. 4.4 Precios equipos WiMAX empresa Huawei

Fuente: Secretaria Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones

4.3 COSTOS EXTRAS POR ARRENDAMIENTO DE FACILIDADES

La Tabla No. 4.5 muestra los costos extras, que por efectos de arrendamiento de facilidades y obras civiles para la instalación de las antenas se generen, para cada una de las cinco estaciones base que forman parte del diseño de la red WiMAX para el área en estudio.

	RUBRO	APLICACIÓN DEL RUBRO	UNIDAD DE REFERENCIA	PRECIO BASE USD \$.
1	Espacio para Antena en Torre Autosoportada. Para Torres desde 45 m hasta 60 m de altura	Por Antena	m ²	48.03
2	Espacio para Antena en Torre Autosoportada. Para Torres desde 30 m hasta 45 m de altura	Por Antena	m ²	59.38
3	Espacio para Antena en Torre	Por Antena	m ²	62.10

	Autosoportada. Para Torres desde 15 m hasta 30 m de altura			
4	Espacio para Antena en Torre Autosoportada. Para Torres hasta 15 m de altura	Por Antena	m ²	22.98
5	Espacio para Antena en Torre Soportada. Para Torres desde 45 m hasta 60 m de altura	Por Antena	m ²	7.40
6	Espacio para Antena en Torre Soportada. Para Torres desde 30 m hasta 45 m de altura	Por Antena	m ²	4.46
7	Espacio para Antena en Torre Soportada. Para Torres desde 15 m hasta 30 m de altura	Por Antena	m ²	4.62
8	Espacio para Antena en Torre Soportada. Para Torres hasta 15 m de altura	Por Antena	m ²	4.53
9	Espacio Físico en sala de equipos de transmisión en repetidor, sala para banco de baterías y rectificadores (m2)	Equipos de Transmisión, fuentes de poder, bancos de baterías, rectificadores, otros	m ²	1.89
10	Espacio Físico en sala de equipos de transmisión en centrales, incluye climatización y detección de incendios (m2)	Equipos de Transmisión, fuentes de poder, otros	m ²	14,93
11	Espacio Físico en sala de equipos de conmutación, incluye climatización y detección de incendios (m2)	Equipos de Conmutación, fuentes de poder, otros	m ²	7,59
12	Espacio Físico en sala de equipos de generación eléctrica de emergencia, tanto en repetidor como en central (m2)	Motogenerador es de baja capacidad, fuentes de poder, bancos de baterías, rectificadores,	m ²	10,34

		otros		
13	Espacio Físico interperie en Repetidor, terraza, patio (m2)	Torres, mástiles, postes, otros	m2	0,79
14	Espacio Físico interperie en Central, terraza, patio en cemento (m2)	Torres, mástiles, postes, otros	m2	1,77
15	Alquiler de Terreno en Repetidor (m2)	Para instalación de equipos del solicitante.	m2	0,79
16	Alquiler de Terreno en Central (m2)	Para instalación de equipos del solicitante.	m2	1,77
17	Energía Eléctrica AC y DC incluye energía eléctrica de emergencia (Kw/h)	Para Equipos de Transmisión, fuentes de poder, etc.	Kw/h	0,11

Tabla No. 4.5 Costos extras por arrendamiento de facilidades

Fuente: Secretaria Nacional de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones

4.4 FACTORES DETERMINANTES PARA LA SELECCIÓN DEL PROVEEDOR

En un proceso de contratación para la provisión, instalación y puesta en servicio de una red de telecomunicaciones ya sea llevado a cabo por una empresa pública o privada, es necesario atravesar por una serie de fases que son importantes para determinar la adjudicación correcta a la empresa proveedora más adecuada.

Para iniciar un proceso de contratación es importante disponer las especificaciones y requerimientos técnicos necesarios para la implementación de un determinado proyecto tecnológico, puede incluir el diseño y planeamiento inicial de la red; el expediente final para la contratación que abarca no solo los aspectos técnicos sino además jurídicos entre otros, son llamados pliegos de contratación y marcan los lineamientos para que las empresas proveedoras elaboren sus ofertas, teniendo en cuenta esta información los ofertantes pueden elaborar su propuesta técnica y económica.

Luego de la presentación de las ofertas técnicas y económicas, generalmente la empresa requirente, conforma una comisión que evaluará las ofertas, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y jurídicos. Uno de los criterios básicos es tener en cuenta que “no siempre la oferta más barata es la más económica”. A continuación se enumeran los factores principales que determinan la selección del proveedor:

- Cumplimiento del estándar IEEE 802.16e.
- Equipos Certificados por el WiMAX Forum.
- Características técnicas, como potencia de transmisión, sensibilidad del receptor, compatibilidad de interfaces, ganancia de las antenas, entre otros más, adecuados para el diseño y requerimientos.
- Compatibilidad y reutilización del equipamiento de core existente en la CNT.
- Garantías, soporte técnico, stock de repuestos por el número de años.
- Costo – beneficio acorde al presupuesto disponible.

En virtud de todo lo anterior y de acuerdo al análisis realizado por los autores, se eligió a la empresa Huawei Technologies y sus equipos con tecnología WiMAX para que por efectos de la simulación se tomen en cuenta los parámetros técnicos para la configuración del software de planeación. Sin embargo, se debe aclarar que los resultados de la simulación y el diseño final pueden ser implementados con cualquier equipo o fabricante, siempre y cuando cumplan con las certificaciones del WiMAX Forum garantizando así la compatibilidad con el estándar IEEE 802.16. Como pauta para la selección del proveedor se tomó en cuenta la decisión e informe final de la comisión, técnica, económica y jurídica de la CNT para el proyecto nacional de ampliación de la red inalámbrica fase uno. Entre los aspectos más sobresalientes están: que los equipos marca Huawei tienen la certificación del WiMAX Forum (*Véase Anexo No.8*); infraestructura existente e instalada por la ex Andinatel S.A. como por ejemplo el BRAS MA5200G cuyos interfaces son compatibles con los equipos Huawei esto permite la reutilización de infraestructura existente en el core y transmisión de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones reduciendo significativamente la adquisición de nuevo equipamiento extra y reduciendo los costos. El análisis

costo – beneficio, garantías y mantenimiento hace que los precios de los equipos nuevos WiMAX de Huawei sean los más económicos.

4.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS TOTALES PARA LA RED WIMAX EN LAS CIUDADES DE CAYAMBE, TABACUNDO Y OTAVALO PARA LA CNT S.A.

De acuerdo al diseño propuesto en la sección correspondiente se muestra en la tabla No. 4.6 la cantidad y requerimientos de los equipos para la red inalámbrica WiMAX.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION
1	5	Estación Base (BS) de tres sectores para cobertura de 360° y su respectivo arreglo de antenas.
2	600	CPE's WIMAX Indoor mínimo 1 puerto POTS y 1 puerto de datos ETHERNET RJ-45 10/100 Mbps
3	300	CPE's WIMAX Outdoor con su respectiva antena, mínimo 1 puerto POTS y 1 puerto de datos ETHERNET RJ-45 10/100 Mbps
4	100	CPE's WIMAX Indoor 2 puertos POTS y 4 puertos de datos ETHERNET RJ-45 10/100 Mbps
5	200	CPE's WIMAX Outdoor con su respectiva antena, 2 puertos POTS y 4 puertos de datos ETHERNET RJ-45 10/100 Mbps.
6	700	Antenas de ventana con ganancia mínima 10 dBi para CPE's Indoor
7	1	Controlador de estaciones base
8	1	Software de planeación de red WIMAX
9	5	SWITCH capa dos para estaciones base
10	2	Racks OUTDOOR
11	5	Rectificadores AC/DC y sistema de baterías

Tabla No. 4.6 Requerimiento de equipos según el diseño de la red WiMAX

Fuente: Autores

Una vez evaluados todos los aspectos antes mencionados y habiendo seleccionado el fabricante proveedor, la estimación de costos para la implementación de la red inalámbrica aplicando tecnología WiMAX para los cantones de Cayambe, Pedro Moncayo y Otavalo para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. se muestra en la tabla No. 4.7.

EQUIPO	MARCA	MODELO	CANTIDAD REQUERIDA DISEÑO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ESTACIÓN BASE	HUAWEI	DBS3900	5	29.036,20	145.181,00
SWITCH	HUAWEI	S5624P	5	2.198,00	10.990,00
TERMINALES SUSCRIPTOR					
Indoor	HUAWEI	BM632	600	174,07	104.442,00
Indoor multiuser	HUAWEI	BM635	100	243,43	24.343,00
Outdoor	HUAWEI	BM632	300	174,07	52.221,00
Outdoor multiuser	HUAWEI	BM635	200	243,43	48.686,00
CONTROLADOR DE ESTACIONES	HUAWEI	WASN9770	1	121.863,66	121.863,66
SISTEMA DE GESTIÓN	HUAWEI	M200 Y AP Manager	1	221.797,91	221.797,91
RACK OUTDOOR	HUAWEI	APM200	2	2.619,62	5.239,24
EQUIPAMIENTO DE ENERGÍA DC			1	7.567,57	7.567,57
Rectificadores	EMERSON	PS48600	5	3.646,15	18.230,75
Baterías	COSLIGHT	6GFMZ	5	1.688,74	8.443,70
INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	-----	-----	1	39.253,68	39.253,68
ENTRENAMIENTO			1	9.831,00	9.831,00
Local	-----	-----	1	4.661,00	-
Fábrica	-----	-----	1	5.170,00	-
MANTENIMIENTO	-----	-----	1	0	-
REPUESTOS	-----	-----	1	20.219,07	20.219,07
LICENCIAMIENTOS	-----	-----	1	119.110,05	119.110,05

OTROS	Expansión del InfoXAA Licenciamiento		1	9.071,84	9.071,84
	Expansión del BRAS MA5200G-8 HW		1	3.136,36	3.136,36
	Expansión del BRAS MA5200G-8 Licenciamiento		1	811,36	811,36
	Servicios relacionados con expansiones		1	477,27	477,27
	Supresores de Transciendes para gabinetes		1	991,15	991,15
	Switch	-----	1	20.037,60	20.037,60
			TOTAL		991.945,21

Tabla No. 4.7 Estimación de la inversión del proyecto

Fuente: Autores

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las tecnologías inalámbricas ofrecen grandes beneficios en comparación con las tradicionales redes cableadas, la posibilidad de conexión sin las limitaciones que conlleva el uso de cables; como por ejemplo el rápido despliegue, la gran cobertura, la versatilidad de reubicación de las estaciones base, entre estas y muchas más razones hacen de las comunicaciones inalámbricas la opción preferida al momento de desplegar una red, siendo muy notorio este desarrollo en los últimos tiempos; sin embargo las comunicaciones inalámbricas no pueden desplazar o reemplazar totalmente a las tecnologías que utilizan como medio el cobre; sino entenderlas como complementarias.
- La combinación WiFi con WiMax en el backhaul permitirá la aparición de Hot Zones (lugar de gran área de cobertura) en lugar de Hot Spots (lugar de mínima área de cobertura). Y como evolución natural, cuando se adopte completamente el estándar 802.16e se tendrá también movilidad. Sin duda esta tecnología “complementaria” restará clientes y desplazará en parte los ingresos de las tecnologías 3G, entre otros los relacionados con la voz.
- La tecnología WiMAX es interpretada como complementaria a las redes 3G (de tercera generación) tales como UMTS, CDMA2000, TD-SCDMA, donde el segmento de clientes y servicios es relativamente distinto; sin embargo en vista a las potencialidades que ofrece WiMAX, el mercado 3G lo observa como un principal rival, porque ofrece tasas de datos más elevadas, con los que se puede otorgar servicios de valor agregado como acceso a la Internet de alta velocidad, voz sobre IP (VoIP), entre otros.

- Tanto en las nacientes así como en las evolucionadas tecnologías es imprescindible una regulación, estandarización y normalización para garantizar la universalidad y compatibilidad de las nuevas redes. Entidades como el WiMAX Forum, xDSL Forum, entre otras aceleran el proceso de estandarización y despliegue en el mercado de las telecomunicaciones. Pero son los organismos reconocidos internacionalmente como la IEEE, ANSI, EIA, etc., que son los encargados finalmente de otorgar los estándares comunes y válidos mundialmente. Tal es el caso de la tecnología analizada en el presente estudio, WiMAX o el estándar IEEE 802.16.
- Muchos factores influyen en la decisión para adoptar una tecnología inalámbrica, indistintamente de cual sea esta; la rápida instalación y puesta en funcionamiento que en algunos casos lleva solamente algunas semanas o unos pocos meses en comparación con los largos periodos de instalación de la red cableada; el rápido crecimiento, así como la versatilidad de reubicación de los recursos, entre otras. Sin embargo es importante además, el análisis de factores financieros, económicos, logísticos para asegurar una buena elección.
- La relativa prontitud de la instalación y puesta en funcionamiento de una red inalámbrica, particularmente con la tecnología WiMAX permite contar rápidamente con oferta de servicios de telecomunicaciones, incidiendo positivamente en un pronto retorno de la inversión así como un panorama atractivo de rentabilidad y utilidades a corto plazo; según el WiMAX Forum este período es de dos a tres años.
- Una vez instalada y puesta en funcionamiento una red inalámbrica WiMAX, el incremento y la instalación de un nuevo abonado es de bajo costo. Además la mayoría de sistemas WiMAX están diseñados para ser modulares y por lo tanto tan escalables como sea posible, permitiendo incrementar la capacidad rápidamente cuando la demanda así lo requiera.

- Un análisis financiero y económico de una tecnología en particular, es una compleja y sofisticada tarea y no siempre conlleva el análisis global de todo el contexto que influye en el desarrollo de la red. Sin embargo debido a los grandes cambios y adelantos en la infraestructura de telecomunicaciones, lo más importante es tomar en cuenta las complejas correlaciones entre la tecnología y el giro del negocio y su estrategia; esto con el objetivo de no errores en la instalación o aprovisionamiento de equipo por sobre o por debajo de lo necesario; alinear la oferta con la demanda.
- El costo de las nuevas tecnologías, regularmente supera los precios del equipamiento con tecnologías típicas como la cableada; pero si se realiza un minucioso análisis de factibilidad técnica y económica como por ejemplo el despliegue de una nueva infraestructura de obra civil, postería, pozos, obtención y legalización de terrenos, entre otras; se puede deducir que la tecnología WiMAX requiere significativamente menos obras civiles que el despliegue de una tradicional red de cobre. En virtud de esto el relativo alto costo de los equipos WiMAX, estaciones base, entre otras puede ser compensado con el menor requerimiento de obras civiles.
- Los costos de operación y mantenimiento de una red inalámbrica son bajos, ya que esta tecnología no requiere la inversión en grandes grupos de trabajo o técnicos para el mantenimiento de la red tramo por tramo durante cientos de kilómetros, solo es necesario personal de apoyo para realizar visitas en caso de fallos a nivel de equipos de clientes cuando la asistencia remota no es suficiente; o ingenieros que visiten los equipos en las estaciones base.
- El análisis del costeo técnico es un parámetro de mucha importancia para conseguir que el negocio y la comercialización estén alineados con la estrategia tecnológica. De forma típica un proceso de varios ciclos de aprendizaje y asimilación de experiencias conducen a la convergencia entre la optimización y los buenos resultados. Sin embargo, es necesario identificar los actores principales que involucran el negocio. A menudo una insuficiente comunicación entre los encargados de la parte comercial y los

del área tecnológica puede desencadenar un desalineamiento entre las estrategias.

- La reutilización de infraestructura existente, particularmente el arrendamiento y convenio para el uso de las torres autosoportadas de otras empresas de telecomunicaciones y de propiedad de la CNT, reduce significativamente los costos, tiempos de implementación y puesta en funcionamiento. Además se reduce el impacto medioambiental causado por la instalación y construcción de nuevas torres, infraestructura civil, y nuevas fuentes de radiación no ionizante.
- Gracias al diseño propuesto de la red inalámbrica con tecnología WiMAX es técnicamente posible incrementar el área de cobertura de comunicaciones, la oferta de servicios de telecomunicaciones de valor agregado y transmisión de datos de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A.; permitiendo aportar al Plan Nacional de Conectividad establecido por el Gobierno Nacional e incrementando la rentabilidad e ingresos para la empresa.
- De acuerdo a los resultados de la simulación de la red de acceso realizada fue posible establecer la posibilidad de prestación de servicios de transmisión de datos a clientes corporativos y clientes VIP en las zonas industriales y florícolas de los cantones Cayambe, Pedro Moncayo y sus alrededores; y en la zona turística de Otavalo.

5.2 RECOMENDACIONES

- El diseño de una red inalámbrica, indistintamente de la tecnología utilizada, comprende el análisis y predicción de la cobertura, es altamente recomendado la realización de una simulación, previa la instalación y puesta en funcionamiento de la red; esto ofrece resultados bastante aproximados de la situación real; evitando así el desaprovechamiento de recursos y la posible falsa ubicación del equipamiento.
- Existen en el mercado un sinnúmero de programas o software de simulación y predicción de cobertura, muchos de ellos corresponden a

software propietario y con licenciamiento, en los cuales además es necesario la adquisición de los mapas digitalizados y datos topográficos, material indispensable para la simulación y que tienen un valor comercial en el mercado en Internet; sin embargo se recomienda el uso de software libre con todos los beneficios que esto conlleva; por ejemplo el software de uso libre Radio Mobile con su última versión entre otros, ofrecen funcionalidades y herramientas con gran potencial igualando los beneficios del software con licenciamiento.

- Las políticas empresariales de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. deben incluir como hasta ahora el análisis, asesoría e investigación para tomar la mejor decisión de la tecnología a implementar. La asesoría de entidades como ASETA ha permitido la correcta selección de tecnología y la adjudicación adecuada de los contratos para la implementación de sus redes de telecomunicaciones; es recomendable contratar los servicios de profesionales, expertos en el mercado de las telecomunicaciones para obtener los mejores resultados.
- Para garantizar, entre muchos aspectos más, la compatibilidad, la interoperabilidad y la universalidad de los equipos, especialmente con nuevas tecnologías o de nueva generación; es importante calificar adecuadamente a las empresas proveedoras, para verificar si los fabricantes de equipos WiMAX cuentan con las debidas certificaciones, en este caso del WiMAX Forum, que avalen el cumplimiento de los estándares IEEE 802.16d o IEEE 802.16e, y que los equipos hayan superado las rigurosas pruebas en los laboratorios de telecomunicaciones y sean aprobados para su despliegue en el mercado.
- En las últimas décadas, el impacto en el medio ambiente a causa del desarrollo humano ha sido muy alto. Indistintamente del campo tecnológico existe afectación medioambiental en menor o mayor proporción, el uso indiscriminado de los recursos naturales, de combustibles fósiles, la creciente demanda de electricidad entre otras, inciden gravemente en el planeta. El campo de las telecomunicaciones lamentablemente no es la excepción, la contaminación radioeléctrica, visual, de radiaciones no ionizantes, la demanda de grandes cantidades de

energía para abastecer los millones de equipos de comunicación entre otras causas más, afectan al medioambiente. Es imprescindible un estudio de impacto medioambiental para todo proyecto de desarrollo tecnológico, para reducir de alguna manera la afectación al medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. **IEEE**; *Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems 802.16e*, IEEE Std 802.16e-2005—Approved 7 December 2005, IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005—Approved 8 November 2005; IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997, USA, 28 February 2006
- [2]. **GARCIA-FRAGOSO, Jorge y GALVAN-TEJADA, Giselle M**; *Cell Planning Based on the WiMax Standard for Home Access: A Practical Case*; Centre for Research and Advanced Studies of IPN; Av. IPN 2508, Col. San Pedro Zacatenco, C.P. 07360, México D.F.
- [3]. **CHEN, Jianhong, HONG, Wei y ZHOU, Jianyi**; *Design of an Outdoor Unit for WiMAX*; State Key Lab. of Millimeter Waves Southeast University
- [4]. **Computer Networks**, Tanenbaum, Andrew S, 4th Ed. Prentice-Hall, 2003
- [5]. **Comunicación y redes de computadores**, Stalling William
- [6]. **Ma, Liangshan**; *The competition and cooperation of WIMAX, WLAN and 3G*; Beijing Consulting and Design Institute of P&T, P.R. China
- [7]. **QUALCOMM**; *WIMAX*; Industry Analyst Presentation
- [8]. **Cátedra Telemática**; modulo 1, versión marzo 2008, páginas: 140 - 145
- [9]. <http://whitepapers.zdnet.com/abstract.aspx?docid=966663>
- [10]. **Estándar IEEE 802.16e**;
standards.ieee.org/announcements/pr_p80216.html
- [11]. **WiMAX usado para voz**;
http://en.wikipedia.org/wiki/Integrated_access_device
- [12]. **WiMAX usado para video**;
<http://www.tmbroadcast.es/index.php/tag/wimax/>
- [13]. <http://saramggh.blogspot.com/2008/03/clase-11-3-2008.html>
- [14]. **WiMAX usado para Internet**;
<http://www.desarrolloweb.com/articulos/1959.php>

- [15]. **Evolución de WiMAX;**
<http://www.idg.es/cio/estructura/imprimir.asp?id=179381&cat=art>
- [16]. <http://sociaddelainformacion.telefonica.es/jsp/articulos/detalle.jsp?elem=3102>
- [17]. www.noticiasdot.com/publicaciones
- [18]. **Instituto e Ingenieros Eléctricos y Electrónicos;**
<http://standards.ieee.org/db/status/status.txt>
- [19]. **Mobile WiMAX Technology for Fixed Broadband Developments;**
 White Paper, Intel, Mobile WiMAX Technology, www.intel.com/go/wimax
<http://www.quobis.com/index.php>; Acceso: 23 de junio de 2009; 16h34
- [20]. <http://www.dei.uc.edu.py/tai2000/amfm/modufase.htm>
- [21]. **Modulación de fase;**
http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_fase
- [22]. **Modulación de amplitud;**
http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_de_amplitud_en_cuadratura
- [23]. **Modulación ASK;**
<http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ask>
- [24]. **Modulación** **QAM;**
http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Constelacion_para_modulacion_16_QAM.gif
- [25]. **WiMAX usado para brindar conectividad a internet;**
<http://www.slideshare.net/rivamara/ieee-80216-wman-wimax-presentation>
- [26]. **Modulación Adaptativa;**
https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CC60L/1/material_docente/objeto/52519
- [27]. **IMAGINAR, Centro de Investigación para la Sociedad de la Información;** http://www.imaginar.org/docs/internet_2009.pdf
- [28]. **Superintendencia de Telecomunicaciones**
http://www.supertel.gov.ec/pdf/estadisticas/acceso_internet.pdf

- [29]. **Espectro Radioeléctrico, Superintendencia de Telecomunicaciones,**
<http://www.supertel.gov.ec/radiocomunicaciones/espectro.htm>
- [30]. **Tecnología X-DSL;**
[http://www1.us.es/pautadatos/publico/asignaturas/24133/10758/\(STel\)%20Tema%206,%20def%20\(alumnos\).pdf](http://www1.us.es/pautadatos/publico/asignaturas/24133/10758/(STel)%20Tema%206,%20def%20(alumnos).pdf)
- [31]. **ADSL;**
<http://www.trucoswindows.net/conteni3id-61-TRUCO-Que-es-el-ADSL.html>
- [32]. **Tecnología ATM;**
<http://es.kioskea.net/contents/technologies/adsl.php3?spage=3><http://www.telefonica.com.pe/tarifas/pdf/oficiales/05%20ATM.pdf>
- [33]. **Tecnología Giga ADSL;**
<http://www.adslnet.es/index.php/2001/02/07/qu-es-gigadsl/>
- [34]. **Tecnología HDSL;**
http://www.rad-espanol.com/Article/0,6583,30244-Modems_SHDSL_cuatro_cables,00.html?WT.srch=1&gclid=COaC6tawrpsCFQN5xwodbguzya
- [35]. **Espectro Electromagnético**
http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico
- [36]. **Reuso de frecuencias;**
<http://www.conniq.com/WiMAX/fractional-frequency-reuse.htm>
- [37]. **Radio Mobile;** http://www.ipellejero.es/radiomobile/RM_01.html
- [38]. **WiMAX Forum;** <http://www.wimaxforum.org/about/member-roster>
- [39]. **Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A.,** “Pliegos de contratación Proyecto de expansión inalámbrica fase uno”
- [40]. **ASETA,** “Informe técnico ofertas proyecto de expansión inalámbrica fase uno”