



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGIA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m (WIMAX 2) Y SU
FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR”**

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES

AUTOR: GUIDO ALEJANDRO POMA ORDÓÑEZ

DIRECTOR: ING. KLÉVER FILIBERTO CARRIÓN GORDILLO

**AÑO 2014
LOJA-ECUADOR**

CERTIFICACIÓN

Señor Ingeniero
Kléver Filiberto Carrión Gordillo
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado en su proceso de investigación, cuyo tema versa: **“ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m (WIMAX 2) Y SU FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, realizado por el señor egresado: **Guido Alejandro Poma Ordóñez**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Enero del 2014.


.....
Ing. Kléver Filiberto Carrión Gordillo
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **Guido Alejandro Poma Ordóñez**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Guido Alejandro Poma Ordóñez.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Guido Poma', written over a horizontal dotted line.

Cédula: 1104734841

Fecha: 3 de Enero del 2014.

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **Guido Alejandro Poma Ordóñez**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **“ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m (WIMAX 2) Y SU FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR”**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el repositorio institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de Enero del dos mil catorce, firma el autor.

Firma: 

Autor: Guido Alejandro Poma Ordóñez.

Cédula: 1104734841.

Dirección: Loja, Benito Juárez 22-27 y Avenida Benjamín Carrión.

Correo electrónico: gui_alejandro@hotmail.com.

Teléfono: 072579751. **Celular:** 0985990665.

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Kléver Filiberto Carrión Gordillo.

Tribunal de Grado: Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.

Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo.

Ing. Juan Manuel Galindo Vera.

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen del Cisne, porque siempre han estado en mi vida, guiándome por el camino del bien.

A mi padre Kléver Alberto que ya descansa en el cielo, por haberme dado el ejemplo del trabajo y la perseverancia. A mi madre Zoila Vicenta, por ser comprensiva y mi fiel compañía en todo momento. A mis hermanos Diego Alexander y Kléver Fabián, por su motivación y preocupación durante el desarrollo del presente proyecto. A mi querido hijo Carlitos Alejandro por ser la luz que ilumina mi vida y la razón de superación.

A mis amigos y familiares, por sus buenos consejos y palabras de aliento, les dedico de todo corazón la realización del presente trabajo de tesis.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todos quienes hicieron posible la culminación del presente proyecto de tesis:

-A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional en todo momento ya que por ustedes que he podido llegar a un feliz término de mi preparación universitaria.

-A la Universidad Nacional de Loja, por brindarme los elementos necesarios para formarme profesionalmente; así mismo a la planta docente de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, por sus conocimientos impartidos a lo largo de la etapa universitaria.

-Al Ingeniero Kléver Carrión Gordillo, por su guía, respaldo y sugerencias que permitieron dar el enfoque necesario al presente trabajo de tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN	XIV
SUMMARY	XV
OBJETIVOS	XVI
OBJETIVO GENERAL	XVI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
MARCO REFERENCIAL	1
CAPÍTULO I	1
“VISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA”	1
1.1. LA CONVERGENCIA DE LAS TELECOMUNICACIONES	1
1.1.1. ÁREAS DE ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA	1
1.2. REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA	3
1.2.1. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	3
1.2.2. REGULACIÓN DEL ESPECTRO.....	4
1.2.3. ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN	5
1.3. REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA	6
1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES INALÁMBRICAS.....	7
1.4. REDES MÓVILES CELULARES	8
1.4.1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL.....	8
1.5. DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS CELULARES.....	10
1.5.1. PRIMERA GENERACIÓN (1G)	11
1.5.2. SEGUNDA GENERACIÓN (2G).....	11
1.5.3. GENERACIÓN 2.5G	12
1.5.4. TERCERA GENERACIÓN (3G).....	13
1.5.5. GENERACIONES 3.5G y 3.75G.....	14
1.5.6. CUARTA GENERACIÓN (4G)	15
MARCO TEÓRICO.....	16
CAPÍTULO II:	16

“LA TECNOLOGÍA WIMAX IEEE 802.16”	16
2.1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16	16
2.2. EL GRUPO DE TRABAJO IEEE 802.16	17
2.3. EL ESTANDAR IEEE 802.16 Y SUS VERSIONES	18
2.4. EL WIMAX FORUM.....	19
2.5. DESIGNACIÓN DE LA INTERFAZ AIRE	20
2.6. MODULACIÓN ADAPTATIVA	21
2.7. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN	21
2.7.1. OFDM (Multiplexación por División de frecuencia Ortogonal).....	22
2.7.2. OFDMA (Acceso Múltiple por División de frecuencia Ortogonal).....	23
2.7.3. SOFDMA (Acceso Múltiple por División de frecuencia Ortogonal Escalable)	25
2.8. TOPOLOGÍAS	25
2.8.1. TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO (PTP).....	25
2.8.2. TOPOLOGÍA PUNTO A MULTIPUNTO (PTM).....	26
2.8.3. TOPOLOGÍA MESH O MALLA.	26
2.9. BANDAS DE FRECUENCIA.....	26
2.10. ARQUITECTURA [24].....	27
2.11. COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LAS PRINCIPALES VERSIONES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16..	29
2.12. SITUACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA WIMAX EN EL ECUADOR	30
CAPÍTULO III:.....	32
“ANÁLISIS DEL ESTANDAR IEEE 802.16m (WIMAX 2)”	32
3.1. ASPECTOS GENERALES	32
3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	32
3.3. ARQUITECTURA DE RED WIMAX EXTREMO A EXTREMO	34
3.3.1. ESTACIÓN MÓVIL (MS).....	35
3.3.2. RED DE SERVICIO DE ACCESO (ASN)	35
3.3.2.1. ESTACIÓN BASE (BS).....	36
3.3.2.2. GATEWAY ASN (ASN-GW).....	36
3.3.3. RED DE SERVICIOS DE CONECTIVIDAD (CSN)	37
3.3.4. ACTORES DE LA ARQUITECTURA DE RED	38
3.3.4.1. PROVEEDOR DE ACCESO DE RED (NAP).....	39
3.3.4.2. PROVEEDOR DE SERVICIO DE RED (NSP).....	39
3.3.4.3. PROVEEDOR DE SERVICIO DE APLICACIONES (ASP)	39
3.3.5. PUNTOS DE REFERENCIA (RP)	39
3.4. AUTENTICACIÓN, AUTORIZACIÓN Y TARIFACIÓN (AAA)	40
3.5. EL PROTOCOLO MOBILE IP.....	40
3.6. GESTIÓN DE RECURSOS RADIO (RRM)	41
3.7. GESTIÓN DE LA MOVILIDAD (Handover)	42
3.8. MODELO DE REFERENCIA DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2009	43
3.9. MODELO DE REFERENCIA DEL ESTANDAR IEEE 802.16m	45

3.10. PLANOS DE OPERACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m.....	47
3.10.1. EL PLANO DE DATOS	47
3.10.2. EL PLANO DE CONTROL.....	48
3.10.3. EL PLANO DE GESTIÓN	49
3.11. ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m.....	50
3.12. CAPA FÍSICA (PHY)	53
3.12.1. ESQUEMAS DE MULTIPLEXACIÓN	54
3.12.2. ESQUEMAS DE DUPLEXACIÓN	54
3.12.3. ESTRUCTURA DE TRAMAS	55
3.12.4. TECNICA DE MÚLTIPLES ENTRADAS Y MÚLTIPLES SALIDAS (MIMO)	57
3.13. LA SUBCAPA DE PARTE COMÚN (MAC CPS)	58
3.13.1. LA CALIDAD DEL SERVICIO (QoS).....	59
3.14. RENDIMIENTO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m	61
3.14.1. EFICIENCIA ESPECTRAL DE CELDA Y EFICIENCIA ESPECTRAL DEL USUARIO EN EL BORDE DE CELDA.....	62
3.15. BANDAS DE FRECUENCIA.....	64
3.16. PRESUPUESTO DE ENLACE.....	65
3.17. COMPARACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA	66
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	68
CAPÍTULO 4.....	68
“FACTIBILIDAD LEGAL Y ESTUDIO DE MERCADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m”.....	68
4.1. MARCO REGULATORIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m.....	68
4.1.1. ESTRUCTURA DE LOS ORGANISMOS DE REGULACIÓN	69
4.1.2. EL PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS (PNF)	69
4.1.3. EL ESTÁNDAR IEEE 802.16m Y LA FRECUENCIA DE LOS 3.5 GHz	71
4.2. ESTUDIO DE MERCADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m.....	74
4.2.1. PENETRACIÓN DE LA BANDA ANCHA EN LATINOAMÉRICA.....	75
4.2.2. DETERMINACIÓN DE POTENCIALES CLIENTES	77
4.2.3. ENCUESTA PARA DETERMINAR EL ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET	77
4.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	82
4.2.5. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL PROYECTO	84
4.2.6. DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS	88
CAPÍTULO 5.....	90
“FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m”.....	90
5.1. DISEÑO DE LA RED	90
5.1.1. DELIMITACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	90
5.1.2. FRECUENCIAS DE TRABAJO.....	91
5.1.3. ALCANCE DE LA RED Y COBERTURA.....	91

5.1.4. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE.....	92
5.1.4.1. ESTACIÓN BASE 1: SAN CAYETANO ALTO.....	93
5.1.4.2. ESTACIÓN BASE 2: PUNZARA.....	93
5.1.5. CÁLCULO DEL ENLACE.....	96
5.1.5.1. PERDIDAS DE PROPAGACIÓN.....	96
5.1.5.2. CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE ENLACE.....	97
5.1.5.3. MÁRGENES DE DESVANECIMIENTO Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.....	98
5.1.6. INFRAESTRUCTURA INALÁMBRICA DEL PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET.....	100
5.1.6.1. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES BASE.....	101
5.1.6.2. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS TERMINALES DE USUARIO (CPE).....	105
5.1.6.3. EQUIPOS ADICIONALES DE LA RED INALÁMBRICA.....	108
5.1.7. ÁREA DE COBERTURA DE LAS ESTACIONES BASE.....	111
5.1.7.1. ÁREA DE COBERTURA ESTACIÓN BASE SAN CAYETANO ALTO.....	111
5.1.7.2. ÁREA DE COBERTURA ESTACIÓN BASE PUNZARA.....	112
5.1.7.3. ÁREA DE COBERTURA TOTAL.....	112
5.1.8. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN EL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES.....	113
5.1.8.1. ROUTER DE BORDE.....	114
5.1.8.2. ROUTER DE ACCESO.....	114
5.1.8.3. CONMUTADOR.....	115
5.1.8.4. CORTAFUEGOS (FIREWALL).....	116
5.1.8.5. SERVIDORES.....	117
5.2. INVERSIÓN DEL PROYECTO.....	119
5.2.1. DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL.....	119
CAPÍTULO 6.....	122
“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”.....	122
6.1. CONCLUSIONES.....	122
6.2. RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
ANEXOS.....	129
A. ENCUESTA PARA DETERMINAR EL ESTADO ACTUAL DEL SERVICIO DE INTERNET EN LA CIUDAD DE LOJA.....	129
A.1. DISEÑO DE LA ENCUESTA.....	129
A.2. FORMATO DE LA ENCUESTA A SER REALIZADA.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tendencias de las telecomunicaciones de redes y servicios.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. División de regiones para asignación de frecuencias por la ITU.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3. Posicionamiento de las redes inalámbricas de acuerdo a su cobertura.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4. Elementos de un sistema de telefonía móvil.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Trayectoria evolutiva de las tecnologías de telefonía y banda ancha móvil.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6. Topología de una red básica basada en la tecnología Wimax.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7. Modulación adaptativa en Wimax dependiente de la distancia.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 8. Traspale de espectros de una señal OFDM.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 9. Diagrama con las subportadoras de OFDM.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10. Representación de las técnicas de multiplexación OFDM y OFDMA.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11. Arquitectura general de la tecnología Wimax (IEEE 802.16).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12. Anuncios promocionales de ETAPA E.P para el servicio de internet de banda ancha con Wimax.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 13. Arquitectura de red del estándar IEEE 802.16m de extremo a extremo.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 14. Descomposición funcional del ASN.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 15. Modelo de referencia del ASN conteniendo múltiples ASN-GW.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16. Modelo de referencia de la Red de Servicios de Conectividad (CSN).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 17. Escenarios de movilidad soportados por el estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18. Protocolos especificados para el estándar IEEE 802.16.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 19. Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16-2009.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 20. Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 21. El plano de datos en el estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 22. Entidad plano de control del estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 23. Plano de Gestión del estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 24. Estructura de protocolos del estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25. Localización de la capa física dentro del modelo OSI.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 26. Esquemas de duplexación utilizados en el estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 27. Estructura básica de tramas del estándar IEEE 802.16m.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 28. Principio de funcionamiento general de un sistema MIMO.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 29. Funciones de la subcapa MAC CPS dentro del plano de control.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 30. Uso de bandas de frecuencia desde 698 MHz hasta 806 MHz.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 31. Rango de frecuencia comprendido entre los 3500 MHz y 3700 MHz.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 32. Acceso de los usuarios a internet en el 2011 en Latinoamérica (expresado en porcentajes).....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 33. Tarifas de banda ancha móvil en relación al PIB per cápita en el 2012 (expresado en porcentajes).....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 34. Ubicación del domicilio de los encuestados.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 35. Ubicación del lugar de trabajo.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 36. Acceso al servicio de internet por cualquier forma.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 37. Tipo de conexión a internet más utilizada.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 38. Percepción de la calidad del servicio de internet contratado.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 39. Apreciación respecto a algunos atributos del servicio de internet.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 40. Acceso a las diversas aplicaciones.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 41. Empresas proveedoras del servicio de internet más conocidas.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 42. El acceso a internet como una necesidad.....</i>	<i>81</i>

<i>Figura 43. Interés por contratar el servicio de internet.</i>	81
<i>Figura 44. Precio a pagar por el servicio de internet fijo.</i>	81
<i>Figura 45. Interés por contratar el servicio de internet móvil.</i>	82
<i>Figura 46. Precio a pagar por el servicio de internet móvil.</i>	82
<i>Figura 47. Ubicación geográfica de la ciudad de Loja.</i>	84
<i>Figura 48. Número de total de cuentas dedicadas y cuentas conmutadas por provincia</i>	85
<i>Figura 49. Número total de cuentas conmutadas y dedicadas durante los últimos cinco años en la</i> <i>Provincia de Loja.</i>	86
<i>Figura 50. Parroquias urbanas del cantón Loja.</i>	91
<i>Figura 51. Ubicación de las estaciones base.</i>	92
<i>Figura 52. Estación base 1: San Cayetano Alto.</i>	93
<i>Figura 53. Estación base 2: Punzara.</i>	94
<i>Figura 54. Topología de la red Wimax para la ciudad de Loja.</i>	94
<i>Figura 55. Perfil de propagación del enlace PTP entre las estaciones base de San Cayetano Alto y</i> <i>Punzara.</i>	95
<i>Figura 56. Unidad de Distribución de Estación Base (BSDU).</i>	109
<i>Figura 57. Adaptador Único de Canal (SDA).</i>	109
<i>Figura 58. Infraestructura inalámbrica del prestador de servicios de internet la tecnología Airspan....</i>	110
<i>Figura 59. Área de cobertura estación base San Cayetano Alto.</i>	111
<i>Figura 60. Área de cobertura estación base Punzara.</i>	112
<i>Figura 61. Área de cobertura estaciones base San Cayetano y Punzara.</i>	113
<i>Figura 62. Infraestructura inalámbrica y equipamiento del cuarto de telecomunicaciones del proveedor</i> <i>de servicios de internet.</i>	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. El Espectro Electromagnético.....	4
Tabla 2. Características de las redes inalámbricas de banda ancha.....	8
Tabla 3. Principales características de las tecnologías de segunda generación	12
Tabla 4. Principales características de las tecnologías de la generación 2.5G.....	13
Tabla 5. Principales características de las tecnologías de la tercera generación	14
Tabla 6. Características de las tecnologías de las generaciones 3.5G y 3.75G.....	15
Tabla 7. Resumen del estándar IEEE 802.16 y sus principales versiones	18
Tabla 8. Designación de la interfaz aire en Wimax	20
Tabla 9. Bandas de frecuencia para Wimax	27
Tabla 10. Comparación técnica entre las principales versiones de Wimax.....	29
Tabla 11. Situación actual de la tecnología Wimax en el Ecuador.....	30
Tabla 12. Características técnicas del estándar IEEE 802.16m.....	33
Tabla 13. Clases de servicio y sus características	60
Tabla 14. Eficiencia espectral de celda y la eficiencia espectral del usuario en el borde de celda	63
Tabla 15. Bandas de frecuencia para el estándar IEEE 802.16m.....	64
Tabla 16. Presupuesto de enlace para el estándar IEEE 802.16m	65
Tabla 17. Comparación del estándar IEEE 802.16m con otras tecnologías de acceso inalámbrico.....	67
Tabla 18. Segmentación de la banda 3400-3700 MHz	73
Tabla 19. Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA) en la Provincia de Loja.....	87
Tabla 20. Proyección de la demanda para los primeros cinco años de operación.....	88
Tabla 21. Ancho de banda asignado para el protocolo TCP y sus aplicaciones	89
Tabla 22. Planes comerciales de tipo residencial y corporativo.....	89
Tabla 23. Parámetros del enlace Punto a Punto (PTP): San Cayetano Alto–Punzara.....	95
Tabla 24. Distancia y frecuencia del enlace PTP.	96
Tabla 25. Pérdidas en el espacio libre.	97
Tabla 26. Presupuesto de enlace.	98
Tabla 27. Márgenes de desvanecimiento del enlace.	99
Tabla 28. Análisis de confiabilidad.	99
Tabla 29. Evaluación técnica de Estaciones Base de fabricantes de la tecnología Wimax.	102
Tabla 30. Equipos de usuario Easy-ST de AIRSPAN para usuarios residenciales	106
Tabla 31. Equipos de usuario Pro-ST de AIRSPAN para usuarios corporativos	107
Tabla 32. Características Técnicas del CPE Packet MAX 320 ofrecido por Aperto	107
Tabla 33. Características del router Cisco Catalyst 3825.	114
Tabla 34. Características del conmutador Cisco 3750G 24TS-S.....	115
Tabla 35. Características del Firewall Fortigate FGT-800.....	116
Tabla 36. Características del servidor HP Proliant DL380 G7.....	117
Tabla 37. Costo de equipamiento necesario para armar las dos Estaciones Base.	119
Tabla 38. Costos de Equipos Terminales de Usuarios (CPE).....	120
Tabla 39. Costos de Infraestructura y Planta externa.....	120
Tabla 40. Costos por concesión de frecuencias.	120
Tabla 41. Costos de mano de obra.	121
Tabla 42. Equipos del cuarto de telecomunicaciones.	121
Tabla 43. Total de la inversión inicial.	121

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se realizó un análisis sistemático del estándar IEEE 802.16m también denominado “Wimax 2” así como la factibilidad de poder realizar implementaciones con dicha tecnología en el Ecuador. Dicho estándar permite principalmente la transmisión de información a elevadas tasas de datos así como la movilidad a altas velocidades. El estándar IEEE 802.16m forma parte de la familia de tecnologías denominadas como “Wimax”, siendo catalogada como una tecnología de cuarta generación (4G) conjuntamente con LTE-Advanced.

El análisis de factibilidad está conformado por cuatro partes que son: análisis del marco regulatorio, estudio de mercado, selección de equipos y finalmente se determina la inversión inicial. Todo este análisis se realiza en la ciudad de Loja con la visión de implementar un prestador de servicios de internet. Tomando en cuenta a los fabricantes de tecnología Wimax, se decide optar por la frecuencia de los 3,5 GHz. El estudio de mercado comprende el diseño y realización de una encuesta acerca del servicio de internet, la estimación de la demanda, proyección de usuarios y la definición de los servicios a ofrecer.

Mediante un análisis técnico se determina la ubicación de nodos, cálculos de enlaces y áreas de cobertura. Se ubica dos estaciones base, la primera en Punzara y la segunda en San Cayetano Alto. Al realizar la selección de equipos se decide optar por la marca Airspan y el estándar IEEE 802.16d-2004. El cuarto de telecomunicaciones se encuentra en la estación base de San Cayetano Alto. Finalmente se determina el costo referencial inicial de los equipos existentes en la infraestructura inalámbrica y los equipos del cuarto de telecomunicaciones.

SUMMARY

The present project was performed as a systematic analysis of the technology IEEE 802.16m also called "Wimax 2" and the possibility to make implementations of this technology in Ecuador. This standard allows the transmission of information at high data rates and high speed mobility. The IEEE 802.16m standard is part of the technologies known as "Wimax" and it's listed as a fourth generation technology (4G) jointly with LTE-Advanced.

The feasibility analysis contains the next parts: regulatory framework, market research, equipment selection and the initial investment. The present study is performed in Loja city with the intention of implement an Internet service provider. Considering manufacturers of Wimax technology, the 3.5 GHz frequency is utilized. The Market research involves the design and implementation of an Internet service provider, we look the demand estimation, user's projection and the services to offer.

The technical analysis determines the nodes location, propagation losses and coverage areas. There is established locate two base stations; the first is located on Punzara and second base station on San Cayetano Alto. The standard used is IEEE 802.16d-2004. The used provider is Airspan. The telecommunications room is located on San Cayetano Alto. Finally the initial inversion is performed with the external equipment and the internal equipment.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar el estándar Wimax IEEE 802.16m y su factibilidad de implementación en el Ecuador por medio de un estudio para implementar un prestador de servicios de internet en la ciudad de Loja, el mismo que posteriormente podrá replicarse en el resto del país.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un breve análisis de la tecnología Wimax y el estándar IEEE 802.16m. Detallar sus características técnicas, arquitectura, protocolos, frecuencias de operación y rendimiento que presenta dicho estándar.
- Analizar el marco legal y regulatorio aplicado las tecnologías inalámbricas de banda ancha en el Ecuador y determinar las frecuencias utilizables por la tecnología Wimax para implementar un proveedor de servicios de internet.
- Realizar el estudio de mercado para la implementación de un proveedor de servicios de internet utilizando la tecnología Wimax en la ciudad de Loja.
- Realizar un análisis que permita establecer los requisitos técnicos de cobertura, ubicación de nodos, presupuesto de enlace y selección de los equipos que debe cumplir la red Wimax del prestador de servicios de internet.
- Realizar un análisis financiero que permita determinar el costo total de la inversión inicial para la implementación del prestador de servicios de internet.

INTRODUCCIÓN

La evolución de las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación ha permitido el desarrollo de las sociedades y culturas desde hace ya mucho tiempo atrás. El Ecuador se caracteriza por ser un país involucrado en los avances tecnológicos y esto ha permitido apreciar la necesidad de que las telecomunicaciones estén a la par de dichos cambios demostrando así la buena predisposición que han tenido los diferentes gobiernos para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y así garantizar el desarrollo de la sociedad ecuatoriana.

La aplicación de tecnologías más eficientes permite lograr una convergencia de las telecomunicaciones, lo cual es una tendencia actual a nivel de todo el mundo. Dicha convergencia hace referencia a la integración de tecnologías con el fin de satisfacer las necesidades de comunicación del usuario en todo momento. Existe un término referente a la accesibilidad de las telecomunicaciones, se trata de la “brecha digital”. Esta denominación en cambio hace referencia a la diferencia socioeconómica entre aquellas sociedades que tienen acceso a las nuevas tecnologías y aquellas que no pueden acceder.

Tomando en cuenta la convergencia de las telecomunicaciones y la brecha digital, los organismos encargados la administración de las telecomunicaciones en el Ecuador han visto la necesidad de buscar nuevas alternativas para mejorar y optimizar el acceso a servicios de voz y datos. Una de las tecnologías que reúne características especiales para llegar posicionarse dentro del mercado ecuatoriano es el estándar IEEE 802.16m comúnmente denominado “Wimax 2”.

El estándar IEEE 802.16m se presenta como una tecnología la cual puede ser utilizada para brindar servicios de voz, datos y video. Es por estas razones que el análisis de esta tecnología y determinación de su aplicabilidad en el Ecuador permitirá tener una visión más clara al momento de buscar nuevas soluciones de telecomunicaciones.

MARCO REFERENCIAL

CAPÍTULO I

“VISIÓN GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA”

1.1. LA CONVERGENCIA DE LAS TELECOMUNICACIONES

Existen algunas perspectivas con respecto a la convergencia, algunos lo relacionan al ámbito tecnológico mientras que otros lo definen como un fenómeno de integración. La definición dada por los diccionarios establece que la convergencia es “la unión de dos o más cosas que confluyen en un mismo punto” [35]. El impacto de la convergencia tecnológica en el sector de las telecomunicaciones surgió a partir del inicio de la difusión de la microelectrónica durante los años 70 y 80, que se caracterizó por la sustitución de la conmutación de circuitos por una conmutación de tipo lógico basada en software.

En los actuales momentos, la relevancia del fenómeno de la convergencia y su fuerte impacto económico y social proviene de la masificación del rápido acceso a internet a través de banda ancha. Antiguamente la banda ancha solo era posible a través de redes dedicadas de alto costo y accesible solamente por grandes empresas. Sin embargo, ahora que los servicios de banda ancha se tornan en un producto de consumo masivo, es posible proporcionar una oferta generalizada de servicios de voz, datos y video por intermedio de la plataforma IP.

1.1.1. ÁREAS DE ANÁLISIS DE LA CONVERGENCIA

Debido a que la convergencia de las telecomunicaciones no tiene una definición única, los especialistas de esta área trabajan en cuatro nociones distintas a saber: industrial, servicios, redes y terminales [12]. En la figura 1 se observa la maduración de la

convergencia que se inició con los sistemas POTS¹ (Servicio Telefónico Ordinario Antiguo) de telefonía fija en los años 70 el cual fue avanzando por un lado la convergencia de la transmisión de los servicios de voz, datos e imágenes (eje “X”) y por otro, la convergencia entre redes fijas y móviles (eje “Y”).

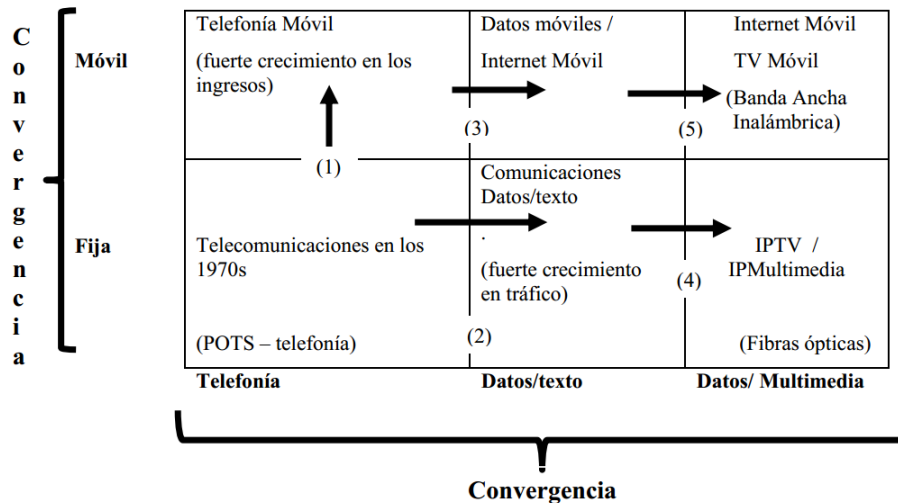


Figura 1. Tendencias de las telecomunicaciones de redes y servicios [6].

- **Convergencia de Industrias.**

La convergencia de industrias se evidencia en las alianzas estratégicas y fusiones entre empresas comunes y de diversos sectores. Este proceso ha provocado cambios en el modelo de negocios de muchos proveedores de servicios, consecuentemente las alianzas y fusiones entre empresas propician la estructuración de nuevas normas regulatorias determinando en gran parte las condiciones de competencia de los mercados de los servicios de telecomunicaciones [12].

- **Convergencia de Servicios.**

Actualmente en el país el Grupo TVCABLE ofrece el servicio triple play, que es la integración de servicios de voz (telefonía), video (televisión) y datos (internet) utilizando una misma infraestructura. Los proveedores de servicios móviles y de servicios de telefonía fija en cambio pretenden lograr una integración fijo-móvil, es decir, que a más de dar servicios triple play se ofrezca movilidad. Se puede decir

¹ POTS.- referido a la manera en cómo se ofrece el servicio telefónico analógico por medio del cableado de cobre

entonces que la convergencia de servicios es el ofrecimiento de los mismos a través de una sola infraestructura y por un solo proveedor de telecomunicaciones [12].

- **Convergencia de Redes.**

Se denomina a la convergencia de redes como una evolución de las redes existentes. Tiene relación directa con la convergencia de servicios pues su objetivo consiste en que distintas redes digitales superpongan su servicio de manera transparente para el usuario y que de esta manera perciba una única red capaz de proveer una variedad de servicios a través de múltiples accesos. Estas nuevas redes también son conocidas como Next Generation Networks (NGN) o Redes de Próxima Generación, las cuales son redes totalmente basadas en paquetes [12].

- **Convergencia de Terminales.**

La convergencia de terminales hace referencia a la gran demanda por parte de los usuarios de adquirir dispositivos multifuncionales que permitan el acceso a diferentes servicios desde un solo dispositivo. Esto ha generado que los distintos fabricantes de terminales se hayan visto obligados a expandir sus modelos de negocios a servicios ajenos a los que principalmente estaban dedicados [12].

1.2. REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA

Una red inalámbrica es un término que se utiliza en las telecomunicaciones para designar la conexión de nodos sin necesidad de cables, pues esta se da mediante ondas electromagnéticas. La principal ventaja de las redes inalámbricas es su costo ya que permite eliminar todo el cableado de cobre y las conexiones físicas entre nodos, aunque su principal desventaja es su seguridad la cual es muy vulnerable, por tal motivo estos sistemas deben ser muy robustos para evitar a los intrusos.

1.2.1. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Las ondas radioeléctricas se pueden generar y transmitir a través de una amplia gama de frecuencias que pueden ir desde unos 30 Hz hasta varios GHz, de tal manera que cuanto mayor sea el número de ondas en un segundo (frecuencia), más información se podrá

transportar [7]. En la tabla 1 se muestra como está dividido el espectro electromagnético empezando con las aplicaciones de mayor longitud de onda.

Tabla 1. El Espectro Electromagnético [7].

RANGO DE FRECUENCIAS	DESIGNACIÓN	USOS
30 Hz a 300 Hz	Frecuencia Extremadamente Bajas (ELF)	Telemetría
300 Hz a 3 KHz	Frecuencias de Voz (VF)	La telefonía convencional
3 KHz a 30 KHz	Frecuencias muy Bajas (VLF)	Comunicaciones con submarinos
30 KHz a 300 KHz	Bajas Frecuencias (LF)	Navegación marina y aeronáutica
300 KHz a 3 MHz	Frecuencias Intermedias (MF)	Radio AM
3 MHz a 30 MHz	Altas Frecuencias (HF)	Radio aficionados
30 MHz a 300 MHz	Frecuencias muy Altas (VHF)	Radio FM
300 MHz a 3 GHz	Frecuencias Ultra Altas (UHF)	TV canales del 14 al 83, telefonía móvil
3 GHz a 30 GHz	Frecuencias Súper Altas (SHF)	Radiocomunicaciones por microondas y satélites
30 GHz a 300 GHz	Frecuencias Extremadamente Altas (EHF)	Aplicaciones especializadas de radiocomunicaciones

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

1.2.2. REGULACIÓN DEL ESPECTRO

A nivel internacional la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el único organismo encargado de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico dividiendo al mundo en tres regiones: Región 1, Región 2 y Región 3, Ecuador pertenece a la Región 2, así mismo el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) es el organismo estatal encargado de elaborar el Plan Nacional de Frecuencias (PNF).

El Plan Nacional de Frecuencias establece la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios de radiocomunicaciones tales como Fijo, Móvil, Fijo por Satélite, Móvil por Satélite, Móvil Aeronáutico, Móvil Marítimo y Radiodifusión [33]. La división de regiones realizada por la ITU se muestra en la figura 2.

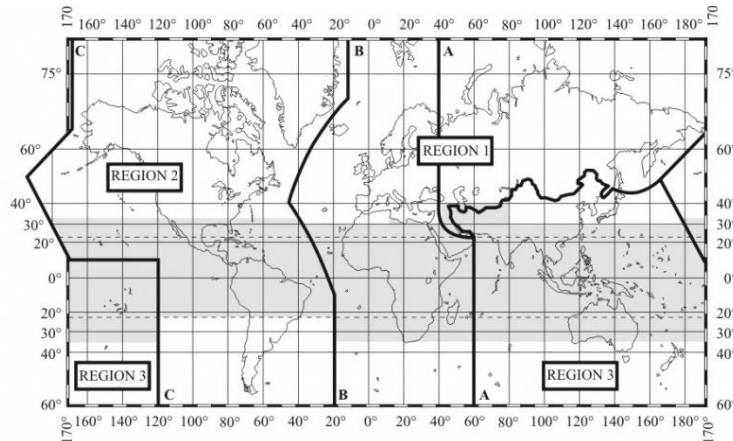


Figura 2. División de regiones para asignación de frecuencias por la ITU [33].

1.2.3. ORGANISMOS DE ESTANDARIZACIÓN

Los organismos de estandarización para las redes inalámbricas tanto de acceso fijo y móvil son: ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones), ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones), 3GPP (Proyecto Asociación de Tercera Generación), 3GPP2 (Proyecto Asociación de Tercera Generación 2) y el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

- **ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones)**

La ITU es un organismo especializado de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. La ITU se divide en tres sectores, correspondientes a sus tres principales áreas de actividad, estas son: Estandarización de las Telecomunicaciones (ITU-T), Radiocomunicaciones (ITU-R) y Desarrollo de las Telecomunicaciones (ITU-D) [4].

- **ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)**

La ETSI se encarga de la estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) en Europa y con proyección mundial. Ha tenido gran éxito al estandarizar el sistema de telefonía móvil GSM [4].

- **3GPP (Proyecto Asociación de Tercera Generación)**

Se trata de un acuerdo de colaboración que agrupa a una serie de asociaciones de telecomunicaciones con el objetivo de producir las especificaciones técnicas globalmente aplicables para un sistema móvil de tercera generación (3G), basado inicialmente en una evolución de la red troncal GSM y la tecnología de acceso radio UMTS [34].

- **3GPP2 (Proyecto Asociación de Tercera Generación 2)**

Este proyecto es el resultado de la colaboración entre asociaciones de telecomunicaciones con el objetivo de obtener una especificación para sistemas móviles aplicables a la tercera generación de telefonía móvil (3G), esto tomando en cuenta también las especificaciones dadas a conocer en el proyecto IMT-2000. En la práctica, el 3GPP es el grupo de estandarización para CDMA 2000 y el conjunto de estándares de tercera generación basados en la tecnología CDMA pertenecientes a la segunda generación [34].

- **IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)**

El IEEE se trata de una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización. Algunos de los estándares de esta organización son: VHDL, POSIX, IEEE 1394, IEEE 488, IEEE 802, IEEE 802.11 e IEEE 754 [34].

1.3. REDES INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA

Al igual que las tecnologías tradicionales cableadas, las tecnologías inalámbricas se pueden clasificar en cuatro categorías según su alcance:

- IEEE 802.15: para Redes Inalámbricas de Área Personal (PAN)
- IEEE 802.11: para Redes Inalámbricas de Área Local (LAN)

- IEEE 802.16: para Redes de Área Metropolitana (MAN)
- IEEE 802.20: para Redes de Área Extendida (WAN)

En la figura 3 se observa el posicionamiento de las redes inalámbricas de acuerdo al área de cobertura.

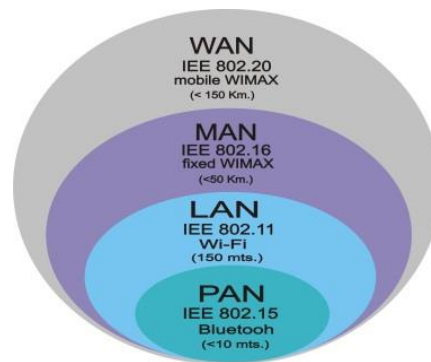


Figura 3. Posicionamiento de las redes inalámbricas de acuerdo a su cobertura [26].

1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas de banda ancha se caracterizan principalmente por su área de cobertura, velocidades de transferencia y las diversas tecnologías que se incluyen en cada estándar. Las redes PAN por ejemplo se concentran en cortas distancias, incluyen las tecnologías Bluetooth y ZigBee; además permite la comunicación entre dispositivos como: PC, PDA, Smartphone, sensores y actuadores utilizados en domótica [16].

Dentro de las redes MAN en cambio se encuentra el estándar IEEE 802.16, el cual se trata de una especificación para las redes de acceso metropolitanas inalámbricas de banda ancha fijas. Esencialmente recoge al estándar comúnmente conocido como “Wimax” (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas). En la tabla 2 se indican las principales características de las redes inalámbricas de banda ancha.

Una red de Área Amplia (WAN) se define como una red de computadoras que abarca varias ubicaciones físicas, proveyendo servicio a una zona, un país e incluso varios continentes. Es cualquier red que une varias redes locales LAN.

Tabla 2. Características de las redes inalámbricas de banda ancha [10].

TIPO DE RED	ÁREA DE COBERTURA TÍPICA	TASA DE TRANSFERENCIA TÍPICA	TECNOLOGÍAS
PAN	Hasta 10 m	Hasta 4 Mbps	IEEE 802.15.1 (Bluetooth), IEEE 802.15.4 (ZigBee).
LAN	Hasta 300m	Hasta 54 Mbps	IEEE 802.11 a/b/g/n (Wi-Fi)
MAN	Hasta 8 Km	Hasta 75 Mbps	IEEE 802.16 (Wimax)
WAN	Puede cubrir un país y hasta continentes	Más de 1 Gbps	WEB (World Wide Web)

1.4. REDES MÓVILES CELULARES

El concepto “celular” surgió en los Laboratorios Bell de AT&T en 1947, con el objetivo de romper las grandes áreas de cobertura de transmisiones radio móviles en áreas más pequeñas que permitan la reutilización de recursos para de esta manera obtener puntos lo suficientemente separados como para gozar de aislamiento radioeléctrico [4].

A partir de estas ideas, en 1947 AT&T propuso a la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) la identificación de una banda espectral suficientemente grande como para que resultase factible el despliegue de un sistema a gran escala y constituyera un incentivo para efectuar las investigaciones y de esta manera se logre llevar el concepto “celular” a la realidad. El primer sistema comercial de telefonía móvil analógico fue AMPS (Sistema Telefónico Móvil Avanzado) en EE.UU. [4].

1.4.1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL

Se define a los sistemas de comunicaciones móviles celulares como aquellos capaces de proporcionar servicios de telecomunicación sobre zonas geográficas extensas y con capacidad para mantener la continuidad de las comunicaciones mientras el usuario se va desplazando de un lugar a otro [4]. En la figura 4 se observa los elementos básicos de un sistema de telefonía móvil.

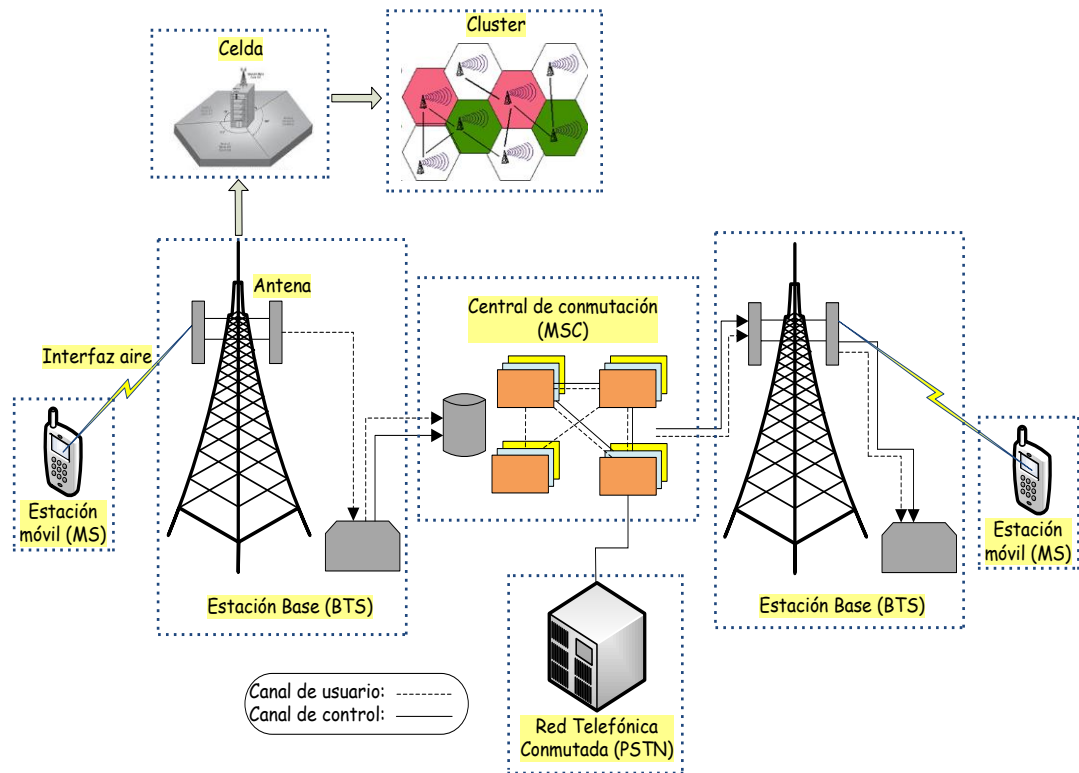


Figura 4. Elementos de un sistema de telefonía móvil

Un sistema de telefonía móvil básicamente inicia con la Estación Móvil (MS) el cual es el elemento encargado de preparar las señales para el medio físico. Está compuesto por una antena, un transceptor y una unidad de control. Su principal característica es la portabilidad y su principal función es la comunicación de voz igual al teléfono convencional.

Posteriormente y para que las comunicaciones móviles se puedan dar, debe desplegarse una red siguiendo una cierta arquitectura e incorporando una serie de funcionalidades y procedimientos. El contacto entre el usuario y la red se lleva a cabo vía radio mediante las Estaciones Base de Telefonía Móvil (BTS), que son todo el conjunto de elementos de red que tienen la capacidad física de transmitir y recibir las señales.

Luego de que la estación base realiza el enlace con el usuario que efectúa o recibe la llamada, se encuentra la Central de Conmutación (MSC), la cual se compone de un procesador central y un sistema de conmutación celular considerado como la inteligencia de la red. La comunicación entre esta entidad y la BTS se realiza a través de

canales de radio. La MSC se conecta a varias estaciones base, y con otras centrales de conmutación a través de la Red Pública de Telefonía Conmutada (PSTN).

Dentro de los elementos intermedios que hacen posible la comunicación móvil se encuentra la Interfaz Aire, que no es más que el medio de comunicación entre la estación móvil y la estación base. Adicional a la interfaz aire se encuentra el Canal de Comunicación, el cual se define como la frecuencia utilizada para enviar información o realizar operaciones de control. Existen dos tipos de canales: de usuario y de control.

Al área de cobertura de una estación base se la conoce como Celda, y se trata de la unidad básica de cobertura en que se divide un sistema celular. El tamaño de las celdas está determinado por la potencia del transmisor y las restricciones naturales o artificiales impuestas por el sector a cubrir. Las celdas pueden tener diversas formas, pero se elige la forma hexagonal para una mejor descripción del sistema.

Finalmente a la agrupación de celdas, en donde a cada una se le asigna un grupo de frecuencias diferentes para su operación se le denomina Cluster. Una característica en este punto es que ningún grupo de frecuencias puede ser reusado pues esto solo se puede hacer usando patrones de reuso de frecuencias.

1.5. DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS CELULARES

Existe una gran diversidad de estándares de sistemas de comunicaciones móviles celulares en todo el mundo, basados en distintas tecnologías y con distintas capacidades. Generalmente los sistemas se suelen clasificar en generaciones las cuales a su vez dependen de sus funciones: primera generación (1G), básicamente marcada por ser analógica. La segunda generación (2G), con tecnología digital y para soportar fundamentalmente voz. La tercera generación (3G), de banda ancha para soportar servicios multimedia y la cuarta generación 4G la cual está basada completamente en el protocolo IP [4].

La complejidad de la transición entre redes móviles orientadas a voz y redes móviles multimedia, y la convergencia con Internet, ha ocasionado la aparición de generaciones

intermedias conocidas como 2.5G, 3.5G y 3.75G [4]. En la figura 5 se muestra la evolución de las tecnologías de telefonía móvil pertenecientes a los organismos de estandarización: IEEE, 3GPP y 3GPP2.

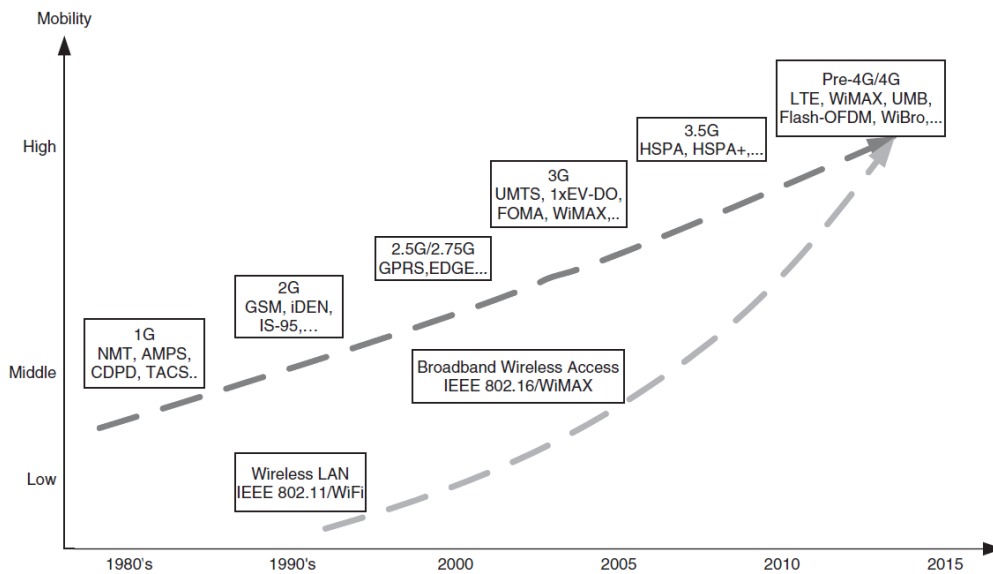


Figura 5. Trayectoria evolutiva de las tecnologías de telefonía y banda ancha móvil [5].

1.5.1. PRIMERA GENERACIÓN (1G)

Esta generación se caracterizó por utilizar canales de radio analógicos con frecuencias en torno a los 450 MHz y una modulación en frecuencia (FM). Los principales fabricantes de esta generación son: Ericsson que en 1981 lanzó el sistema NMT 450 (Nordic Mobile Telephony) y posteriormente en 1986 modernizó el sistema llevándolo a hasta el nivel NMT 900, AMPS (Advanced Mobile Phone System) en Estados Unidos y TACS (Total Access Communication System) en España [9].

1.5.2. SEGUNDA GENERACIÓN (2G)

Esta generación nació en los años 90, las frecuencias utilizadas en Europa fueron la de 900 MHz y 1800 MHz. Se caracteriza por tener comunicaciones digitalizadas que ofrecen mejor calidad de voz que las analógicas, aumenta el nivel de seguridad y se simplifica la fabricación del terminal. Las tecnologías predominantes de esta época son: GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles), IS-136 (TIA/EIA 136 o

ANSI-136), CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y PDC (Personal Digital Cellular) usado en Japón [9]. Esta generación se caracteriza por permitir la transmisión de voz y datos a diferentes velocidades, la encriptación y autenticación de los abonados.

En la tabla 3 se muestra las principales características de las tecnologías presentes en la segunda generación.

Tabla 3. Principales características de las tecnologías de segunda generación [10].

	GSM	IS-95	IS-136
Bandas de frecuencia	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz	850 MHz 1900 MHz	850 MHz 1900 MHz
Ancho de Banda de canal	200 KHz	1.25 MHz	30 KHz
Método de acceso	TDMA/FDMA	CDMA	TDMA/FDMA
Duplexación	FDD	FDD	FDD
Modulación	GMSK	BPSK, QPSK	4QPSK
Tasa de datos pico	DL: 14.4 Kbps UL: 9.6 Kbps	115 Kbps	12 Kbps
Latencia	600-700 ms	>600 ms	>600 ms

1.5.3. GENERACIÓN 2.5G

Se trata de un período previo la tercera generación, motivo por el cual muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones migraron hacia redes 2.5G. Esta generación ofrece características extendidas y capacidades adicionales de los sistemas 2G. Entre los principales estándares de esta generación se encuentra: GPRS (Servicio General de Paquetes vía Radio) y EDGE (Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM) [9]. Esta generación permite una mayor velocidad en el acceso radio, servicio de paquetes de datos a altas velocidades, acceso veloz a internet y streaming multimedia.

En la tabla 4 se muestra las principales características de las tecnologías pertenecientes a la generación 2.5G.

Tabla 4. Principales características de las tecnologías de la generación 2.5G [10].

	GPRS	EDGE
Método de acceso	TDMA	TDMA/FDMA
Duplexación	TDD	TDD
Modulación	GMSK	8-PSK GMSK
Ancho de banda de canal	200 KHz	200 KHz
Tasa de datos pico	DL: 163 Kbps UL: 163 Kbps	DL: 474 Kbps UL: 474 Kbps
Frecuencias de operación	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz

1.5.4. TERCERA GENERACIÓN (3G)

A raíz del notable éxito logrado por GSM, las expectativas del sector de las telecomunicaciones a más largo plazo se orientaron hacia un incremento substancial del tráfico de datos y la implantación masiva de servicios multimedia. Tomando en cuenta las limitaciones tecnológicas que representaba GSM y considerándose que la ampliación de capacidades proporcionada por GPRS resultaría insuficiente se empezó a gestar el concepto de Sistema Móvil de Tercera Generación (3G).

En el contexto mundial la ITU estableció al estándar IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000), que consiste en un conjunto de requerimientos técnicos los cuales deben ser cumplidos por las tecnologías denominadas 3G. Las dos tecnologías predominantes de esta generación fueron: UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) en Europa y CDMA-2000 en Estados Unidos [13].

Entre los servicios a los cuales permite acceder la tercera generación están: videoconferencia, streaming multimedia, acceso a canales de televisión en tiempo real, transferencia de archivos grandes, juegos en tiempo real y soporte para Redes Privadas Virtuales (VPNs). En la tabla 5 se muestra las principales características de las tecnologías pertenecientes a la tercera generación.

Tabla 5. Principales características de las tecnologías de la tercera generación [10].

	UMTS	CDMA 2000-1x	CDMA 2000-1xEV-DO	CDMA 2000-1xEV-DV
Organismos de estandarización	3GPP Release del 99	3GPP2	3GPP2 Release 0	3GPP2
Método de acceso	WCDMA	CDMA	CDMA TDMA	CDMA TDMA
Duplexación	TDD FDD	FDD	FDD	FDD
Modulación	QPSK	BPSK QPSK	QPSK 8PSK 16QAM	QPSK 8PSK 16QAM
Bandas de frecuencia	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz 2100 MHz	450 MHz 850 MHz 1700 MHz 1900 MHz 2100 MHz	450 MHz 850 MHz 1700 MHz 1900 MHz 2100 MHz	450 MHz 850 MHz 1700 MHz 1900 MHz 2100 MHz
Ancho de banda de canal	5 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz
Tasa de datos pico	DL: 2.63 Mbps UL: 2.25 Mbps	DL: 153 Kbps UL: 153 Kbps	DL: 2.4 Mbps UL: 153 Kbps	DL: 3.09 Mbps UL: 451.2 Kbps-1.8 Mbps
Latencia en el plano de usuario	100-200 ms	600-600 ms	50-200 ms	50-200 ms

1.5.5. GENERACIONES 3.5G y 3.75G

Las generaciones 3.5G y 3.75G se tratan de una evolución de las redes UMTS/WCDMA y también son el paso previo antes de ingresar a la cuarta generación. Las principales tecnología incluidas en este ámbito son: HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), HSPA (High-Speed Packet Access) y HSPA+ [9].

Esta generación principalmente permite el flujo de video con gran calidad, descarga de archivos de gran tamaño, correo electrónico, juegos interactivos, mayor seguridad en las comunicaciones y roaming internacional.

En la tabla 6 se resume las principales características de las tecnologías pertenecientes a las generaciones 3.5G y 3.75G.

Tabla 6. Características de las tecnologías de las generaciones 3.5G y 3.75G [10].

	HSDPA	HSPA	HSPA+
Organismos de estandarización	3GPP Release 5	3GPP Release 5 y 6	3GPP Release 7 y 8
Método de acceso	CDMA TDMA	CDMA TDMA	CDMA TDMA
Duplexación	TDD FDD	FDD	FDD
Modulación	QPSK 16-QAM	QPSK 16QAM 64QAM	QPSK 16QAM 64QAM
Bandas de frecuencia	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz 2100 MHz	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz 2100 MHz	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz
Ancho de banda de canal	5 MHz	5 MHz	5 MHz
Tasa de datos pico	DL: 14.1 Mbps UL: 2.3 Mbps	DL: 3.6-14.4 Mbps UL: 2.3-5 Mbps	11.5 Mbps
Latencia en el plano de usuario	100 ms	70-90 ms	10-40 s

1.5.6. CUARTA GENERACIÓN (4G)

El 21 de octubre del 2010, la ITU-R definió las dos interfaces radio que cumplen con las especificaciones establecidas por el estándar IMT-Advanced (Telecomunicaciones Móviles Internacionales Avanzadas), en donde se indica los requerimientos técnicos que deben cumplir las tecnologías de cuarta generación. Según las recomendaciones ITU-R M.2134 e ITU-R M.1645, la ITU-R procedió a seleccionar a la tecnología LTE-Advanced y el estándar IEEE 802.16m como las verdaderas tecnologías de cuarta generación (4G) [23].

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II:

“LA TECNOLOGÍA WIMAX IEEE 802.16”

2.1. ESPECIFICACIONES GENERALES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.16 conocido comúnmente como Wimax se trata de una tecnología considerada de última milla que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión de ondas de radio. Uno de sus principales usos es dar servicios de banda ancha en zonas de baja densidad poblacional donde el despliegue de cobre o fibra representa unos costos por usuario demasiado elevados.

Esta tecnología ha ido evolucionando constantemente desde sus inicios en el año 2001, en donde alcanzaba velocidades de transmisión de hasta 134 Mbps en un ancho de banda de 28 MHz, las bandas de frecuencia de operación estaban en el rango desde los 10 GHz hasta los 66 GHz y requería Línea de Vista (LOS) [16]. En la figura 6 se muestra la topología de una red básica basada en la tecnología Wimax.

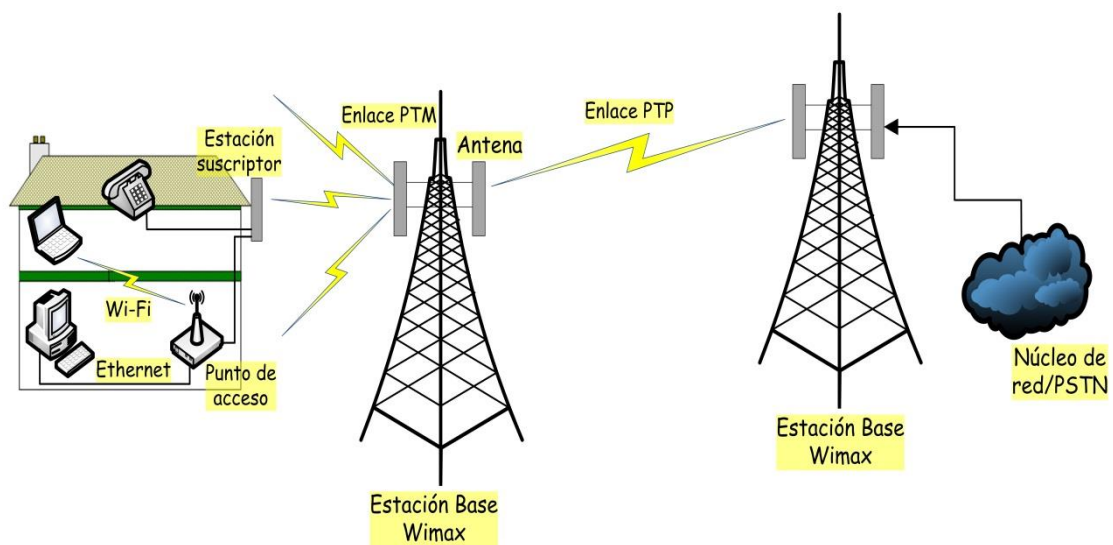


Figura 6. Topología de una red básica basada en la tecnología Wimax.

Posteriormente en el año 2005 la velocidad de transmisión bajó hasta los 70 Mbps operando en un rango de frecuencias desde los 2 GHz hasta 11 GHz, pero teniendo como ventaja el uso de torres Sin Línea de Vista (NLOS), permitiendo además conseguir alcances de hasta 50 Km gracias a la utilización de la técnica OFDMA como método de acceso. Wimax también posee en todas sus versiones distintos tipos de modulación adaptativa, los cuales son BPSK, QPSK, 16QAM y 64 QAM. Los tipos de duplexación son TDD y FDD [16].

Adicionalmente el estándar IEEE 802.16 define los parámetros técnicos enmarcados en las capas 1 y 2 del modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos). Estas capas son: capa física (PHY) y capa de enlace de datos.

2.2. EL GRUPO DE TRABAJO IEEE 802.16

IEEE 802.16 se trata de una serie de estándares inalámbricos de banda ancha publicados por el IEEE. Específicamente se trata de estándares aplicables a las redes de área metropolitana, la tecnología bajo el estándar IEEE 802.16 es conocida como Wimax. El primer estándar fue el IEEE 802.16-2001 y fue publicado el 8 de Abril del 2002. Siguiendo el orden respectivo la siguiente revisión se trató del estándar IEEE 802.16d-2004 publicada en Octubre del 2004, esta revisión sentó las bases para mostrar al mundo la primera versión móvil de Wimax que es el estándar IEEE 802.16e-2005 publicado en Febrero del 2006 [1].

Posteriormente en el año 2009 salió a la luz la revisión IEEE 802.16-2009 la cual deja obsoletas a las versiones del 2004 y 2005 como también a ciertas revisiones intermedias hasta el año 2009. Esta nueva revisión se encarga de actualizar la información pertinente a las redes inalámbricas de banda ancha y se establece como el precedente para que en mes de Febrero del 2011 se publique al estándar IEEE 802.16m, este nuevo estándar conforma la nueva era de las redes inalámbricas de banda ancha móvil y encaja dentro de las tecnologías de cuarta generación (4G) [1].

2.3. EL ESTANDAR IEEE 802.16 Y SUS VERSIONES

En la tabla 7 se resume las principales características de las diferentes versiones del estándar IEEE 802.16.

Tabla 7. Resumen del estándar IEEE 802.16 y sus principales versiones [13].

VERSIÓN	DESCRIPCIÓN
802.16-2001	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliza espectro en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de vista (LOS) y canales de operación de 25 o 28 MHz -Alcanza velocidades de hasta 134 Mbps en celdas con una cobertura de 3 a 8 Km. Multiplexación de tipo TDM y TDMA. -La modulación utilizada es QPSK, 16 QAM y 64 QAM. El tipo de duplexación es TDD y FDD. -Topología Punto a Multipunto (PMP). Fue publicado en Diciembre del 2001.
802.16a	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliza espectro en el rango de 2 a 11 GHz para ambientes NLOS y LOS y canales de operación que van desde 1.75 a 20MHz. -Permite velocidades de hasta 75 Mbps y un alcance óptimo de hasta 10 Km. Multiplexación de tipo OFDM. -La modulación utilizada es QPSK, 16 QAM y 64 QAM. El tipo de duplexación es TDD y FDD. -Topología punto a multipunto (PMP) y malla. -Fue publicado en abril del 2003.
802.16d-2004	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliza el espectro en el rango de 2 a 11 GHz en ambientes NLOS y de 10 a 66 GHz en ambientes LOS; en entornos tanto fijos como nómadas. -Permite velocidades de hasta 75 Mbps y un alcance máximo de 10 Km. -La modulación utilizada es QPSK, 16 QAM y 64 QAM. El tipo de duplexación es TDD y FDD. Multiplexación de tipo OFDM. -Topologías utilizadas son PMP y malla. -Fue aprobada en Junio del 2004.
802.16e-2005	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliza el espectro desde los 2 a 11 GHz para el acceso fijo y de 2 a 6 GHz para aplicaciones móviles. -Alcanza velocidades de hasta 75 Mbps y un alcance máximo de 8 Km. -La modulación utilizada es QPSK, 16 QAM y 64 QAM. El tipo de duplexación es TDD y FDD. Multiplexación de tipo OFDMA. -Topologías utilizadas son PTM y malla. -Publicado en Diciembre del 2005
802.16-2009	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliza el espectro en bandas licenciadas y no licenciadas de entre 10 y 66 GHz. -Permite alcanzar velocidades de hasta 120 Mbps en un área de cobertura óptima de 8 Km. Multiplexación de tipo OFDMA -La modulación utilizada es de tipo BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM. -Fue aprobado en Mayo del 2009 y deja obsoletas a todas las versiones anteriores. Es la versión más estable hasta el momento.
802.16m	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza el espectro en bandas desde los 450 MHz hasta 3600 MHz. -Permite alcanzar velocidades de hasta 300 Mbps en un canal de 20 MHz y movilidad a altas velocidades. Puede tener una cobertura incluso de hasta 100 Km. La multiplexación es de tipo OFDMA. -Catalogado como estándar de cuarta generación (4G) fue aprobado en Marzo del 2011.

El proyecto del estándar IEEE 802.16 se inició en el año de 1998, pero el trabajo principal se desarrolló entre los años 2000 a 2003 dentro de un proceso de consenso abierto. La primera versión del estándar fue promulgada en diciembre del 2001. Posteriormente dicho estándar fue enmendado y se promulgaron nuevas versiones del mismo. Las dos últimas versiones publicadas y concluidas son: IEEE 802.16-2009 e IEEE 802.16m [1].

Los principales estándares pertenecientes al proyecto IEEE 802.16 son: 802.16-2001, 802.16a, 802.16d, 802.16e, 802.16-2009 y 802.16m [1]. Hay que aclarar que la variedad de estándares y proyectos relacionados a la familia IEEE 802.16 es bastante amplia, pero el objetivo del presente capítulo es dar a conocer las principales versiones, las mismas que han servido de base para los estándares que más se escucha en el ámbito comercial.

2.4. EL WIMAX FORUM

El Wimax Forum se trata del único organismo habilitado para certificar el cumplimiento de la tecnología Wimax así como la interoperabilidad entre equipamiento perteneciente a distintos fabricantes. Todos los equipos que no cuenten con esta certificación, no podrán garantizar su interoperabilidad con equipos de otros fabricantes así como su funcionamiento mismo.

Actualmente el Wimax Forum se encuentra integrado por más de 368 miembros entre los cuales se encuentran fabricantes de chips, fabricantes de equipos y prestadores de servicios. Algunos de los miembros de esta organización son: Cisco Systems, Alcatel-Lucent, GCT Semiconductors, Huawei Technologies, Alvarion, Motorola, NEC, Redline Communications, Samsung, Telsima y ZTE [32].

El Wimax Forum está trabajando con las empresas asociadas a fin de desarrollar perfiles estandarizados y productos Wimax interoperables en torno de bandas concretas del espectro de frecuencia de radio, fundamentalmente las frecuencias: 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.8 GHz [32].

2.5. DESIGNACIÓN DE LA INTERFAZ AIRE

La interfaz aire representa el enlace de comunicación por radio entre la Estación Móvil (MS) y la Estación Base (BS). La interfaz aire se especifica dentro de la capa física (PHY). La capa física es responsable de la transmisión de secuencias de bits, define el tipo de señal usada, tipo de modulación aplicada, multiplexación, entre otras funciones. La tecnología Wimax considera las bandas de frecuencia desde los 2 GHz hasta los 66 GHz, dentro de este rango se especifica las frecuencias licenciadas y no licenciadas así como la división en dos rangos de frecuencias [2].

Un primer rango va desde los 2 hasta los 11 GHz y es destinado para comunicaciones sin línea de vista (NLOS), utiliza las identificaciones: WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA y WirelessMAN-SCa. El segundo rango va desde los 11 GHz hasta los 66 GHz y es destinado para comunicaciones con línea de vista (LOS), actualmente este rango ya no es usado por Wimax, utiliza la identificación WirelessMAN-SC [2]. En la tabla 8 se resume la nomenclatura para varias especificaciones de la interfaz aire en el estándar IEEE 802.16 así como la banda de frecuencia en la que opera y el modo de duplexación en el cual puede trabajar cada interfaz.

Tabla 8. Designación de la interfaz aire en Wimax [2].

DESIGNACIÓN	BANDA DE FRECUENCIA	MODO DE DUPLEXACIÓN
WirelessMAN-SC	10-66 GHz (LOS)	TDD y FDD
WirelessMAN-SCa	Bajo los 11 GHz (NLOS); Frecuencias licenciadas	TDD y FDD
WirelessMAN-OFDM	Bajo los 11 GHz; Frecuencias licenciadas	TDD y FDD
WirelessMAN-OFDMA	Bajo los 11 GHz; Frecuencias licenciadas	TDD y FDD
WirelessHUMAN	Bajo los 11 GHz Exento de licencia	TDD

Al comparar la tabla 8 con las versiones del estándar IEEE 802.16, se puede establecer que a cada estándar de Wimax le corresponde una designación de interfaz aire de

acuerdo a sus características, por ejemplo al estándar IEEE 802.16d le corresponde la interfaz WirelessMAN-OFDM mientras que al estándar IEEE 802.16m le corresponde la interfaz WirelessMAN-OFDMA.

2.6. MODULACIÓN ADAPTATIVA

La modulación adaptativa le permite a un sistema inalámbrico escoger la modulación de más alto nivel y desempeño. En los sistemas OFDM y OFDMA se puede tener múltiples esquemas de modulación y dependiendo de las condiciones del canal se puede utilizar las siguientes: BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM [16].

A medida que aumenta la distancia en el caso de largos alcances se debe bajar el orden de la modulación como por ejemplo QPSK, en cambio cuando disminuye la distancia se puede utilizar modulaciones de más alto nivel como QAM, la cual incrementa significativamente el rendimiento. El uso de un determinado esquema de modulación incidirá en el aumento o disminución de las velocidades de transmisión respectivamente. El uso de diferentes esquemas de modulación permite al sistema vencer las interferencias existentes en las geografías de cobertura [16]. En la figura 7 se observa la modulación adaptativa en Wimax la cual depende de la distancia.

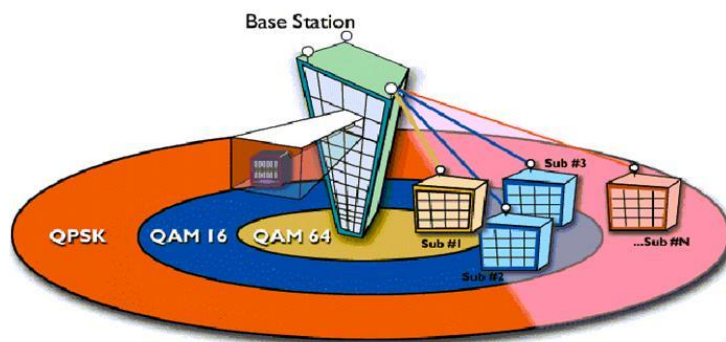


Figura 7. Modulación adaptativa en Wimax dependiente de la distancia [26].

2.7. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN

Las técnicas de multiplexación utilizadas por la tecnología Wimax son: OFDM (Multiplexación por División de frecuencia Ortogonal), OFDMA (Acceso Múltiple por

División de frecuencia Ortogonal) y SOFDMA (Acceso Múltiple por División de frecuencia Ortogonal Escalable).

2.7.1. OFDM (Multiplexación por División de frecuencia Ortogonal)

OFDM se trata de una de las técnicas empleadas en Wimax para ofrecer enlaces a altas velocidades conjuntamente con características como la resistencia a desvanecimientos por multitrayectorias e interferencias. Esta técnica básicamente divide un canal de frecuencia en un número determinado de bandas de frecuencias equiespaciadas, a su vez en cada banda se transmite una subportadora que transporta una porción de la información del usuario. Cada subportadora es ortogonal al resto, dándole el nombre a esta técnica de multiplexación por división de frecuencia ortogonal [14].

El hecho de que cada subportadora sea ortogonal al resto, permite que el espectro de cada una este traslapado y no exista interferencia, consecuentemente aumentando la eficiencia del uso del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre subportadoras. La modulación utilizada es QAM y QPSK [14]. En la figura 8 se observa el traslape existente entre los espectros de las subportadoras originales.

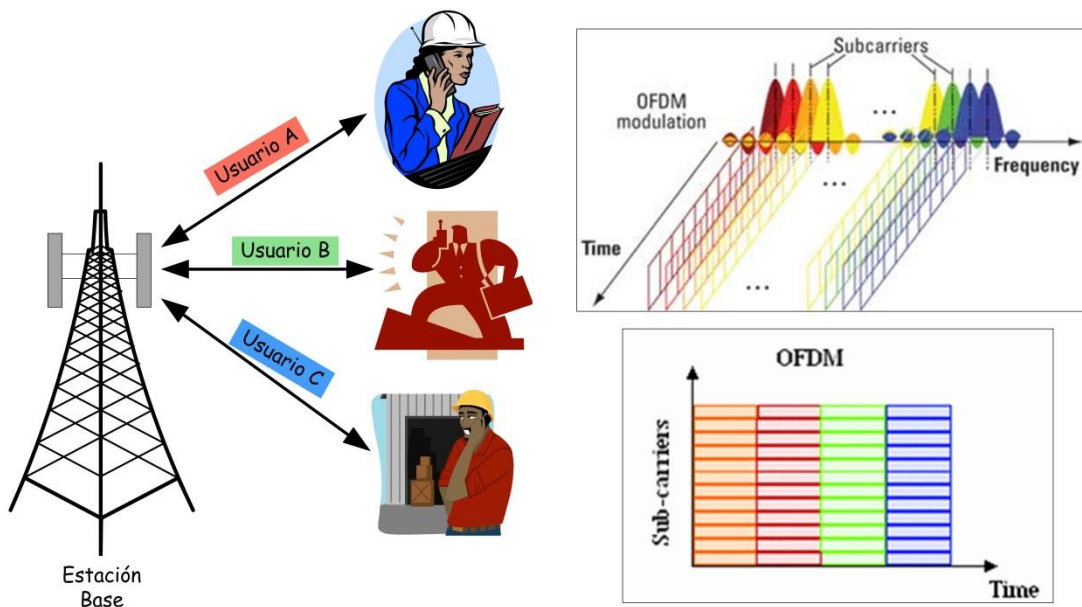


Figura 8. Traspale de espectros de una señal OFDM.

Desde la perspectiva de Wimax existe aplicación de la técnica de multiplexación OFDM. Tomando como ejemplo el estándar IEEE 802.16d-2004 el cual especifica la interfaz aire WirelessMan-OFDM. Para este caso se establece que se utiliza 256 subportadoras de las cuales: 192 son utilizadas para datos, 8 son pilotos y las restantes 56 son nulas [14]. El diagrama con las subportadoras de OFDM se puede observar en la figura 9.

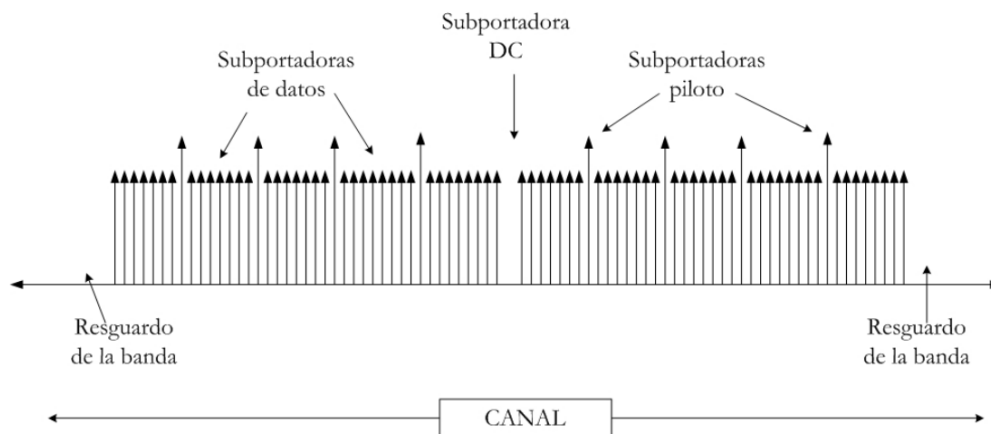


Figura 9. Diagrama con las subportadoras de OFDM [30].

Las subportadoras pilotos son utilizadas como referencia para minimizar los desplazamientos de frecuencia y fase, mientras que las 56 subportadoras nulas son utilizadas para resguardo de la Banda y la Frecuencia Central (DC) que corresponde a la frecuencia central de voz [14].

2.7.2. OFDMA (Acceso Múltiple por División de frecuencia Ortogonal)

OFDMA consiste en una técnica de multiplexación que permite la transmisión de grandes cantidades de información a través de ondas de radio, para lograr esto divide a una señal portadora en varias subportadoras que pueden ser transmitidas simultáneamente empleando frecuencias diferentes. Esta técnica se emplea especialmente en entornos inalámbricos los cuales presentan desventajas significativas con respecto a otras tecnologías cableadas [14]. En la figura 10 se muestra un esquema de multiplexación OFDMA.

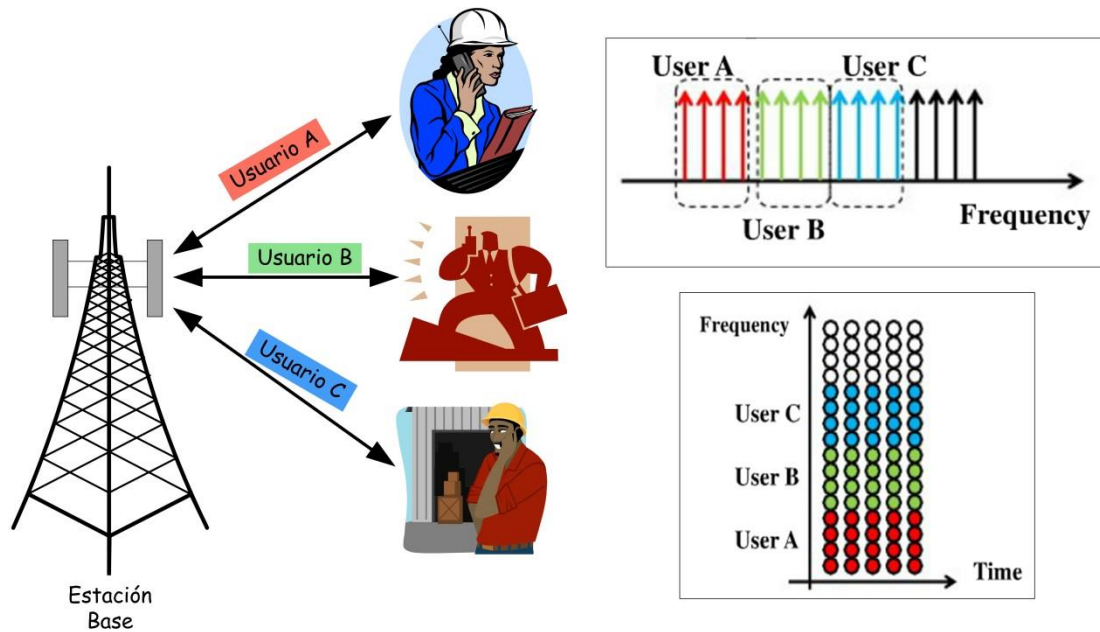


Figura 10. Representación de la técnica de multiplexación OFDMA.

Esta técnica permite la transmisión de varias señales de información al mismo tiempo y empleando un solo canal de información. Utiliza señales ortogonales las cuales son moduladas con los esquemas de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM, permitiendo un ahorro de ancho de banda debido a que entre una señal y otra no se emplea las tradicionales bandas de guarda, sino la sobreposición entre las subportadoras. El espaciamiento entre subportadoras debe ser seleccionado cuidadosamente para que cada subportadora se ubique en los puntos nulos o cruce por cero a fin de evitar que las mismas sufran solapamiento.

OFDMA se caracteriza también por ser una técnica apropiada para trabajar en ambientes NLOS, consecuentemente es ideal para trabajar con la tecnología Wimax. La principal diferencia entre OFDMA y OFDM es que en el caso de la primera técnica a más de utilizar varias subportadoras, las asocia en diferentes canales formando subcanales lo cual le permite enviar mayores flujos de información y obtener una mejor eficiencia espectral. Un ejemplo de aplicación de la tecnología OFDMA en Wimax se puede apreciar en el estándar IEEE 802.16e el cual especifica la interfaz aire WirelessMan-OFDMA, el número de las subportadoras soportadas para este estándar es de: 2048, 1024, 512 y 128 [14].

2.7.3. SOFDMA (Acceso Múltiple por División de frecuencia Ortogonal Escalable)

OFDMA Escalable es el concepto sobre el cual también está basado el estándar IEEE 802.16e ya que al tener que utilizar diferentes tamaños de subportadoras, nace la necesidad de usar OFDMA en forma flexible. Esta técnica entrega la flexibilidad necesaria para todo tipo de despliegues y servicios, permitiendo a los operadores desplegar redes con capacidades de acuerdo a su plan de negocios, tomando en cuenta que el número de subportadoras depende del ancho de banda que se utilice, pudiendo así realizar despliegues más eficientes [14].

El rango del ancho de banda dinámico que provee SOFDMA está entre 1.25 MHz y 20 MHz. Para el caso del ancho de banda de 10 MHz, las tasas de DL y UL son de alrededor de 63 Mbps y 28 Mbps respectivamente. Los esquemas de modulación empleados son: 16QAM y 64 QAM. El número de las subportadoras soportadas es de: 2048, 1024, 512 y 128. Para las aplicaciones móviles de Wimax solamente se utiliza el tamaño de 1024 y 512 subportadoras [14].

En el estándar IEEE 802.16m ya no se utiliza la terminología SOFDMA pues esta se utilizó simplemente para referir al estándar IEEE 802.16e-2005 con el nombre de Wimax Móvil.

2.8. TOPOLOGÍAS

La tecnología Wimax contempla las siguientes topologías: Topología Punto a Punto (PTP), Punto a Multipunto (PTM) y las redes malladas o también conocidas como Mesh.

2.8.1. TOPOLOGÍA PUNTO A PUNTO (PTP)

Se trata del modelo más simple de red inalámbrica utilizado en Wimax, está compuesto por dos radios y dos antenas en comunicación directa entre ambas. Este tipo de enlaces se utiliza habitualmente en conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad. Son fáciles de instalar pero difíciles de crear con ellos

una red grande [14]. El uso habitual de esta topología es para enlaces punto a punto con clientes finales o para realizar un backhaul² de redes [15].

2.8.2. TOPOLOGÍA PUNTO A MULTIPUNTO (PTM)

En este tipo de topología usado en Wimax, existe una estación base que transmite la señal de radio hacía varias estaciones remotas simultáneamente, es decir, existe una estación base transmisora y varias estaciones base receptoras generándose una configuración en estrella. Este tipo de red es más sencillo de implementar que las redes PTP ya que el hecho de añadir un nuevo suscriptor solo requiere incorporar equipamiento del lado del cliente, no teniendo que variar nada en la estación base [15].

2.8.3. TOPOLOGÍA MESH O MALLA.

Los elementos que componen una red mesh son llamados nodos, cada nodo actúa como un emisor y receptor y puede crear su propia comunicación con otro nodo vecino. Así en una red mesh cada nodo puede actuar como un ruteador simple. Una ventaja de este tipo de redes es que el alcance de una estación base puede ser mucho mayor dependiendo del número de saltos posibles, otra ventaja es que puede rodear grandes obstáculos como una montaña [15].

2.9. BANDAS DE FRECUENCIA

Wimax se caracteriza por desplegarse en espectros que requieren licencia así como en aquellos que no lo requieren y que están por debajo de los 11 GHz. Existe la posibilidad de poder ser desplegado en las bandas de servicio celular (800 MHz y 1900 MHz), así como en la banda de los 700 MHz [13]. En la tabla 9 se presenta las bandas de frecuencia en el rango de 10 a 66 GHz que no requieren licencia y las bandas de frecuencia menores a 11 GHz que si requieren licencia.

² Backhaul.- en telecomunicaciones, es la porción de una red jerárquica, que comprende los enlaces intermedios entre el núcleo o backbone, y las subredes en sus bordes.

Tabla 9. Bandas de frecuencia para Wimax [13].

BANDA DE FRECUENCIA	LICENCIA	LOS/NLOS	TIPO DE ACCESO
10 - 66 GHz	No	LOS	Fijo
< 11 GHz	Si	NLOS y LOS a distancias cortas	Fijo
5 - 6 GHz	No	NLOS	Fijo y nómada
2 - 6 GHz	Si	NLOS	Fijo y móvil

2.10. ARQUITECTURA [24]

La tecnología Wimax se encuentra estructurada por una arquitectura de tipo NGN (Next Generation Network), es decir, permite la integración perfecta de servicios de telecomunicaciones tanto nuevos como tradicionales entre redes de paquetes de alta velocidad permitiendo la interconexión entre clientes que poseen capacidades distintas [1]. En la figura 11 se observa la arquitectura general de la tecnología Wimax basada en la conmutación de paquetes.

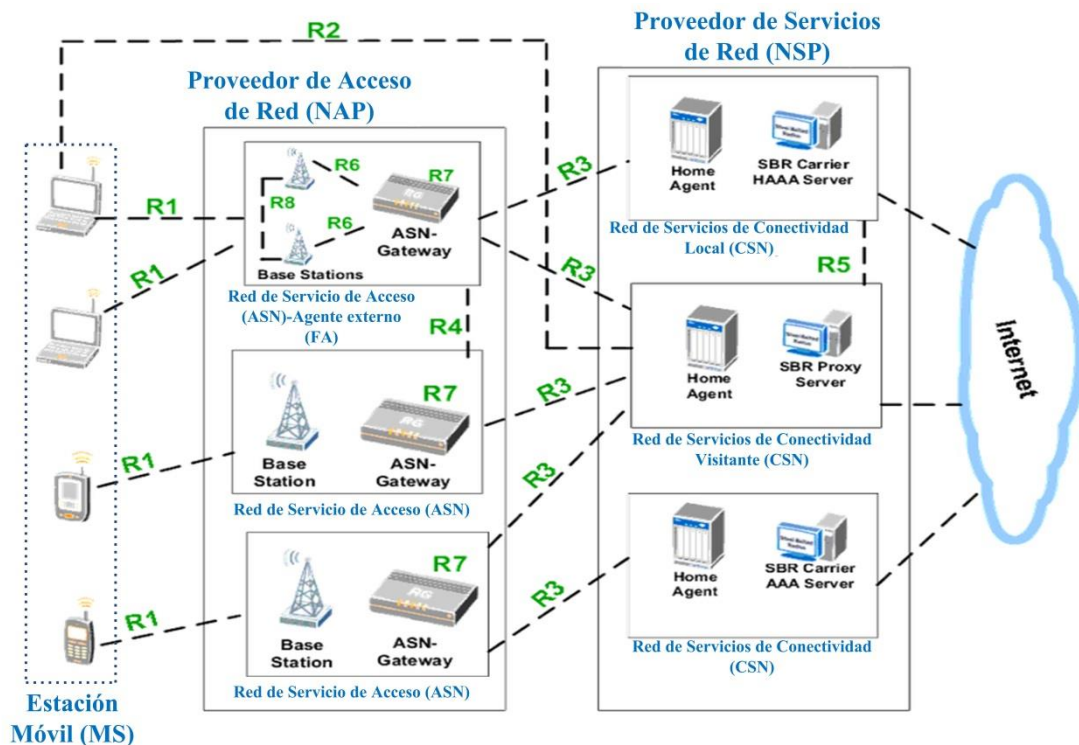


Figura 11. Arquitectura general de la tecnología Wimax (IEEE 802.16).

La arquitectura Wimax se encuentra estructurada alrededor de cuatro capas principales de tecnología, estas son: servicio, conectividad y transporte, acceso y finalmente gestión. El estándar IEEE 802.16 define solamente las especificaciones para la capa física (PHY) y subcapa MAC (Control de acceso al medio). A partir del estándar IEEE 802.16e-2005, la arquitectura Wimax se encuentra desarrollada totalmente sobre una plataforma IP con tecnología de conmutación de paquetes [1].

Los elementos principales de la arquitectura Wimax basada en la conmutación de paquetes son:

- **La Estación móvil (MS) o equipo terminal.-** comprende una infinidad de dispositivos como: teléfonos móviles, PDA's y laptops.
- **El Proveedor de Acceso de Red (NAP).-** provee la funcionalidad de acceso radio. Las funciones incluidas dentro del NAP son: La Red de Servicio de Acceso (ASN), Handover, ASN-GW (Gateway), estaciones base (BS), agentes externos (FA), la calidad de servicio (QoS), aplicación de políticas y flujo de información a un CSN (Red de Servicios de Conectividad) seleccionado. Puede tener vínculos con múltiples NSP (Proveedor de Servicios de Red) [1].
- **Proveedor de Servicios de Red (NSP).-** provee servicios de conectividad IP. Algunas de las principales funciones incluidas en NSP son: La Red de Servicios de Conectividad (CSN), el Agente Local (HA), servidores AAA (autenticación, autorización, tarificación) locales y visitantes, conectividad a internet, gestión de direcciones IP, movilidad y roaming entre distintas ASN. Puede tener vínculos entre distintos NSP o entre múltiples NAP [1].
- **Internet.-** provee el acceso de un usuario o abonado a la WEB así como conectividad a un NSP [1].

2.11. COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LAS PRINCIPALES VERSIONES DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16

Referente a las características técnicas establecidas por el estándar IEEE 802.16, en la tabla 10 se muestra una comparación técnica de sus principales versiones.

Tabla 10. Comparación técnica entre las principales versiones de Wimax [2].

	IEEE 802.16-2001	IEEE 802.16d-2004	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16m
Frecuencias de operación	10 GHz a 66 GHz	2 GHz a 11 GHz	2 GHz a 11 GHz (acceso fijo) 2 GHz a 6 GHz (aplicaciones móviles)	Bandas IMT (MHz) 450–470 698–960 1710–2025 2110–2200 2300–2400 2500–2690 3400–3600
Aplicación	Fijo (LOS)	Fijo (NLOS)	Fijo y móvil (NLOS)	Fijo y móvil (NLOS)
Topologías	PTM y Mesh	PTM y Mesh	PTM y Mesh	PTM y Mesh
Esquema de transmisión	Solamente una sola portadora	Una portadora, 256 OFDM o 1024 OFDM	Una portadora, 256 OFDM, OFDM escalable con 128, 512, 1024 o 2048 subportadoras	Una portadora, OFDM escalable con 1024 y 2048 subportadoras.
Modulación	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Velocidad de transmisión	32 Mbps hasta 134 Mbps	1 Mbps hasta 75 Mbps	1 Mbps hasta 75 Mbps	135 Mbps hasta 300 Mbps
Multiplexación	TDM/TDMA	TDM/TDMA/OFDMA	TDM/TDMA/OFDMA	OFDMA
Duplexación	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD/FDD/H-FDD
Bandas de operación	20 MHz, 25 MHz, 28 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 MHz	5 MHz a 20 MHz (hasta 100 MHz con agregación de bandas)
Rango de cobertura	Hasta 50 Km	6 a 10 Km	5 a 8 Km	Óptimo 5 Km, conectividad hasta 100 Km
Movilidad	No aplica	No aplica	Hasta 60 Km/h	Hasta 350 Km/h

2.12. SITUACIÓN ACTUAL DE LA TECNOLOGÍA WIMAX EN EL ECUADOR

La tecnología Wimax se encuentra implementada actualmente por varias empresas en el Ecuador y se utiliza principalmente en accesos de última milla para ofrecer servicios de telefonía fija y banda ancha a usuarios residenciales y comerciales en algunas ciudades del país.

Actualmente en el mercado ecuatoriano existen varias empresas que tienen desplegadas redes basadas en la tecnología Wimax, en la tabla 11 se puede ver a las empresas que operan con dicha tecnología en el país.

Tabla 11. Situación actual de la tecnología Wimax en el Ecuador [13].

OPERADOR	CIUDAD	TECNOLOGÍA
CNT E.P	Guayaquil	IEEE 802.16d
Setel	Quito	IEEE 802.16d
Telmex	Guayaquil	IEEE 802.16d
TVCABLE	Quito	IEEE 802.16d
Punto Net	Guayaquil	IEEE 802.16d
ETAPA E.P	Cuenca	IEEE 802.16d

Un ejemplo exitoso de implementación de la tecnología Wimax es el realizado por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Cuenca, el cual por medio de su empresa pública ETAPA E.P ha lanzado el servicio de internet inalámbrico portable para los sectores urbanos del cantón Cuenca mediante la tecnología Wimax, específicamente el estándar usado es el IEEE 802.16d. De esta manera se abastece la necesidad de internet de banda ancha especialmente en aquellos lugares en los cuales no llega el cableado de cobre.

ETAPA E.P consiguió la adjudicación de la banda de los 3.5 GHz para operar en el sector urbano. Los usuarios para poder hacer uso del servicio disponen de un módem USB conectado a su computador portátil o de escritorio. Actualmente dispone de 12 Estaciones Base (BS) distribuidas estratégicamente en los siguientes sectores: Centro, Totoracocha, El Ejido, El Arenal, Parque Industrial, Patamarca, El Valle, Narancay, Challuabamba, Capulispamba, Baños, Racar y Ricaurte [21]. En la figura 12 se observa

anuncios promocionales de ETAPA E.P para el servicio de internet de banda ancha con la tecnología Wimax.



Figura 12. Anuncios promocionales de ETAPA E.P para el servicio de internet de banda ancha con Wimax [22].

CAPÍTULO III:

“ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m (WIMAX 2)”

3.1. ASPECTOS GENERALES

El estándar IEEE 802.16m también conocido como WirelessMan Advanced o Wimax 2, ha sido desarrollado por el grupo de trabajo “*IEEE 802.16 Task Group m (TGm)*”, y cuyos resultados se encuentran establecidos en la enmienda “*Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access System. Amendment 3: Advanced Air Interface*”. El estándar fue aprobado el 31 de marzo del 2011 y posteriormente publicado el 6 de mayo del mismo año [23].

Según la ITU-R el estándar IEEE 802.16m cumple con los requerimientos técnicos establecidos en estándar IMT-Advanced³ y consecuentemente es catalogada como una tecnología de cuarta generación (4G) [1]. Ese nuevo estándar principalmente se caracteriza por permitir mayores velocidades de transmisión y mejorar la movilidad en comparación con el estándar IEEE 802.16e-2005.

3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El estándar IEEE 802.16m ha sido desarrollado tomando como base al estándar IEEE 802.16-2009. Existen algunas mejoras en relación al estándar IEEE 802.16e-2005, puede tener una eficiencia espectral de hasta 15.0 bps/Hz en una configuración de antenas 4×4, la duplexación es de tipo FDD con corrección de errores, permite el desarrollo de aplicaciones IP y es compatible las anteriores versiones de Wimax. Puede operar con anchos de banda de hasta 100 MHz y permitir una movilidad de hasta 120 Km/h con una degradación moderada de la señal, todo esto además de sistemas de transmisión multiantena mejorados, entre otras características más [1].

En la tabla 12 se indican características técnicas adicionales del estándar IEEE 802.16m en comparación a lo establecido en el IMT-Advanced.

³ IMT-Advanced.- Telecomunicaciones móviles avanzadas, se trata de un conjunto de requerimientos dados a conocer por la ITU-R y que deben ser cumplidos por las tecnologías de cuarta generación (4G).

Tabla 12. Características técnicas del estándar IEEE 802.16m [1].

REQUERIMIENTOS	IMT-Advanced	IEEE 802.16m
Eficiencia espectral pico (bps/Hz)	DL: 15 bps/Hz (4×4) UL: 6,75 bps/Hz (2×4)	DL: 8,0 bps/Hz (2×2) DL: 15,0 bps/Hz (4×4) UL: 2,8 bps/Hz (1×2) UL: 6,75 bps/Hz (2×4)
Tasa de datos pico (Mbps)	No especificado	DL: 300 Mbps; AB de 20 MHz UL: 135 Mbps; AB de 20 MHz
Esquema de multiplexación	No especificado	DL: OFDMA. UL: OFDMA.
Latencia	Plano de control: 100 ms Plano de usuario: 10 ms	Plano de control: 100 ms Plano de usuario: 10 ms
Movilidad (En bps/Hz a una velocidad dada en Km/h)	55 bps/Hz a 120 Km/h 25 bps/Hz a 350 Km/h	Óptimo hasta 10 Km/h Degradación moderada hasta 120 Km/h Conectividad hasta 350 Km/h (dependiendo de la frecuencia de operación)
Tiempo de interrupción en Handover (ms)	Misma frecuencia: 27,5 ms. Entre frecuencias: 40 ms (en una banda), 60 ms (entre bandas)	Misma frecuencia: 27,5 ms. Entre frecuencias: 40 ms (en una banda), 60 ms (entre bandas)
Capacidad VoIP (Usuarios activos/sector/MHz)	40 usuarios activos/sector/MHz (4×2 y 2×4)	60 usuarios activos/sector/MHz (DL: 2×2 y UL: 1×2)
Configuración de antenas	No especificado	DL: 2×2, 2×4, 4×2, 4×4 y 8×8. UL: 1×2, 1×4, 2×4 y 4×4.
Rango de celda y cobertura	No especificado	Óptimo hasta 5 Km. Conectividad hasta 100 Km.
Ancho del canal de operación	Hasta 40 MHz (con agregación de bandas)	De 5 a 20 MHz (hasta 100 MHz a través de la agregación de bandas)
Duplexación	No especificado	TDD, FDD (Soporte para terminales H-FDD)
Frecuencias de operación (MHz)	Bandas IMT (MHz) 450–470 698–960 1710–2025 2110–2200 2300–2400 2500–2690 3400–3600	Bandas IMT (MHz) 450–470 698–960 1710–2025 2110–2200 2300–2400 2500–2690 3400–3600

3.3. ARQUITECTURA DE RED WIMAX EXTREMO A EXTREMO

Para realizar el análisis de la arquitectura de red Wimax se tomará como referencia a la enmienda IEEE 802.16-2009 en la cual se muestra un modelo de arquitectura denominado de extremo a extremo. La enmienda IEEE 802.16-2009 fue aprobada el 13 de Mayo del 2009 y publicada el 29 de Mayo del mismo año, esta revisión sustituye y deja obsoleta a la enmienda IEEE 802.16-2004 y a todas sus posteriores modificaciones y correcciones [13].

La enmienda del 2009 solamente define los protocolos de la capa física (PHY) y a capa de control de acceso al medio (MAC). La arquitectura de red Wimax soporta usuarios fijos, nómadas, portables y móviles. Está desarrollada totalmente en una plataforma IP (All IP) con tecnología de paquetes, y sin ningún legado de la tecnología de conmutación de circuitos [13].

En la figura 13 se muestra la arquitectura de red del estándar IEEE 802.16m, la cual consta de tres partes principales:

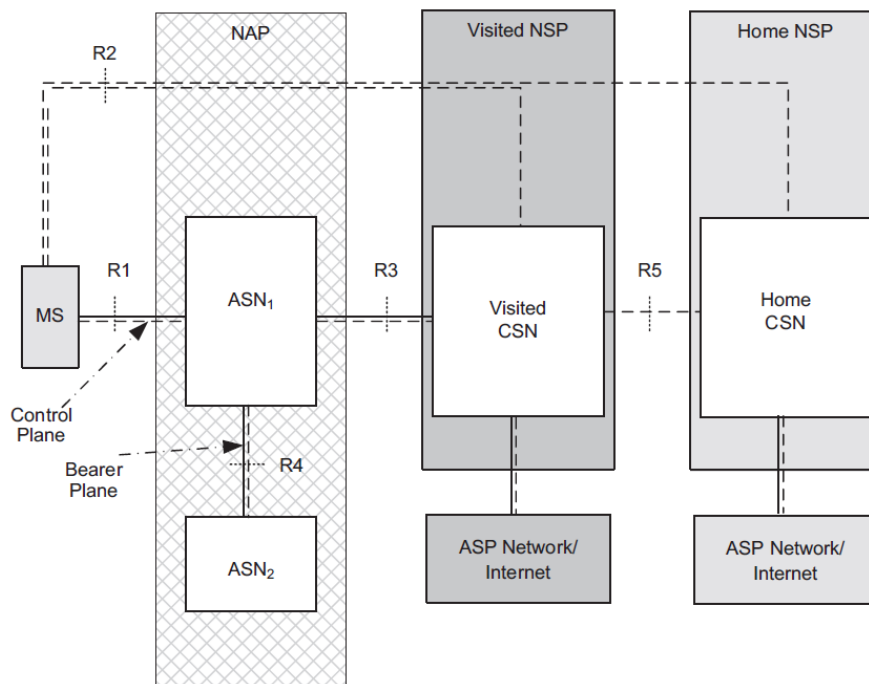


Figura 13. Arquitectura de red del estándar IEEE 802.16m de extremo a extremo [1].

- Estación móvil (MS).
- Red de servicio de acceso (ASN).
- Red de servicios de conectividad (CSN).

3.3.1. ESTACIÓN MÓVIL (MS)

La Estación Móvil (MS) es un dispositivo el cual proporciona radiocomunicación entre el usuario final y una Estación Base (BS). La estación móvil debe ser compatible con el perfil para sistemas móviles establecido por el Wimax Forum [1].

3.3.2. RED DE SERVICIO DE ACCESO (ASN)

La Red de Servicio de Acceso (ASN) se define como un conjunto completo de funciones de red necesarios para proporcionar radiocomunicación hacia los usuarios terminales [1]. El ASN proporciona las siguientes funciones:

- Conectividad de capa 2 con la Estación Móvil (MS).
- Transferencia de mensajes AAA (Autorización, Autenticación y Tarifación) a los suscriptores de la entidad H-NSP (Proveedor de Servicio de Red Local).
- Descubrimiento de red y selección de la entidad NSP (Proveedor de Servicios de Red) preferida por del suscriptor.
- Funcionalidad relay⁴ para establecer conectividad de capa 3 o realizar la asignación de direcciones IP a la Estación Móvil (MS).
- Gestión de los Recursos de Radio (RRM) tales como mecanismos de control de Handover e inicialización de funciones.

El modelo de referencia de un ASN conteniendo a un solo ASN-GW se muestra en la figura 14. Un ASN internamente contienen varias Estaciones Base (BS), las cuales se conectan a un ASN-GW, y varios ASN-GW se conectan entre sí.

⁴ Relay.- se trata de una funcionalidad que puede ser usada para proveer una cobertura extendida o para mejorar el rendimiento de la Red de Acceso Radio (RAN).

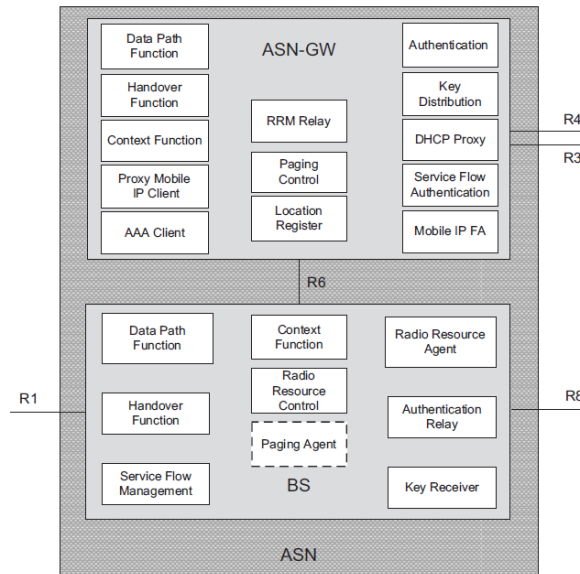


Figura 14. Descomposición funcional del ASN [1].

3.3.2.1. ESTACIÓN BASE (BS)

Una estación base (BS) se trata de una entidad lógica que implementa características de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) y protocolos de la Capa Física (PHY), esto según lo especificado por el estándar IEEE 802.16-2009. En la red de acceso Wimax, una estación base (BS) es definida por un sector y una asignación de frecuencia. En el caso de múltiples asignaciones de frecuencia en un sector, dicho sector incluye tantas BS como frecuencias sean asignadas. Este proceso es similar a las redes UMTS y CDMA [1].

3.3.2.2. GATEWAY ASN (ASN-GW)

Un modelo de referencia conteniendo múltiples ASN-GW se muestra en la figura 15. El ASN comparte sus interfaces de la siguiente manera: la interfaz R1 con la estación móvil (MS), interfaz R3 con la CSN y por medio de R4 se comunica con otra ASN. El ASN se compone de una o más estaciones base (BS) y una o más ASN-GW [1].

La interfaz R4 provee interconexión en los planos de control y de usuario y la interoperabilidad entre ASN similares o heterogéneos. Cuando el ASN está compuesto

de múltiples ASN-GW, la movilidad intra-ASN puede envolver mensajes de control mediante la interfaz R4 y mensajes de establecimiento en el plano del usuario.

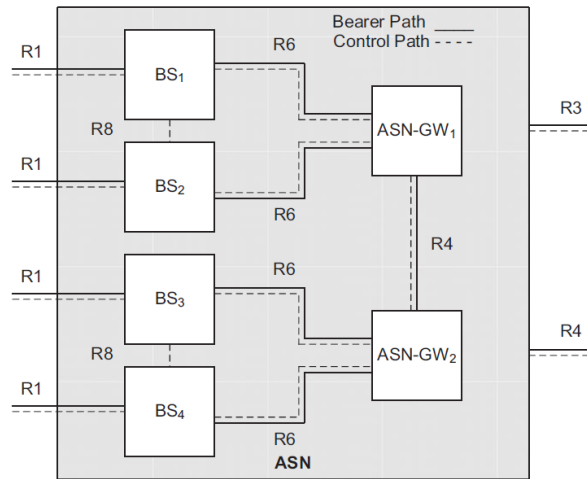


Figura 15. Modelo de referencia del ASN conteniendo múltiples ASN-GW [1].

Desde el punto de vista de su funcionalidad, el ASN-GW es una entidad lógica y opera como un punto de agregación de tráfico de capa 2 (enlace de datos). Representa una suma de funciones que pueden estar vinculadas con una función específica del ASN, una función residente en el CSN o una función en otro ASN. Puede también realizar enrutamiento en el plano del usuario.

3.3.3. RED DE SERVICIOS DE CONECTIVIDAD (CSN)

La Red de Servicios de Conectividad (CSN) está definida como un conjunto de funciones de red que proveen conectividad IP hacia los usuarios finales. El CSN puede brindar algunas funciones e incluye varios equipos. Sus características se mencionan a continuación:

- Permite el direccionamiento IP a la estación móvil (MS) y la asignación de parámetros de valoración para las sesiones de los usuarios.
- Permite la administración de la calidad de servicio (QoS). Instauro políticas de control y admisión basados en los perfiles de usuario.

- Soporte de movilidad basada en IP Móvil (Home Agent, funciones de movilidad entre ASN's). Contiene servidores de tipo AAA (Autorización, autenticación y tarificación) y proxy.
- Facturación a los suscriptores por los servicios prestados. Soporta funciones de tunnelling (basado en protocolos IP) con otros equipos o redes (soporta tunnelling ASN-CSN, tunnelling entre CSN's para el soporte de roaming).
- Permite el acceso a internet, conectividad para servicios peer to peer⁵, servicios de localización, aprovisionamiento, autorización y conectividad a IMS (IP Multimedia System).

La CSN también puede comprender elementos de red tales como: servidores AAA y proxy, routers, servidores DNS y DHCP; firewalls, bases de datos de usuario y algunas funciones internas del sistema. El modelo de referencia del CSN está representado en la figura 16.

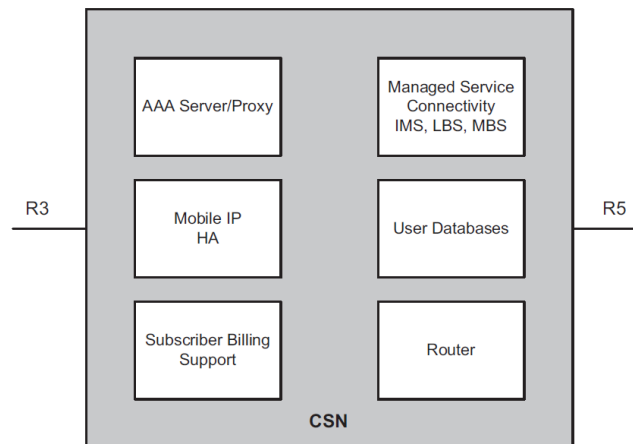


Figura 16. Modelo de referencia de la Red de Servicios de Conectividad (CSN) [1].

3.3.4. ACTORES DE LA ARQUITECTURA DE RED

La arquitectura de red está definida para que múltiples actores puedan ser parte de la arquitectura y funcionalidad de Wimax y cuyas funciones son importantes dentro del funcionamiento de la red. Existen tres actores, estos son: Proveedor de acceso de Red

⁵ Peer to peer.- se define como una red entre pares o punto a punto.

(NAP), Proveedor de Servicio de Red (NSP) y el Proveedor de Servicio de Aplicaciones (ASP) [1].

3.3.4.1. PROVEEDOR DE ACCESO DE RED (NAP)

El NAP se define como un propietario y opera uno o varios ASN. Provee la infraestructura de acceso radio a uno o varios Proveedores de Servicio de Red (NSP).

3.3.4.2. PROVEEDOR DE SERVICIO DE RED (NSP)

El NSP es una entidad que provee la conectividad IP y los servicios Wimax a los suscriptores, usando la infraestructura ASN provista por uno o varios NAP en función de un Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA). El NSP despliega la red de servicios de Conectividad (CSN), la cual provee la conectividad IP para los suscriptores Wimax.

Adicionalmente, un NSP de un país dado, debe tener acuerdos de roaming con otros NSP, los cuales podrían estar en otros países. De ahí que un suscriptor Wimax puede agregarse a un NSP local (H-NSP) o a un NSP visitante (V-NSP), siendo éste último un NSP externo con quien el NSP local tiene un acuerdo de roaming [1].

3.3.4.3. PROVEEDOR DE SERVICIO DE APLICACIONES (ASP)

Un ASP provee servicios de valor agregado tales como aplicaciones multimedia usando IMS (IP Multimedia System) y VPN corporativas que corren sobre IP. Estos servicios ofrecidos por el ASP, están dados en función del acuerdo que tenga con un NSP. La separación entre NAP, NSP y ASP es diseñada para permitir un ecosistema más rico en servicios empresariales Wimax, lo que lleva a una mayor competencia y por ende un mejor servicio.

3.3.5. PUNTOS DE REFERENCIA (RP)

Un Punto de Referencia (RP) se trata de una interfaz lógica entre dos grupos de funciones o protocolos. Todos los protocolos asociados con un punto de referencia pueden no siempre terminar en la misma entidad funcional, esto debido a que dos

protocolos asociados a un punto de referencia pueden originarse igual pero terminar en diferentes entidades funcionales. Un punto de referencia solamente llega a convertirse en una interfaz física cuando las entidades funcionales para uno y otro lado del RP están contenidas en diferentes módulos físicos [1].

3.4. AUTENTICACIÓN, AUTORIZACIÓN Y CONTABILIDAD (AAA)

Los mensajes AAA especifican los procedimientos para realizar las funciones de autenticación, autorización y contabilidad. Estas funciones están asociadas con los terminales de usuario y que a su vez están suscritos a servicios a través de diferentes tecnologías de acceso. Los protocolos AAA incluyen mecanismos para el intercambio seguro de datos, así como la distribución de credenciales de autenticación y claves de sesión para la encriptación de datos [1]. Los mensajes AAA proveen además los siguientes servicios:

- Autenticación del dispositivo y usuario. Autorización en la entrega de información para configurar las sesiones de acceso, movilidad, calidad de servicio (QoS) y otras aplicaciones.
- Entrega de la información sobre la facturación del servicio prestado. Manejo de información que puede ser utilizada para auditar la actividad de sesiones tanto para la entidad H-NSP como para V-NSP.

Los mensajes AAA también permiten el uso de las técnicas Mobile IPv4 y Mobile IPv6, tienen la capacidad de soportar varios escenarios de operación de red desde fijo hasta móvil. Proveen soporte para la implementación de la autorización de las estaciones móviles (MS), del usuario y la autenticación mutua entre la estación móvil (MS) y el NSP basados en el Protocolo de Gestión de Privacidad de Claves (PKMv2) [1].

3.5. EL PROTOCOLO MOBILE IP

El soporte de movilidad dentro de la arquitectura de red Wimax está basado en el protocolo Mobile IP, el cual se trata de un protocolo estándar creado por la IETF (Grupo

de Trabajo de Ingeniería de Internet) diseñado para permitir a los usuarios de dispositivos móviles moverse de una red a otra manteniendo su dirección IP [1].

Existen dos versiones de los protocolos Mobile IP mencionados anteriormente: Mobile IPv4 y Mobile IPv6. El protocolo Mobile IP permite hacer transparente el direccionamiento de datagramas IP en internet. Cada nodo Mobile IP se identifica por su dirección permanente más no por su dirección de localización actual en internet. Cada nodo también está asociado con una dirección dinámica la cual provee la información acerca de la localización actual del nodo [1]. Existen dos tipos de entidades en la funcionalidad Mobile IP, estas son:

- Un Agente Local (HA), el cual almacena la información sobre el nodo móvil cuya dirección permanente es la de la red local.
- Un Agente Externo (FA), el cual almacena información sobre cada nodo móvil en su red. Los agentes externos también mantienen la seguridad sobre la dirección que está siendo usada por el protocolo Mobile IP.

Las aplicaciones Mobile IP se encuentran en entornos wireless (WLAN) donde los usuarios necesitan llevar sus dispositivos a través de varias redes LAN con diferentes direcciones IP [1]. Las características del protocolo Mobile IP son: no tiene limitaciones geográficas por lo que el usuario puede conectarse en cualquier lugar, no tiene necesidad de conexión física, no tiene que modificar enrutadores o terminales ya que mantiene su IP, no afecta a los protocolos de transporte ni a los de alto nivel.

Soporta seguridad para garantizar la protección de los usuarios. El cambio de red debe ser lento (si se da la movilidad en un coche no se podría aprovechar las características de IP móvil).

3.6. GESTIÓN DE RECURSOS RADIO (RRM)

La utilización eficiente de los recursos radio dentro de una red de acceso es llevada a cabo por la entidad de Gestión de Recursos Radio (RRM). El RRM define mecanismos y procedimientos para compartir la información relacionada entre una estación base y el

ASN-GW. Los procedimientos de gestión de los recursos radio permiten a las diferentes estaciones base comunicarse entre sí o con una entidad RRM centralizada que reside en el mismo ASN u otro diferente con el objetivo de intercambiar información relacionada a la gestión de los recursos radio [1]. Entre las funciones de la entidad RRM se encuentran las siguientes:

- Control de admisión a las estaciones móviles (MS) y control de la admisión a una conexión. Control de flujo del servicio de admisión.
- Balance de carga por medio de la gestión y monitoreo de la carga del sistema, así como el uso de medidas que permitan al sistema regresar a una condición de carga normal.
- Preparación para el procedimiento de Handover, es decir, el RRM puede ayudar en el equilibrio de carga del sistema facilitando la selección de la estación base más adecuada para la realización del Handover.

El RRM se encuentra compuesto de dos entidades funcionales que son: el Agente de Recursos Radio (RRA) y el Control de Recursos Radio (RRC).

3.7. GESTIÓN DE LA MOVILIDAD (Handover)

La arquitectura del estándar IEEE 802.16m soporta dos tipos de movilidad, estos son: movilidad asociada al ASN y movilidad asociada al CSN. La movilidad asociada al ASN se refiere al escenario en el cual un terminal móvil se mueve entre dos estaciones base las cuales pertenecen a un mismo ASN, manteniendo el mismo agente externo (FA) [1].

La movilidad asociada al CSN en cambio se refiere a un escenario de movilidad inter-ASN, en este caso la estación móvil se cambia a un nuevo agente externo (FA). El nuevo agente externo intercambia mensajes de señalización por medio del CSN para de esta manera establecer un nuevo camino para el reenvío de datos [1].

La figura 17 muestra tres escenarios de movilidad diferentes, cuando la estación móvil se mueve de las posiciones 1 a 2 o de 1 a 3 la movilidad es inter-ASN, pero cuando la

estación móvil se mueve desde la posición 1 a la 4 se da una movilidad asociada al CSN.

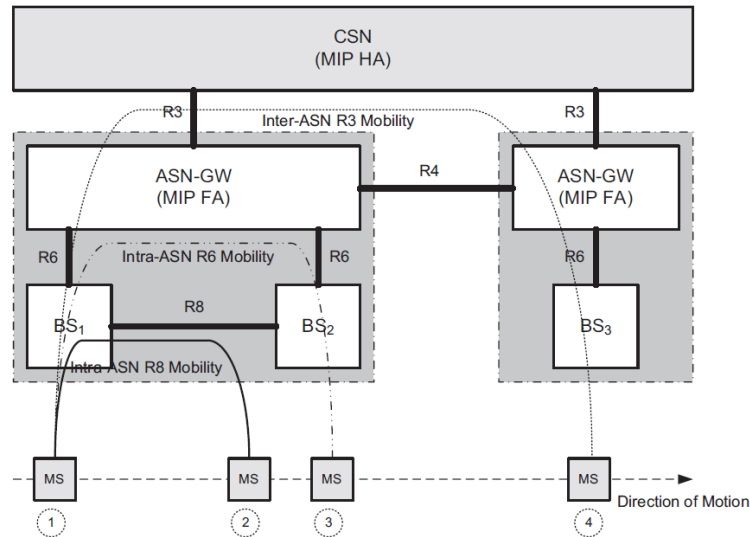


Figura 17. Escenarios de movilidad soportados por el estándar IEEE 802.16m [1].

3.8. MODELO DE REFERENCIA DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16-2009

El estándar IEEE 802.16-2009 define un modelo de referencia genérico donde se especifica los principales bloques funcionales que son: capa física (PHY), subcapa de seguridad, subcapa de parte común MAC y la subcapa de convergencia de servicios específicos. Además se incluye las interfaces de cada bloque, el control general de la red y la gestión del sistema [1].

El estándar IEEE 802.16m ha modificado este modelo de referencia añadiendo una clasificación más específica al dividir las funciones de la subcapa de parte común MAC en dos grupos funcionales, dando lugar a un enfoque más estructurado para la caracterización de las funciones de la capa de enlace y su interoperabilidad. Además de esto el estándar define una estructura de protocolos en donde los componentes funcionales se clasifican en diferentes capas y subcapas. Se establecen diferenciaciones basadas en el plano de datos y categorías en el plano de control [1].

Los protocolos y funciones elementales definidos de manera general en la tecnología Wimax corresponden a la capa física y capa de enlace de datos, que a su vez

corresponden a las capas 1 y 2 al modelo OSI respectivamente [1]. En la figura 18 se puede observar los protocolos especificados por las dos primeras capas del modelo OSI para el estándar IEEE 802.16.

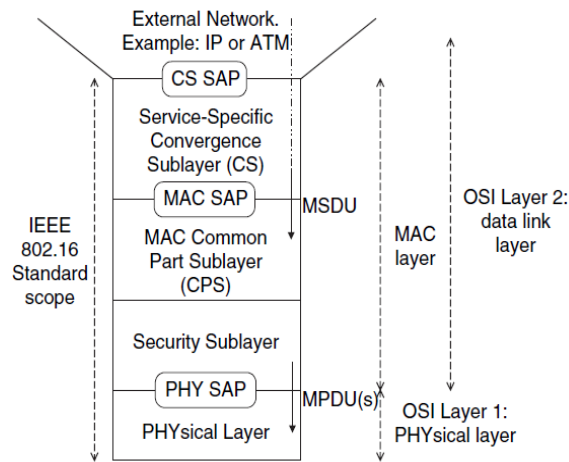


Figura 18. Protocolos especificados para el estándar IEEE 802.16 [1].

En la figura 19 se muestra el modelo de referencia del estándar IEEE 802.16-2009. Se puede apreciar en este gráfico que la capa de enlace de datos se divide en tres subcapas que son: la Subcapa de Convergencia de Servicios Específicos (CS), la Subcapa de Parte Común (MAC CPS) y la Subcapa de Seguridad [1].

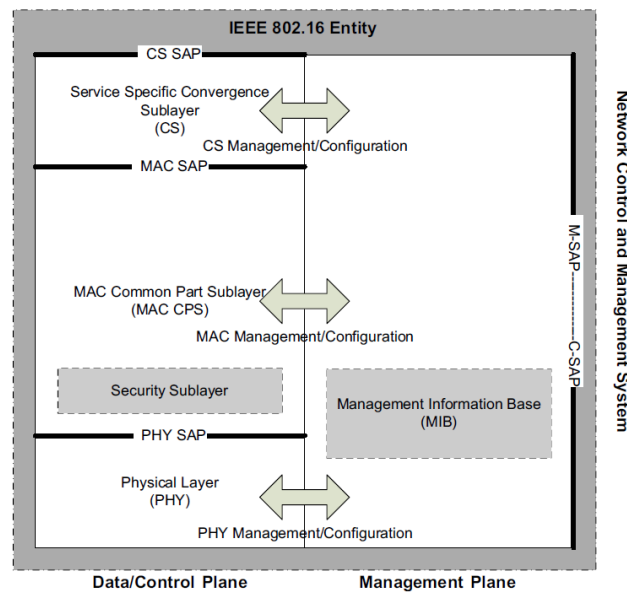


Figura 19. Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16-2009 [1].

La subcapa de convergencia de servicios específicos (CS) se encuentra por encima de la subcapa MAC CPS y se encarga de establecer la comunicación con esta a través de la interfaz MAC SAP (Punto de Acceso de Servicio). Además de esto la subcapa CS tiene la función de aceptar las PDU (Unidad de Datos de Protocolo) provenientes de las capas superiores, son dos los tipos de PDU aceptados: ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) y los protocolos de paquetes conmutados (Paquetes CS) [1].

La subcapa de parte común (MAC CPS) se encarga de proporcionar las funcionalidades principales de acceso al sistema como por ejemplo: la asignación del ancho de banda y, el establecimiento y mantenimiento de la conexión. Esta subcapa puede recibir datos de la subcapa de convergencia (CS) superior a través de la interfaz MAC SAP.

La tercera subcapa perteneciente a la capa de enlace de datos es de la Subcapa de Seguridad. Esta subcapa en realidad se encuentra separada de la subcapa MAC CPS pero le proporciona servicios a la misma, estos servicios son: la autenticación e intercambio seguro de claves y encriptación. Existe una comunicación entre la subcapa de seguridad y la capa física (PHY) a través de la interfaz PHY SAP, la información transferida entre estas capas se trata de datos del usuario, mensajes de control de la capa física y datos estadísticos [1].

Como un dato adicional se tiene que el estándar IEEE 802.16-2009 proporciona mejoras al estándar IEEE 802.16d-2004, definiendo un nuevo bloque denominado MIB (Base para la Gestión de la Información). El bloque MIB realiza procedimientos de gestión asociados a la capa física y la subcapa MAC CPS [1].

3.9. MODELO DE REFERENCIA DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m

El modelo de referencia asociado al estándar IEEE 802.16m se muestra en la figura 20, se puede ver claramente que es muy similar al modelo de referencia definido en el estándar IEEE 802.16-2009.

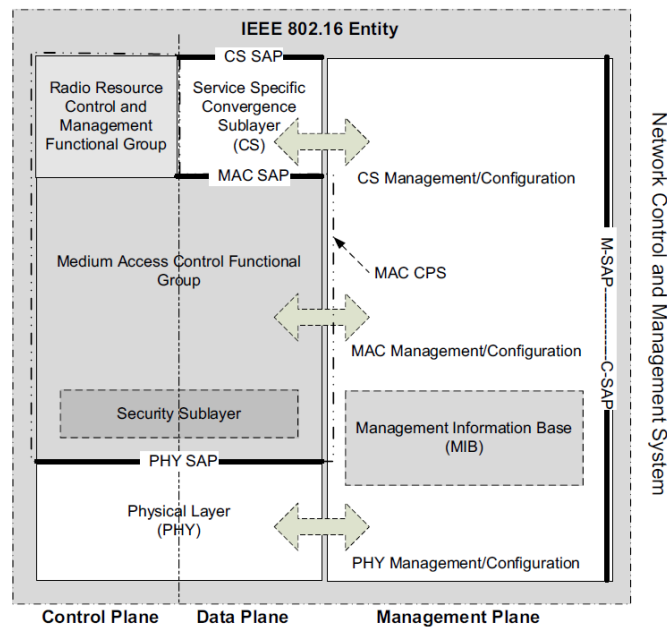


Figura 20. Modelo de referencia del estándar IEEE 802.16m [1].

La diferencia radica básicamente en que para el estándar IEEE 802.16m existe una descripción más detallada de la subcapa de parte común (MAC CPS) al dividirla en dos partes que son: el bloque de Control y Gestión de los Recursos Radio (RRCM) y el grupo de funciones de la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio). En el nuevo estándar se define también una estructura de protocolos y los componentes funcionales se clasifican en diferentes capas y subcapas [1].

De acuerdo a la figura 20 tampoco se hace necesaria una interfaz de tipo SAP (Punto de Acceso de Servicio) entre el bloque de Gestión y Control de Recursos Radio (RRCM) y la subcapa Control de Acceso al Medio (MAC). Existe también una diferenciación explícita entre las funciones asignadas en el plano de control y el plano de datos, a diferencia del estándar IEEE 802.16-2009 en el cual donde no existe una diferenciación explícita de las funciones en ambos planos de operación. Lo que si se muestra en ambos estándares es la separación explícita entre la Capa Física (PHY), la subcapa MAC CPS y la subcapa de convergencia de servicios específicos (CS) [1].

3.10. PLANOS DE OPERACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m

Las funciones relacionadas a la subcapa MAC y Capa Física (PHY) del estándar IEEE 802.16m pueden ser clasificadas en tres categorías denominadas: plano de datos, plano de control y el plano de gestión [1].

3.10.1. EL PLANO DE DATOS

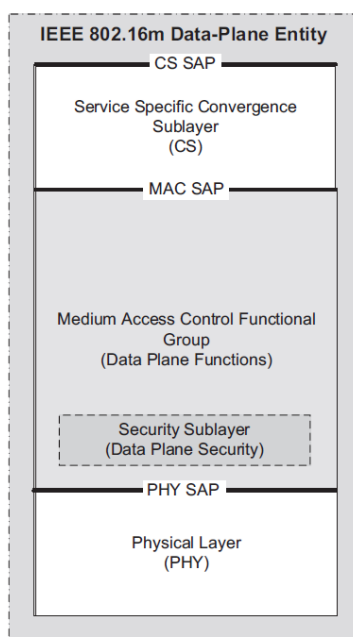


Figura 21. El plano de datos en el estándar IEEE 802.16m [1].

La representación del plano de datos (también llamado plano del usuario) correspondiente al estándar IEEE 802.16m se muestra en la figura 21. Las partes que constituyen a este plano de operación son: la subcapa de convergencia de servicios específicos (CS), la subcapa MAC, la subcapa de seguridad y los protocolos de capa física correspondientes al procesamiento de paquetes del usuario.

El plano de datos también comprende funciones referentes al procesamiento de datos del usuario tales como: la clasificación del flujo de servicio, compresión de cabecera, funciones de encriptación y procesamiento de paquetes en la subcapa MAC y capa física [1].

Las funciones del plano de datos incluidas en la subcapa MAC son: Solicitud de Repetición Automática (ARQ), fragmentación y empaquetado, formación de la PDU correspondiente a la subcapa MAC y la función de encriptación. El ARQ se trata de un mecanismo para el control de errores en la capa de enlace de datos, donde el receptor puede solicitar al transmisor el reenvío de un bloque de datos que haya sido erróneamente detectado o no haya sido recibido. El tamaño del bloque ARQ es un parámetro que es negociado durante el establecimiento de la conexión debido al tamaño del mismo, este mecanismo puede ser deshabilitado para algunas aplicaciones sensibles al retraso como VoIP [1].

La función de scheduling en la estación base asigna recursos radio y realiza la multiplexación de los usuarios, selecciona el modo MIMO apropiado, así como la modulación y el esquema de codificación basados en los reportes de medición que se reciben de las estaciones móviles [1].

3.10.2. EL PLANO DE CONTROL

El plano de control referente al estándar IEEE 802.16m está asociado a un conjunto de funciones de control de capa 2 necesarias para soportar tareas como: configuración de los recursos radio, coordinación, señalización y gestión. Este plano de operación comprende las siguientes subcapas: la subcapa de Gestión y Control de los Recursos Radio (RRCM), funciones de control de la subcapa MAC y ciertos protocolos de la capa física (PHY) correspondientes al plano de control [1].

La figura 22 ilustra la entidad del plano de control asociada al estándar IEEE 802.16m. La subcapa RRCM incluye funciones y tareas de gestión tales como: gestión del ingreso y reingreso a la red, gestión de la paginación y del estado de operación inactivo y, servicios de broadcast y multicast [1].

La subcapa de seguridad para el plano de control se muestra con una línea discontinua, esto es debido a que encripta y protege selectivamente a mensajes unicast de gestión pertenecientes a la subcapa MAC [1].

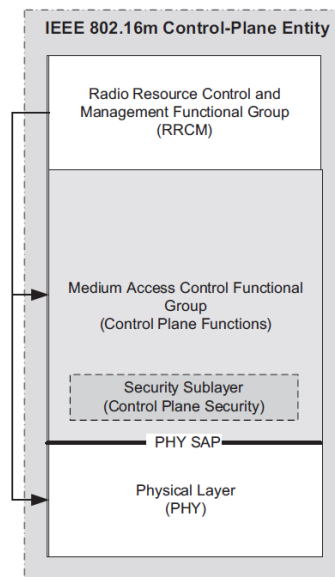


Figura 22. Entidad plano de control del estándar IEEE 802.16m [1].

3.10.3. EL PLANO DE GESTIÓN

El plano de gestión se ha definido con el fin de poder realizar una gestión externa del sistema así como ciertas configuraciones. Todas las entidades de gestión y configuración de protocolos así como el bloque MIB (Gestión de la Información Base) ingresan a esta categoría [1].

Las funciones de gestión y administración asociadas a la capa física, subcapa MAC, subcapa de seguridad, subcapa de convergencia de servicios y el bloque MIB contenido en el plano de gestión, se encargan de configurar y gestionar las entidades funcionales en el plano de control y el plano de datos. En la figura 23 se puede observar el plano de gestión para el estándar IEEE 802.16m [1].

Las especificaciones en el plano de gestión también incluyen el control y configuración de las interfaces SAP (Punto de Acceso de Servicio). Estas interfaces cumplen un papel importante al momento que se produce el flujo de información entre las diversas subcapas. Las interfaces M-SAP y C-SAP observadas en la figura 23 tienen funciones específicas en cuanto a la gestión de los recursos radio [1].

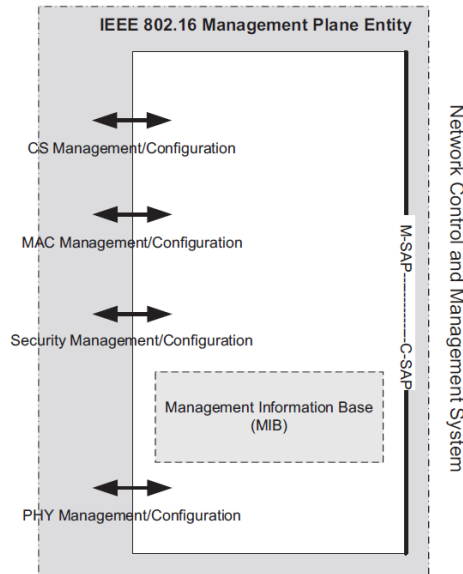


Figura 23. Plano de Gestión del estándar IEEE 802.16m [1].

3.11. ESTRUCTURA DE PROTOCOLOS DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m

La estructura de protocolos es una parte fundamental en el análisis del estándar IEEE 802.16m. Existen distintos protocolos para cada una de las subcapas y desde el punto de vista del modo de operación existen protocolos que pertenecen tanto al plano de control como al plano de datos [1].

Ya se mencionó anteriormente que la Subcapa de Parte Común (MAC CPS) se divide en la subcapa RRCM (Gestión y Control de los Recursos Radio) y la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio). La subcapa RRCM incluye funciones relacionadas solamente al plano de control, mientras que la subcapa MAC contiene funciones relacionadas al plano de control y al plano de datos [1]. La estructura de protocolos pertenecientes al estándar IEEE 802.16m se puede observar en la figura 24.

El grupo funcional RRCM comprende varios bloques funcionales, a continuación se mencionan sus características:

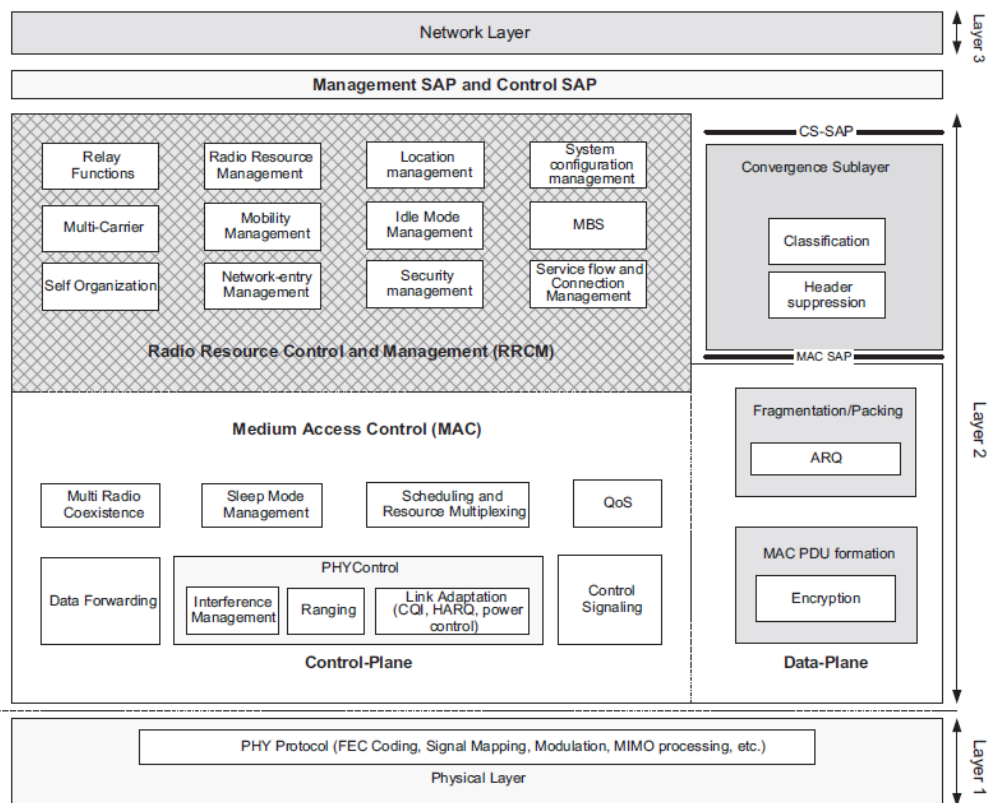


Figura 24. Estructura de protocolos del estándar IEEE 802.16m [1].

- **Gestión de los Recursos Radio.**- ajusta los parámetros de radiocomunicación de la red relacionados con la carga de tráfico, balanceo de la carga, el control de admisión y control de interferencia.
- **Gestión de la Movilidad.**- escanea a las estaciones base cercanas y decide si es que una determinada estación móvil debe realizar o no el procedimiento de Handover.
- **Gestión de Entrada a la Red.**- realiza funciones de gestión y control en los procesos de inicialización y acceso por medio de la generación de mensajes para estos dos procesos.
- **Gestión del Modo Inactivo.**- controla el estado de operación inactivo y genera mensajes de paginación basados en la información proveniente del núcleo de red (Core Network).
- **Gestión de Seguridad.**- establece los códigos de gestión para una comunicación segura. De esta manera se puede realizar la encriptación, des-encriptación y autenticación.

- **Gestión para la Configuración del Sistema.**- gestiona los parámetros de configuración del sistema y genera mensajes de control de broadcast como por ejemplo las cabeceras de las supertramas.
- **Servicios de Multicast y Broadcast (MBS).**- controla y genera mensajes de gestión y datos asociados con los servicios de Multicast y Broadcast.
- **Flujo de Servicio y Gestión de Conexiones.**- aquí se encuentra el Identificador de Estación (STID) y los Identificadores de Flujo (FID), estas dos entidades facilitan los procedimientos de acceso a la red y Handover.

La subcapa MAC dentro del plano de control incluye bloques funcionales que están relacionados con la capa física y controles de enlace. Estos bloques se mencionan a continuación:

- **Control de capa física (PHY).**- realiza la señalización de capa física, verifica la calidad del canal para funciones de medición y realimentación (CQI) y señalizaciones de tipo HARQ, ACK y NACK.
- **Control de señalización.**- genera mensajes de señalización y asignación tales como el protocolo de acceso al medio avanzado, también genera mensajes de señalización de control específico.
- **Gestión del modo sleep.**- se encarga de manejar la operación en modo inactivo o descanso y generar mensajes relacionados a esta operación.
- **Calidad de servicio.**- se encarga de realizar el control de la tasa de datos o bitrate basado en los parámetros QoS de entrada que provienen desde la función de gestión de conexión
- **Scheduling y multiplexación de recursos.**- permite realizar las funciones de scheduling y multiplexación de paquetes basándose en las propiedades de las conexiones.

La subcapa MAC dentro del plano de datos en cambio incluye los siguientes bloques funcionales:

- **Fragmentación y empaquetado.**- permite realizar funciones de fragmentación y empaquetado de las Unidades de Datos de Servicios MAC basados en la información proporcionada desde el bloque de Scheduling y la multiplexación de recursos.
- **Solicitud de Repetición Automática.**- permite realizar la función ARQ dentro del grupo funcional MAC.
- **Unidad de Información de Datos del Protocolo MAC.**- se encarga de construir la PDU perteneciente al grupo funcional MAC.

3.12. CAPA FÍSICA (PHY)

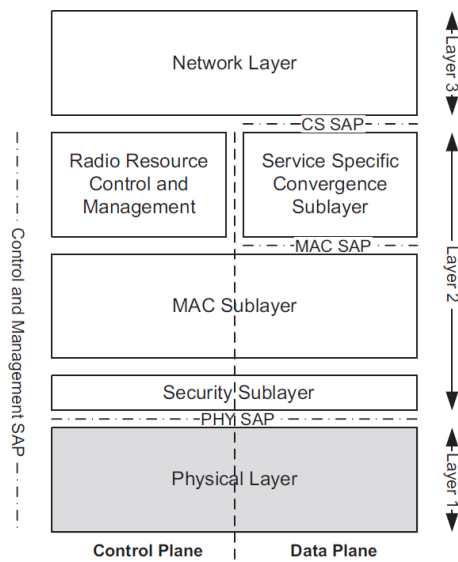


Figura 25. Localización de la capa física dentro del modelo OSI [1].

La capa física (PHY) se trata del nivel más bajo en cuanto al procesamiento de señales en banda base. Esta capa es el medio de comunicación entre la red y el medio físico. La capa física recibe las PDU que provienen de la subcapa MAC y las procesa por medio de la aplicación de técnicas como: codificación de canal, entrelazado, modulación en banda base, codificación multiantena, precodificación y mapeo de antenas [1]. En la figura 25 se puede observar la localización de la capa física dentro del modelo OSI.

Conforme se ha dado a conocer en temas anteriores del presente capítulo, la capa física correspondiente al estándar IEEE 802.16m se encuentra basada en el estándar IEEE

802.16-2009, pero con algunas modificaciones encaminadas a contribuir significativamente con el rendimiento, de esta manera se ha reemplazado ciertos protocolos por procedimientos nuevos y mejorados [1].

El principal criterio utilizado en el diseño de la nueva capa física ha sido el de incrementar las tasas de datos y capacidad del sistema, reducir los tiempos de latencia, soportar una alta movilidad del usuario, minimizar la interferencia inter-celdas e intra-celdas, mejorar la fiabilidad en el control de datos, reducir la complejidad y el *overhead*⁶ de la señal [1].

3.12.1. ESQUEMAS DE MULTIPLEXACIÓN

El estándar IEEE 802.16m utiliza la técnica OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal) tanto para el enlace ascendente (Uplink) como para el enlace descendente (Downlink). Los parámetros OFDMA tienen ciertas similitudes con las versiones anteriores del estándar facilitándose de esta manera la compatibilidad e interoperabilidad entre los nuevos sistemas y los anteriores.

La explicación de los distintos tipos de multiplexación incluyendo la usada en el estándar IEEE 802.16m ya se realizó en el capítulo 2, por tanto no se dará más detalles en el presente capítulo.

3.12.2. ESQUEMAS DE DUPLEXACIÓN

Los tipos de duplexación aplicados a la tecnología Wimax en ya se mencionaron en el capítulo 2 de manera general. Al hablar de duplexación para el estándar IEEE 802.16m, se hace referencia a este término como la comunicación bidireccional entre dos dispositivos.

La Duplexación por División de Tiempo (TDD) se trata de un esquema en donde las transmisiones de Uplink y Downlink ocurren en diferentes tiempos, pero pueden compartir una misma frecuencia. La Duplexación por División de Frecuencia (FDD) en

⁶ Overhead.- dentro de telefonía móvil se refiere a una sobrecarga de la señal.

cambio se trata de un esquema de duplexación en el cual las transmisiones de Uplink y Downlink se producen simultáneamente pero utilizan diferentes frecuencias [1].

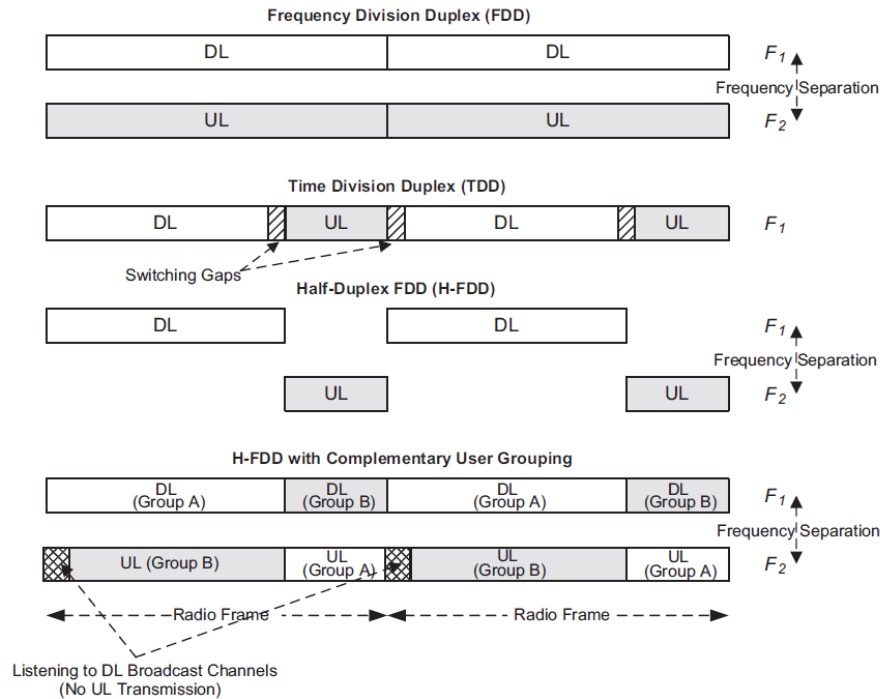


Figura 26. Esquemas de duplexación utilizados en el estándar IEEE 802.16m.

El estándar IEEE 802.16m utiliza los esquemas TDD y FDD con una eficiencia mejorada en el procesamiento de banda base. Con el fin de reducir la complejidad de la implementación y coste de los terminales FDD, así como para aumentar aún más la reutilización de los elementos funcionales en banda base, el estándar también puede soportar una transmisión Half Duplex FDD (H-FDD) en la cual las transmisiones de los enlaces Downlink y Uplink no se producen de manera simultánea pero ocurren en dos frecuencias diferentes [1]. Los esquemas de duplexación se pueden observar en la figura 26.

3.12.3. ESTRUCTURA DE TRAMAS

Las últimas versiones de la tecnología Wimax especifican ciertos tamaños de trama los cuales pueden ir desde los 2 ms hasta 20 ms. En lo que respecta a los sistemas móviles de Wimax solamente soportan un tamaño de trama de 5 ms. Con el fin de satisfacer los requerimientos de tiempos de latencia más cortos en el medio físico, el estándar IEEE

802.16m ha modificado la estructura de trama establecida en legados anteriores del estándar [1].

Las modificaciones se centran en disminuir los intervalos de transmisión y acelerar las retransmisiones de los protocolos HARQ, de esta manera nacen los términos “supertrama” y “cabecera de supertrama”. La modificación de la estructura de tramas también permite superar ciertas limitaciones como mejorar la selección de celda cuando la relación de señal a ruido (SINR) presenta valores muy bajos, esto permite reducir la sobrecarga del sistema y los tiempos de latencia [1].

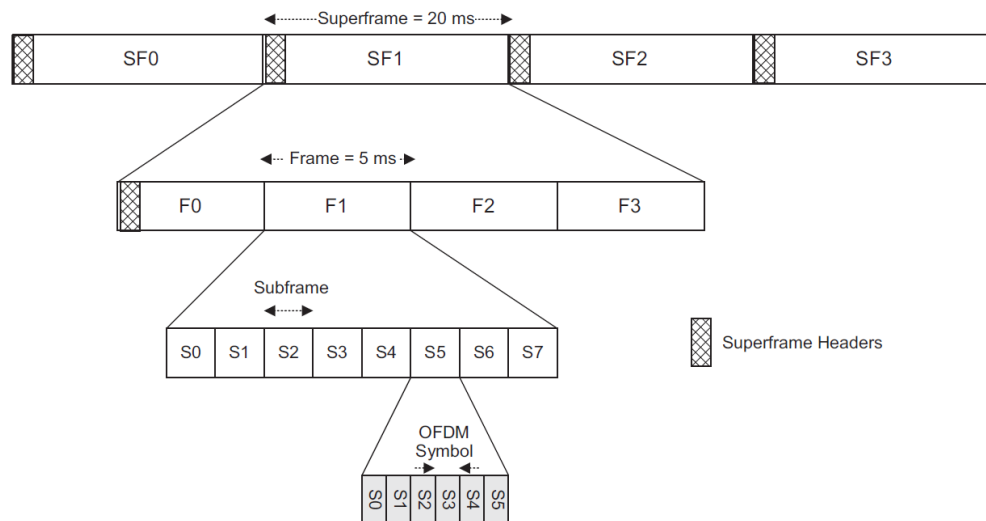


Figura 27. Estructura básica de tramas del estándar IEEE 802.16m [1].

Una supertrama se define como un conjunto de cuatro tramas con tamaños iguales y consecutivos, cada supertrama por ejemplo tendrá un tamaño de 20 ms. Una supertrama contiene una Cabecera Primaria de Supertrama (P-SFH) y una Cabecera Secundaria de Supertrama (S-SFH). En la figura 27 se puede observar la estructura básica de tramas utilizadas en el estándar IEEE 802.16m, aquí se observa también a las tramas que se derivan de una supertrama, cada trama tendrá por lo tanto un tamaño de 5 ms [1].

Cada trama se encuentra conformada por varias subtramas. El número de subtramas varía dependiendo del tamaño de prefijo cíclico, el número de símbolos OFDM disponibles por trama, y el ancho de banda de transmisión. Así mismo una subtrama se

asigna ya sea para el enlace Uplink o Downlink dependiendo del método de duplexación utilizado.

3.12.4. TÉCNICA DE MÚLTIPLES ENTRADAS Y MÚLTIPLES SALIDAS (MIMO)

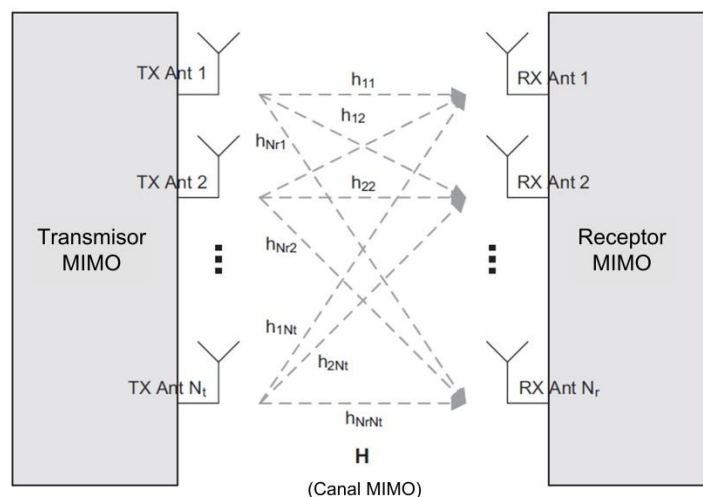


Figura 28. Principio de funcionamiento general de un sistema MIMO.

La técnica MIMO (Múltiples entradas-Múltiples salidas) presenta múltiples antenas tanto en los extremos de transmisión como de recepción con el fin de obtener altas tasas de datos y una calidad de transmisión, en la figura 28 se observa el principio general de funcionamiento de un sistema MIMO. Estas técnicas permiten proveer servicios de acceso inalámbrico de banda ancha con la funcionalidad sin línea de vista. Las técnicas MIMO toman ventajas de las propiedades de un entorno de múltiples caminos usando estaciones base que no tienen línea de vista. En este entorno, las señales de radio rebotan en los edificios, árboles y otros objetos en el viaje entre las dos antenas. Este efecto rebote produce múltiples ecos o imágenes de la señal [1].

Como resultado de los múltiples rebotes, la señal original y cada eco llegan a la antena receptora con una pequeña diferencia de tiempo causando los ecos, degradando la calidad de señal. El sistema MIMO usa múltiples antenas para simultáneamente transmitir datos, en pequeños pedazos hacia el receptor, el cual puede procesar el flujo de datos para reconstruirlos. Este proceso llamado multiplexación espacial, incrementa

proporcionalmente la velocidad de transmisión por un factor igual al número de antenas de transmisión [1].

3.13. LA SUBCAPA DE PARTE COMÚN (MAC CPS)

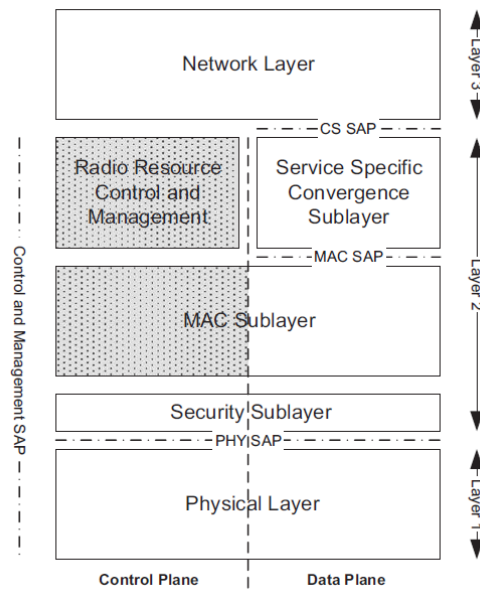


Figura 29. Funciones de la subcapa MAC CPS dentro del plano de control [1].

La Subcapa de Parte Común (MAC CPS) se encarga de proveer una interfaz de comunicación entre la capa física (PHY) y la capa de red, esto se puede apreciar en la figura 29. La MAC CPS se clasifica en: Gestión y Control de los Recursos Radio (RRCM) y la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC). Las funciones del bloque RRCM residen totalmente en el plano de control, mientras que las funciones de la subcapa MAC residen tanto en el plano de control como en el plano de datos. No se requiere una interfaz específica entre la subcapa MAC y el bloque RRCM [1].

El bloque RRCM incluye las siguientes funciones:

- Gestión de los Recursos Radio (RRM).
- Gestión de la movilidad.
- Gestión del ingreso de red.
- Gestión de localización.

- Gestión del modo inactivo.
- Gestión de seguridad.
- Gestión de configuración del sistema.
- Multicast mejorado y servicio de broadcast.
- Flujo de servicio y gestión de la conexión.
- Funciones relay.
- Auto-organización.
- Operación multiportadora.

Las funciones de la subcapa MAC pertenecientes al plano de control son las siguientes:

- Control de la capa física (PHY).
- Control de señalización.
- Gestión del modo sleep.
- La calidad de servicio (QoS).
- Scheduling y multiplexación de recursos.
- Coexistencia Multiradio.
- Reenvío de datos.
- Gestión de la interferencia.
- Coordinación de la comunicación entre estaciones base.

Las funciones de la subcapa MAC pertenecientes al plano de datos son las siguientes:

- Fragmentación y empaquetado de las MAC SDU.
- La función ARQ.
- La formación de las PDU MAC.

3.13.1. LA CALIDAD DEL SERVICIO (QoS)

La calidad de servicio QoS en redes IP se trata de un conjunto de normas y mecanismos para asegurar una alta calidad y rendimiento para aplicaciones de usuario. Mediante el aseguramiento de una buena calidad de servicio, los administradores de redes y

operadores de telefonía móvil pueden usar los recursos existentes de manera más eficiente y garantizar el nivel de servicio requerido sin tener necesariamente que expandir sus redes. La tabla 13 muestra las clases de servicio típico y sus características [1].

Tabla 13. Clases de servicio y sus características [1].

CLASE DE SERVICIO	REQTO. DE RETARDO	BIT RATE	MÁRG. DE BER	CASOS DE USO
Punto a MTP, MTP a MTP, MTP a punto, alta interactividad	<20 ms	1-20 Mbps	$10^{-9} < \text{BER} < 10^{-6}$	Videoconferencia, juegos en tiempo real y transmisión de video en tiempo real.
Asimétrico, interactivo, tasa de datos reducida.	20-100 ms	8-512 Kbps	$10^{-9} < \text{BER} < 10^{-6}$	Sensores de control remoto, mapas geográficos interactivos.
Punto a MTP, MTP a MTP, MTP a punto; alta tasa de interactividad	20-100 ms	1-50 Mbps	$10^{-6} < \text{BER} < 10^{-3}$	Llamadas de datos, transmisión de video, videoconferencia de alta calidad.
Conversacional	100-200 ms	8-512 Kbps	$\text{BER} < 10^{-3}$	Llamadas de voz, mensajes instantáneos, juegos multijugador, streaming de audio, videotelefonía, juegos multijugador.
Conversacional, calidad de servicio simétrica.	100-200 ms	1-50 Mbps	$10^{-6} < \text{BER} < 10^{-3}$	Videotelefonía de alta calidad, acceso a bases de datos, archivos de sistema.
PTP unidireccional (UL o DL), asimétrico, tolerancia de retardo.	>200 ms	8 Kbps-50 Mbps	$10^{-9} < \text{BER} < 10^{-6}$	Mensajes (voz, datos y multimedia), navegación web, audio bajo demanda, radio por internet, acceso a bases de datos, descarga y subida de video, uso compartido de archivos.

Al hablar del concepto tradicional de calidad en una red entre ordenadores, se refiere a que toda la información enviada recibe el mismo trato. El resultado es que todo el tráfico de red ha recibido el “mejor esfuerzo” al ser transmitido, sin tomar en cuenta aspectos como: la fiabilidad, retardos, variación de retardos y otras características de rendimiento. Con el procedimiento del mejor esfuerzo para una aplicación que requiere un ancho de banda individual este puede resultar con un funcionamiento inadecuado o inaceptable [1].

La calidad de servicio se trata de un concepto en el cual los requisitos de servicio de algunas aplicaciones de usuario son más críticas que otras, por tanto requieren un manejo preferencial de tráfico. El objetivo de la QoS es el de proveer una entrega de servicio preferencial para las aplicaciones que lo necesiten y de esta manera asegurar un ancho de banda suficiente y un control de latencia, reduciendo de esta manera la pérdida de datos [1].

3.14. RENDIMIENTO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m

El IMT-Advanced establece varios entornos de prueba sobre los cuales deben someterse las tecnologías inalámbricas antes de ser catalogadas como de cuarta generación. Estos ambientes son los siguientes: modelo de prueba para ambientes interiores (InH), modelo de prueba para ambientes urbanos con alta densidad de usuarios (UMi), modelo de prueba para ambientes urbanos con amplia cobertura (UMa) y finalmente el modelo de prueba para ambientes rurales (RMa) [1].

A continuación se realizará una explicación detallada de cada uno de los entornos de evaluación del estándar IEEE 802.16m.

- **Modelo de prueba para ambientes interiores (InH).**- se trata de un modelo de prueba definido para microceldas instaladas dentro de oficinas o en puntos de acceso para usuarios fijos y peatonales. Toma en cuenta la alta densidad de usuarios dentro de las edificaciones así como la carga de tráfico existente.

- **Modelo de prueba para ambientes urbanos con alta densidad de usuarios (UMi).**- se trata de un modelo de prueba definido para microceldas con una alta densidad de usuarios típico de centrales urbanas y pequeñas áreas urbanas densamente pobladas.

La característica clave de este entorno de prueba es la alta carga de tráfico así como la cobertura al aire libre. La interferencia en este caso es limitada. Los puntos de acceso se encuentran ubicados a baja altura y normalmente existe línea de vista con el usuario.

- **Modelo de prueba para ambientes urbanos con amplia cobertura (UMa).**- se trata de un modelo de prueba definido para usuarios peatonales y usuarios a velocidades vehiculares. La cobertura se basa en macroceldas y puntos de acceso ubicados sobre edificaciones mientras los usuarios se encuentran a nivel del suelo. La cobertura debe ser continua y ubicua⁷. Se considera que no siempre existe línea de vista entre el usuario y el punto de acceso.
- **Modelo de prueba para ambientes rurales (RMa).**- se trata de un modelo de prueba definido para macroceldas en áreas donde los usuarios se desplazan a grandes velocidades. Contrario a los modelos anteriores, la densidad de usuarios es baja y se encuentran distribuidos dentro de toda el área. La cobertura debe ser continua y en áreas extensas.

3.14.1. EFICIENCIA ESPECTRAL DE CELDA Y EFICIENCIA ESPECTRAL DEL USUARIO EN EL BORDE DE CELDA

La Eficiencia Espectral de Celda se define como el rendimiento agregado de todos los usuarios, es decir, el número de bits recibidos correctamente y entregados a las capas superiores durante un cierto período de tiempo, dividido por el ancho de banda y dividido por el número de celdas. La eficiencia espectral se expresa en bits/s/Hz/celda [1].

⁷ Ubicuidad.- capacidad de estar presente en todas partes al mismo tiempo.

La Eficiencia Espectral del Usuario en el Borde de Celda se define como el rendimiento promedio del usuario, es decir, el número de bits recibidos correctamente por los usuarios y entregados a las capas superiores durante un período de tiempo, dividido por el ancho de banda de canal y se expresa en bits/s/Hz [1].

Tabla 14. Eficiencia espectral de celda y la eficiencia espectral del usuario en el borde de celda [1].

REQUERIMIENTOS	DUPLEXACIÓN	DL/UL	AMBIENTES DE PRUEBA			
			InH	UMi	UMa	RMa
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	TDD	DL	6,93	3,22	2,41	3,23
Requerimiento ITU-R			3,0	2,6	2,2	1,1
Eficiencia espectral del usuario en el borde de celda (bits/s/Hz)			0,260	0,092	0,069	0,093
Requerimiento ITU-R			0,1	0,075	0,06	0,04
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	FDD		6,87	3,27	2,41	3,15
Requerimiento ITU-R			3,0	2,6	2,2	1,1
Eficiencia espectral del usuario en el borde de celda (bits/s/Hz)			0,253	0,097	0,069	0,091
Requerimiento ITU-R			0,1	0,075	0,06	0,04
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	TDD	UL	5,99	2,58	2,57	2,66
Requerimiento ITU-R			2,25	1,8	1,4	0,7
Eficiencia espectral del usuario en el borde de celda (bits/s/Hz)			0,426	0,111	0,109	0,119
Requerimiento ITU-R			0,07	0,05	0,03	0,015
Eficiencia espectral de celda (bits/s/Hz/celda)	FDD		6,23	2,72	2,69	2,77
Requerimiento ITU-R			2,25	1,8	1,4	0,7
Eficiencia espectral del usuario en el borde de celda (bits/s/Hz)			0,444	0,119	0,114	0,124
Requerimiento ITU-R			0,07	0,05	0,03	0,015

En la tabla 14 se indica la eficiencia espectral de celda y la eficiencia espectral del usuario en el borde de celda. Es totalmente visible que el estándar IEEE 802.16m excede los requerimientos establecidos en el IMT-Advanced por un largo margen.

3.15. BANDAS DE FRECUENCIA

La ITU-R requiere que los sistemas IMT soporten un ancho de banda escalable de hasta 100 MHz por medio de la agregación de bandas de frecuencia más pequeñas. Las nuevas tecnologías de banda ancha móvil deben operar en las bandas IMT designadas por la ITU-R para la operación de la tercera y cuarta generación de telefonía móvil.

Las clases de bandas especificados por el Wimax Forum permiten el despliegue del estándar IEEE 802.16m para las bandas mundialmente designadas como IMT y para los esquemas de multiplexación TDD y FDD [1]. En la tabla 15 se muestran las principales bandas de frecuencia para el estándar IEEE 802.16m.

Tabla 15. Bandas de frecuencia para el estándar IEEE 802.16m [1].

CLASE DE BANDA	FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN (MHz)	FRECUENCIA DE RECEPCIÓN (MHz)	MODO DE DUPLEXACIÓN
1	2300-2400	2300-2400	TDD
2	2305-2320, 2345-2360	2305-2320, 2345-2360	TDD
3	2496-2690	2496-2690	TDD
4	3300-3400	3300-3400	TDD
5L	3400-3600	3400-3600	TDD
5H	3600-3800	3600-3800	TDD
6	1710-1770	2110-2170	FDD
7	698-862	698-862	TDD
8	1785-1805, 1880-1920, 1910-1930, 2010-2025, 1900-1920	1785-1805, 1880-1920, 1910-1930, 2010-2025, 1900-1920	TDD
9	450-470	450-470	TDD

3.16. PRESUPUESTO DE ENLACE

Las prestaciones del estándar IEEE 802.16m permiten establecer un presupuesto de enlace tomando en cuenta los entornos de evaluación anteriormente descritos. El reporte ITU-R M.2135-1 provee una metodología y parámetros comunes para calcular el presupuesto de enlace desde el transmisor hasta el receptor [1].

Tabla 16. Presupuesto de enlace para el estándar IEEE 802.16m [1].

PARÁMETRO	InH		UMi		UMa		RMa	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA								
Portadora de frecuencia (GHz)	3,4	3,4	2,5	2,5	2	2	0,8	0,8
Altura de antenas en la BS (m)	6	6	10	10	25	25	35	35
Altura de antenas en la MS (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
TRANSMISIÓN								
Número de antenas de Tx	4	2	4	2	4	2	4	2
Potencia máxima de transmisión por antena (dBm)	18	18	38	21	43	21	43	21
Potencia total de transmisión (dBm)	24	21	44	24	49	24	49	24
Ganancia de las antenas (dBi)	0	0	17	0	17	0	17	0
Pérdidas por cables y conectores (dB)	3	1	3	1	3	1	3	1
RECEPCIÓN								
Número de antenas de Rx	2	4	2	4	2	4	2	4
Ganancia de las antenas (dBi)	0	0	0	17	0	17	0	17
Pérdidas por cables y conectores (dB)	1	3	1	3	1	3	1	3
Ancho de banda del canal ocupado (MHz)	37,81	3,15	18,90	0,79	18,90	0,79	18,90	0,79

Existen también algunas suposiciones bajo las cuales la ITU-R ha realizado los cálculos para el presupuesto de enlace. Dentro de estas suposiciones se menciona:

- En la estación base (BS) existen cuatro antenas tanto en el transmisor como el receptor.
- En la estación móvil (MS) existen dos antenas tanto en el transmisor como el receptor.
- El esquema de modulación y codificación utilizado es QPSK.

En la tabla 16 se indica el presupuesto de enlace para el estándar IEEE 802.16m desde la transmisión hasta la recepción y para el modo de duplexación TDD.

3.17. COMPARACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO INALÁMBRICO DE BANDA ANCHA

El estándar IEEE 802.16m forma parte de una extensa gama de tecnologías de Banda Ancha Inalámbrica, en el capítulo 1 se estableció los tipos de redes inalámbricas de acuerdo a su área de cobertura las cuales van desde redes de área personal (PAN) hasta redes de área amplia (WAN). Siguiendo esta línea se puede hacer una comparación de tecnologías inalámbricas de banda ancha estandarizadas por distintos organismos y que tienen un amplio uso en el mercado de las telecomunicaciones.

En la tabla 17 se hace un análisis comparativo de la tecnología Wimax frente a tecnologías como HSPA, CDMA y Wi-Fi.

Tabla 17. Comparación del estándar IEEE 802.16m con otras tecnologías de acceso inalámbrico [2].

	HSPA	CDMA 2000 1xEV-DO Rev A	WI-FI	IEEE 802.16m
Estandarización	3GPP release 6	3GPP2	IEEE 802.11 a/b/g/n	IEEE 802.16m
Frecuencias de operación	800/900/1800/1900/2100 MHz	800/900/1800/1900 MHz	2,4 GHz y 5 GHz	Bandas IMT (MHz) 450–470 698–960 1710–2025 2110–2200 2300–2400 2500–2690 3400–3600
Modulación	QPSK, 16 QAM	QPSK, 8 PSK, 16 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Tasa de datos pico para la descarga	14.4 Mbps usando 15 códigos; 7,2 Mbps usando 10 códigos	3,1 Mbps; la revisión B soportará 4.9 Mbps	54 Mbps compartidos usando el estándar 802.11 a/g;	Hasta 300 Mbps/20 MHz; 15 bps/Hz (4×4)
Tasa de datos pico para la subida	1,4 Mbps inicialmente; 5,8 Mbps después	1,8 Mbps	Más de 100 Mbps usando el estándar 802.11n	Hasta 135 Mbps/20 MHz; 6,75 bps/Hz (2×2)
Multiplexación	TDM/CDMA	TDM/CDMA	CSMA	OFDMA
Duplexación	FDD	FDD	TDD	TDD/FDD/ H-FDD
Bandas de operación	5 MHz	1,25 MHz	20 MHz para el 802.11 a/g; 20/40 MHz para el 802.11n	5 MHz a 20 MHz (hasta 100 MHz con agregación de bandas)
Rango de cobertura	2 a 5 Km	2 a 5 Km	< a 30m en interiores < a 300m en exteriores	Óptimo 5 Km, conectividad hasta 100 Km
Movilidad	Alta	Alta	Baja	Alta

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

CAPÍTULO 4

“FACTIBILIDAD LEGAL Y ESTUDIO DE MERCADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m”

4.1. MARCO REGULATORIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m

Actualmente en el Ecuador para que una nueva tecnología pueda ser implementada se debe tomar en cuenta la posibilidad de que esto suceda en primera instancia desde el punto de vista legal, y dentro de esto la licitación de bandas de frecuencia en las cuales pueda operar esta tecnología. Para ello primeramente se hará una breve introducción referente a los organismos encargados de la administración y control de las telecomunicaciones.

Por medio de la Ley Especial de Telecomunicaciones publicada en el año de 1992 se crea la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL). Posteriormente, en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicada el 30 de agosto de 1995 se crea el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL). A cargo de estas dos entidades pasaron ciertas funciones realizadas antes por la SUPERTEL, de esta manera se les asigna la función de realizar la interacción en representación del Estado con los operadores de telefonía móvil.

En cambio la SUPERTEL pasó a ser un ente de control de los operadores que explotan servicios de telecomunicaciones, y para el control y monitoreo del espectro radioeléctrico [9]. Mediante decreto ejecutivo N°8 firmado por el presidente de la república Econ. Rafael Correa Delgado el 13 de agosto del 2009, se crea el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL).

4.1.1. ESTRUCTURA DE LOS ORGANISMOS DE REGULACIÓN

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información tiene como misión: *“Ser el órgano rector del desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el Ecuador, que emite políticas, planes generales y realiza el seguimiento y evaluación de su implementación, coordinando acciones de asesoría y apoyo para garantizar el acceso igualitario a los servicios y promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el desarrollo armónico de la sociedad de la información para el buen vivir de toda la población.”* [9]

El MINTEL así mismo tiene como función principal ser el administrador de todas las entidades e instituciones estatales encargadas del control, manejo y de prestación de servicios de telecomunicaciones. Las entidades estatales administradas por el MINTEL son:

- **El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL)**
Tiene como función principal establecer el direccionamiento correcto de las telecomunicaciones por medio de resoluciones y políticas orientadas a este fin.
- **La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL)**
Se encarga esencialmente de ejecutar las políticas y resoluciones establecidas por el CONATEL en todo el país.
- **La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL)**
Básicamente se caracteriza por ser un organismo autónomo que realiza el control de las telecomunicaciones en todo el país.

4.1.2. EL PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS (PNF)

El Plan Nacional de Frecuencias (PNF) se trata de un documento que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano. En materia de administración del espectro establece la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios de

radiocomunicaciones tales como Fijo, Móvil, Fijo por Satélite, Móvil por Satélite, Móvil Aeronáutico, Móvil Marítimo y Radiodifusión [29].

El avance tecnológico que ha traído consigo el desarrollo de sofisticadas aplicaciones, contenidos interactivos y audiovisuales, el acceso a redes sociales y la implementación de portales para el desarrollo de diversas aplicaciones como la telemedicina, el comercio electrónico y la teleeducación. Esto ha conllevado un incremento sustancial en el requerimiento de ancho de banda y consecuentemente desemboca en una mayor demanda de acceso al espectro radioeléctrico [29].

En vista de esto, se ha visto la necesidad de elaborar un documento en el cual se considere la necesidad de destinar bandas de frecuencia para la introducción de nuevas tecnologías y servicios tales como los Sistemas IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) y la Televisión Digital Terrestre (TDT) [29].

Tomando en cuenta estos hechos, el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) en uso de sus atribuciones establecidas en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformatoria, aprobó mediante Resolución No. TEL-391-15-CONATEL-2012 del 4 de julio de 2012 las modificaciones del Plan Nacional de Frecuencias (PNF) que fue publicado inicialmente en septiembre de 2008 [29].

Es muy importante tener en cuenta que el Ecuador no regula tecnologías, sino que regula servicios los cuales deben estar acorde a la normativa del PNF. El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) mediante la Resolución TEL-268-11-CONATEL-2012 del 15 de mayo del 2012, aprobó la modificación del cuadro de frecuencias del PNF correspondientes al rango desde los 698 MHz hasta los 806 MHz, a fin de que en este rango operen los sistemas IMT [28].

La modificación del Plan Nacional de frecuencias correspondiente al rango de 698 a 806 MHz se puede observar en la figura 30.

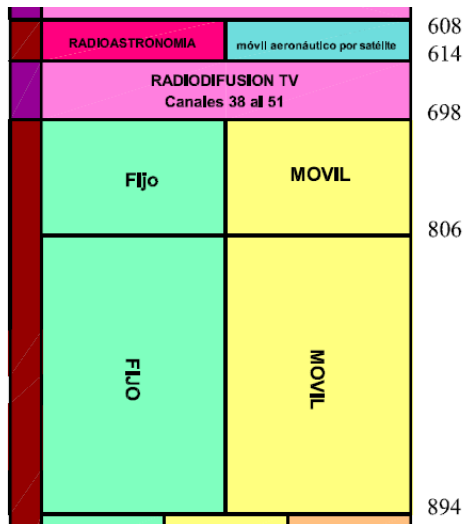


Figura 30. Uso de bandas de frecuencia desde 698 MHz hasta 806 MHz.

En la Resolución TEL-268-11-CONATEL-2012 también se establece que, a más de realizarse la modificación antes mencionada, las bandas hasta ahora utilizadas para servicios de aplicaciones móviles y fijas también podrán ser utilizadas para que operen los sistemas IMT, estas bandas son: 824-849 MHz, 869-894 MHz, 1710-2025 MHz, 2110-2200 MHz y 2500-2690 MHz [28].

4.1.3. EL ESTÁNDAR IEEE 802.16m Y LA FRECUENCIA DE LOS 3.5 GHz

De acuerdo a las especificaciones técnicas dadas a conocer por el grupo de trabajo “IEEE 802.16 Task Group m (TGm)” encargado del desarrollo del estándar IEEE 802.16m, toma como referencia las recomendaciones especificadas por el sector de radiocomunicaciones de la ITU también denominado ITU-R en donde se establece que de acuerdo a la recomendación ITU-R M.1036-4 las bandas de frecuencia asignables para el estándar IEEE 802.16m están en el rango desde los 450 MHz hasta los 3600 MHz [1].

En los actuales momentos la frecuencia de los 3,5 GHz constituye también un pilar fundamental al momento de implementar servicios de banda ancha fija y portable. Tomando en cuenta las características del estándar IEEE 802.16m se lo puede catalogar como un sistema FWA (Acceso Inalámbrico Fijo), dicha tecnología se trata de sistemas

de radiocomunicación usados para la provisión de enlaces de última milla hacia usuarios finales de una red fija de telecomunicaciones.

De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias (PNF), se establece que en la banda de frecuencia comprendida entre los 3500 MHz y 3700 MHz se puede utilizar para ofrecer servicios FIJO a título primario y MOVIL a título secundario [29]. El rango de frecuencias comprendido entre los 3500 MHz y 3700 MHz se observa en la figura 31.

<p>3500 - 3700 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización 5.433 MÓVIL 5.440A</p>	<p>3500 - 3700 FIJO MÓVIL 5.440A</p>	<p>3500-3700 EQA.60: FIJO (FWA)</p>
---	---	---

Figura 31. Rango de frecuencia comprendido entre los 3500 MHz y 3700 MHz [28].

En esta parte es importante indicar que para el uso del espectro se tiene dos tipos de títulos, estos son: título primario y título secundario [11].

- En el título primario se le garantiza al beneficiario, es decir, a quien se le otorga la concesión el uso sin interferencias y la disponibilidad de dicha banda.
- El título secundario en cambio autoriza al o los beneficiarios sin concesión a emplear una banda de frecuencia sin tener garantizada la interferencia por parte de otros sistemas, con la restricción de que en caso de haber interferencia por parte de uno de estos al beneficiario, deberán apagar sus equipos inmediatamente.

Las notas 5.440A y EQA.60 expresan lo siguiente:

- Nota 5.440A: en la Región 2 (salvo Brasil, Cuba, departamentos y colectividades franceses de Ultramar, Guatemala, Paraguay, Uruguay y Venezuela) y en Australia, la banda 4400-4940 MHz puede utilizarse para la telemedida móvil aeronáutica para pruebas en vuelo con estaciones de aeronaves (véase el número 1.83). Esta utilización ha de ser conforme a la Resolución 416

(CMR-07) y no podrá causar interferencia perjudicial a los servicios fijo y fijo por satélite ni reclamar protección contra los mismos. Dicha utilización no impide que estas bandas sean utilizadas por otras aplicaciones del servicio móvil o por otros servicios a los que estas bandas se han atribuido a título primario con igualdad de derechos y no establece ninguna prioridad en el Reglamento de Radiocomunicaciones. (CMR-07) [29].

- Nota EQA.60: En las bandas 452,5–457,4 MHz y 462,5–467,4 MHz; también operan sistemas FWA (Fixed Wireless Access) en zonas con baja densidad de servicios de telecomunicaciones para el servicio FIJO. En las bandas 479–483,4 MHz y 489–492,9 MHz, también operan sistemas FWA (Fixed Wireless Access) para el servicio Fijo en el Cantón Cuenca. La banda 3400–3700 MHz está utilizada por el servicio FIJO para la operación de sistemas FWA (Fixed Wireless Access) [29].

Tomando en cuenta que en el Ecuador solo se regula servicios de telecomunicaciones más no tecnologías como tal, aun no se ha definido las políticas específicas con respecto al uso del espectro radioeléctrico y que permita la operación del estándar IEEE 802.16m en toda su plenitud dentro de la banda de frecuencia de los 3500 MHz hasta los 3700 MHz. Tampoco se ha realizado un análisis de bandas en el PNF para determinar la más apropiada para el funcionamiento de esta nueva tecnología [8].

Tabla 18. Segmentación de la banda 3400-3700 MHz [8].

BLOQUE	BANDA (MHz)	BLOQUE	BANDA (MHz)
A	3400-3425	A'	3500-3525
B	3425-3450	B'	3525-3550
C	3450-3475	C'	3550-3575
D	3475-3500	D'	3575-3600
E	3600-3625	E'	3650-3675
F	3625-3650	F'	3675-3700

Actualmente el PNF solamente considera los servicios basados en el estándar IEEE 802.16d-2004 dentro de la banda de 3400 MHz a 3700 MHz y para la operación de sistemas FWA (Acceso Inalámbrico Fijo). La tabla 18 muestra la segmentación de la

banda de frecuencia de 3400-3700 MHz asignada para sistemas de acceso inalámbrico mediante la resolución 393-18-CONATEL-2000, del 28 de septiembre del 2000.

Actualmente en el Ecuador existen implementaciones basadas en el estándar IEEE 802.16d-2004 por parte del Grupo TVCABLE y la CNT E.P. En términos de regulación la situación del estándar IEEE 802.16m se encuentra un poco limitada debido a que no se podría ofrecer movilidad en las bandas mencionadas en la tabla 18, pero hay que tomar en cuenta que dicho estándar es nuevo y puede proporcionar soluciones no solo de tipo FIJO, sino también de tipo PORTABLE y MÓVIL. Por tal motivo se puede ofrecer otro tipo de soluciones hasta que exista una nueva revisión de frecuencias.

Se puede decir entonces con mucha certeza que las bases para el funcionamiento del estándar IEEE 802.16m ya se encuentran establecidas, solamente se necesitaría especificar las políticas y reglamentaciones para su aplicabilidad. Otro factor importante a tomar en cuenta con respecto a la tecnología Wimax son los fabricantes. La frecuencia más utilizada para la fabricación de dispositivos de esta tecnología y que también se utilizará para determinar la factibilidad del estándar IEEE 802.16m en el presente proyecto es la banda desde los 3400 MHz hasta los 3700 MHz.

Así mismo se tomará como ejemplo a la empresa pública ETAPA E.P la cual suscribió el 21 de Diciembre del 2010 un contrato de concesión para el sub-bloque D1 (3475 MHz-3485.75 MHz) y D1' (3575 MHz-3585 MHz) con el objetivo de brindar el servicio de banda ancha para el área urbana del cantón Cuenca utilizando la tecnología Wimax, esto se encuentra estipulado en la resolución TEL-815-27-CONATEL-2010 [8].

4.2. ESTUDIO DE MERCADO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m

Un estudio de mercado consiste en un conjunto de ideas e iniciativas que tienen el objetivo de demostrar la viabilidad comercial de una actividad económica determinada. Tomando en cuenta que el presente proyecto tiene como objetivo principal determinar la factibilidad para la implementación del estándar IEEE 802.16m en el Ecuador, se ha

decidido reducir el área de análisis y plantear el diseño de una red Wimax para un prestador de servicios de internet aplicado solamente para la ciudad de Loja.

El análisis realizado para la ciudad de Loja permite establecer los requerimientos necesarios para implementar esta tecnología en otras ciudades del país tomando en cuenta que la reglamentación legal y comercial para la implementación de dicha tecnología se aplica de manera general en todo el país.

4.2.1. PENETRACIÓN DE LA BANDA ANCHA EN LATINOAMÉRICA

Uno de los servicios que en la actualidad tiene bastante demanda por parte de usuarios residenciales y comerciales es el acceso a internet de banda ancha. La Banda Ancha en general se entiende como aquella tecnología de acceso dedicado a internet que permite la transferencia de datos a alta velocidad. En Ecuador las empresas que brindan servicios de internet comercializan como Banda Ancha a las velocidades a partir desde los 256 Kbps [6].

Los modos de acceder a la Banda Ancha son a través de acceso fijo, portable o nómada y móvil. En el caso de banda ancha fija, se trata de un servicio prestado a través de varias tecnologías como: línea telefónica (DSL), cable módem, fibra óptica, inalámbrico, satelital y por la línea eléctrica (BPL). La Banda Ancha de tipo portable, se define como un servicio que incluye la adquisición de un módem (también denominado módem USB) y que permite a una computadora conectarse a internet. La Banda Ancha móvil en cambio permite el acceso a internet por medio de un Smartphone o Tablet [6].

A nivel de Latinoamérica existen algunos indicadores que demuestran el estado actual de la banda ancha y el acceso a internet. A nivel de esta región solamente el 40% de los habitantes es usuario de internet, mientras que en el conjunto de países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), los usuarios con acceso a internet son casi del 80% [6]. En lo que respecta a Ecuador hasta el 2011 el porcentaje de acceso a internet fue solamente un poco superior al 30%, esto se puede observar en la figura 32.

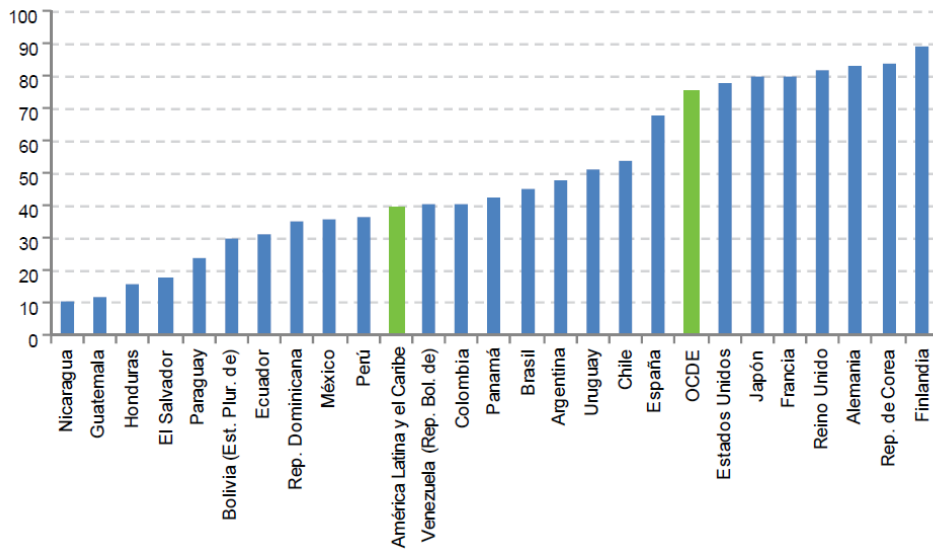


Figura 32. Acceso de los usuarios a internet en el 2011 en Latinoamérica (expresado en porcentajes) [6].

La brecha económica también refleja un problema de asequibilidad, es decir, las conexiones de banda ancha son muy caras para el nivel de ingreso de los hogares. En la figura 33 se presenta un indicador que expresa la tarifa de banda ancha fija de 1 Mbps como porcentaje del PIB (Producto Interno Bruto) per cápita. Ecuador figura dentro de los países con el acceso a internet fijo más caro de Sudamérica [6].

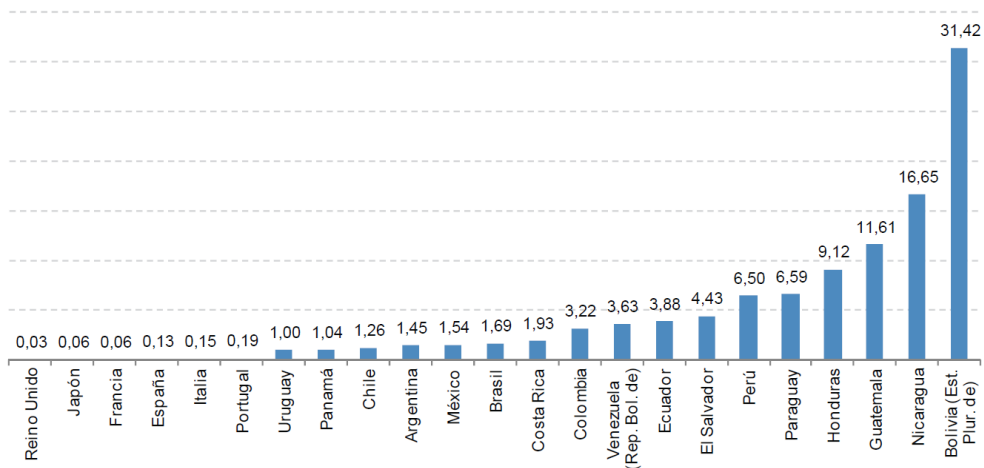


Figura 33. Tarifas de banda ancha móvil en relación al PIB per cápita en el 2012 (expresado en porcentajes) [6].

Tomando en cuenta los datos estadísticos aquí presentados, se ve como una necesidad el disminuir esta brecha tecnológica de tal manera que el acceso a la banda ancha fija y móvil aumente cada año. Por tanto la implementación de una nueva tecnología que permita brindar servicios de banda ancha, con una mayor cobertura y cuyo costo sea asequible a los usuarios podría ser una solución a largo plazo.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE POTENCIALES CLIENTES

Dentro de los objetivos del presente proyecto de tesis se encuentra el análisis del escenario en el cual se va a aplicar el estándar IEEE 802.16m por esta razón se hace necesario tener una visión clara acerca de los posibles consumidores de esta tecnología así como las preferencias de servicios.

El estudio de mercado será realizado en la ciudad de Loja debido principalmente a la facilidad en la recolección de la información, además representa un ejemplo que puede ser aplicado en otros entornos. El estudio de mercado radica en identificar los requerimientos de servicios establecidos por los consumidores y de esta manera crear el perfil del cliente idóneo para hacer uso del estándar IEEE 802.16m. Además de esto se podrá tener información respecto a los siguientes puntos:

- Ubicación del domicilio y lugar de trabajo, esto permite determinar los sectores en los cuales existe mayor concentración de población.
- Acceso al servicio de internet por cualquier forma.
- Valoración por parte del usuario hacia un servicio de valor agregado.
- Acceso a aplicaciones por medio del servicio de internet.
- La aceptación del precio a pagar por los servicios que se implemente para de esta manera diseñar una estrategia comercial.

4.2.3. ENCUESTA PARA DETERMINAR EL ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET

Como se menciona anteriormente el estudio de mercado para la implementación del estándar IEEE 802.16m se lo realiza en la ciudad de Loja. Para este efecto se diseña una

encuesta orientada a determinar el grado de acceso al servicio de internet, calidad de servicio, uso de aplicaciones y la posibilidad de pago por los servicios ofrecidos (Ver *anexo A.1 y A.2*).

La encuesta se encuentra dirigida a la población en general de los diversos sectores de la sociedad. Uno de los objetivos también es determinar los sectores de la ciudad de Loja en los cuales se concentra la mayor cantidad de población ya sea en sus viviendas o lugares de trabajo.

La encuesta se realizó de manera indistinta a un total de 102 personas. Los resultados se muestran a continuación:

- **Pregunta 1: Seleccione la parroquia en la cual se encuentra su domicilio.**

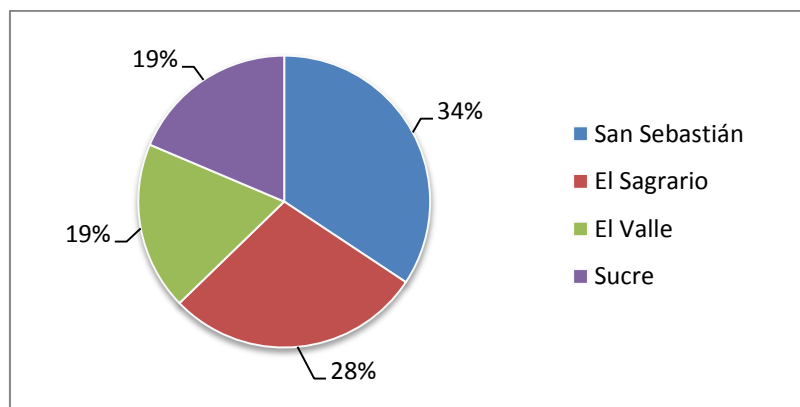


Figura 34. Ubicación del domicilio de los encuestados.

- **Pregunta 2. Seleccione la parroquia en la cual se encuentra su lugar de trabajo**

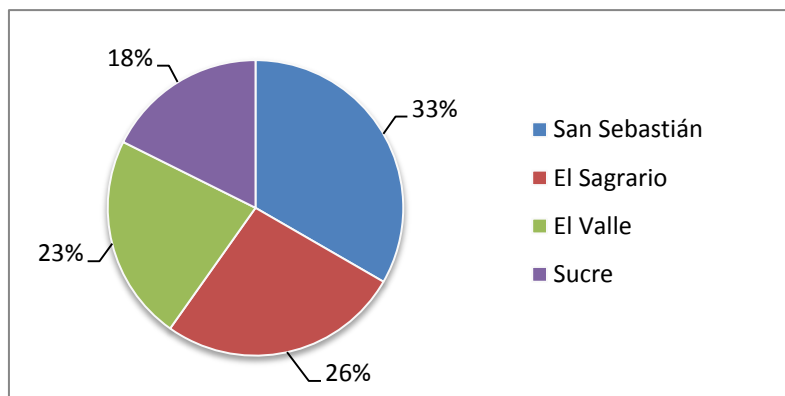


Figura 35. Ubicación del lugar de trabajo.

- **Pregunta 3. ¿Actualmente accede usted al servicio de Internet?**

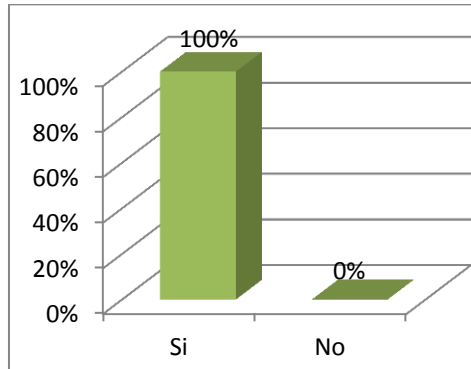


Figura 36. Acceso al servicio de internet por cualquier forma.

- **Pregunta 4. ¿En caso de ser afirmativa la respuesta anterior, escoja la opción que mejor describa su servicio de Internet?**

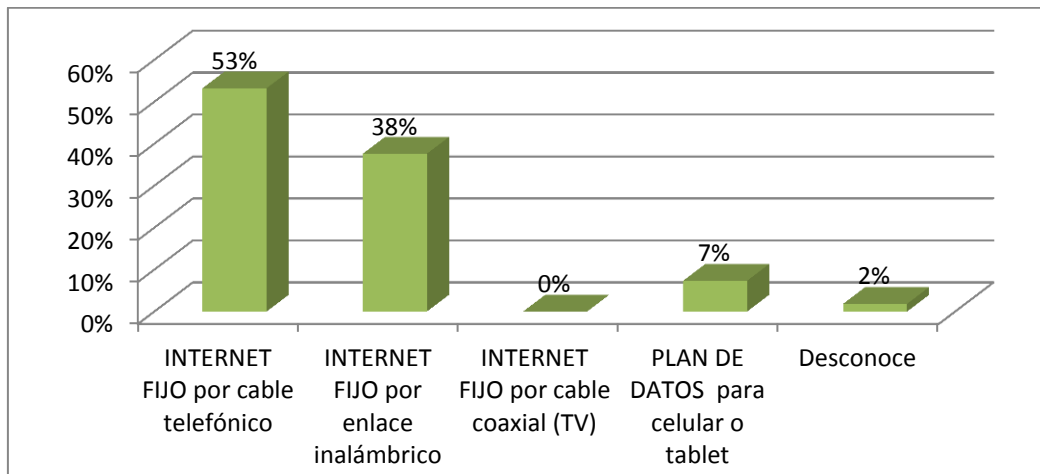


Figura 37. Tipo de conexión a internet más utilizada.

- **Pregunta 5. ¿Cómo considera la calidad de su servicio actual de Internet?**

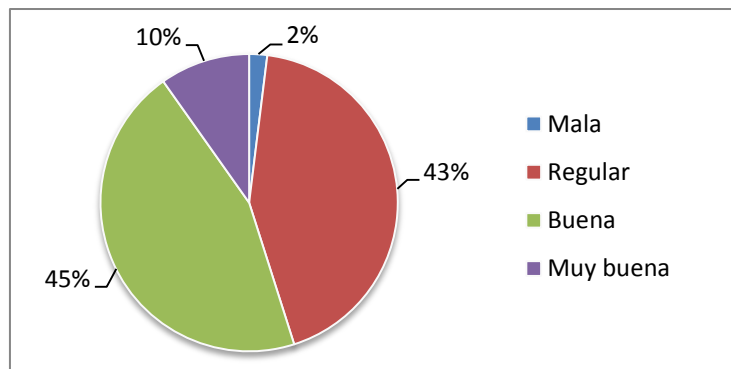


Figura 38. Percepción de la calidad del servicio de internet contratado.

- **Pregunta 6. ¿Cuál es su apreciación respecto a los siguientes atributos del servicio de Internet?**

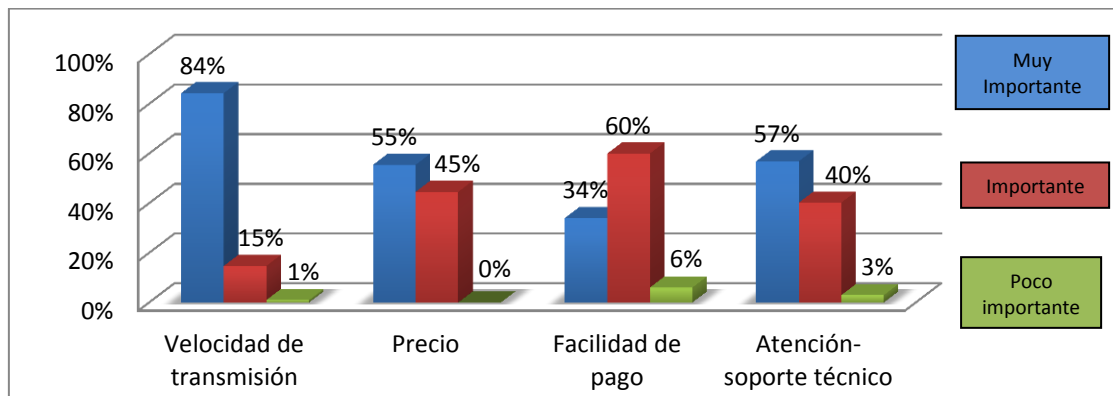


Figura 39. Apreciación respecto a algunos atributos del servicio de internet.

- **Pregunta 7. ¿A qué tipo de aplicaciones accede por medio de su servicio de Internet?**

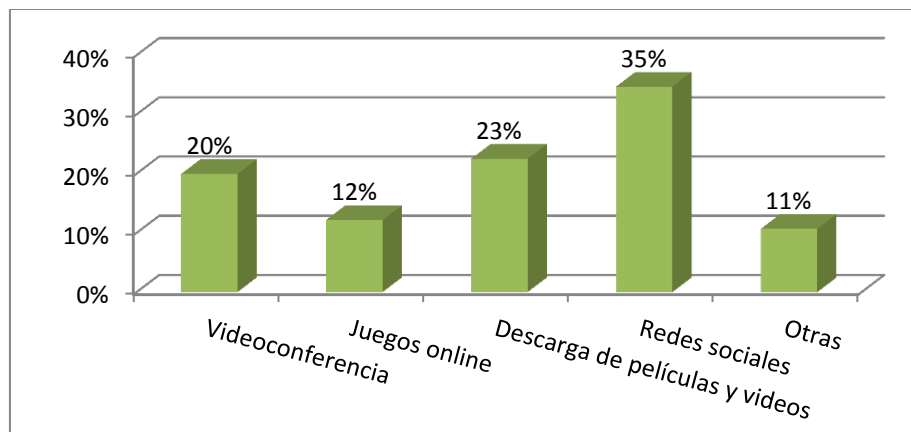


Figura 40. Acceso a las diversas aplicaciones.

- **Pregunta 8. ¿Qué empresas proveedoras de Internet usted conoce?**

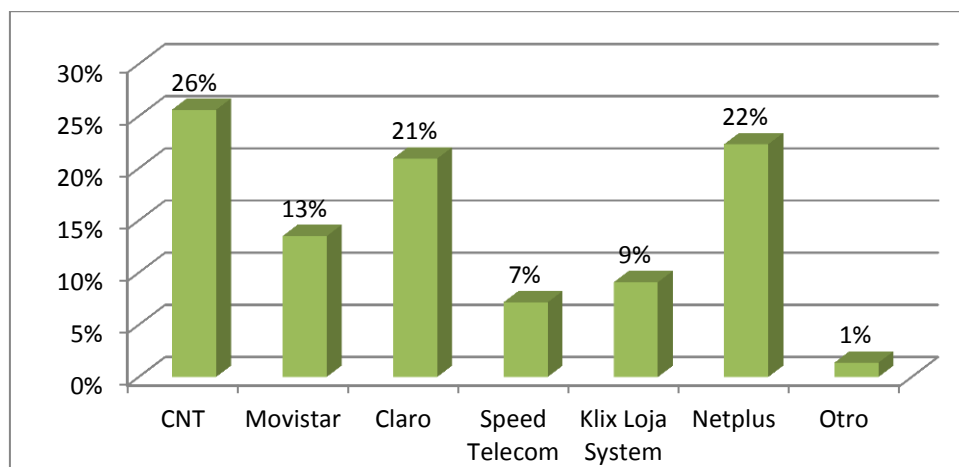


Figura 41. Empresas proveedoras del servicio de internet más conocidas.

- **Pregunta 9. ¿Considera usted que el Internet actualmente es una necesidad?**

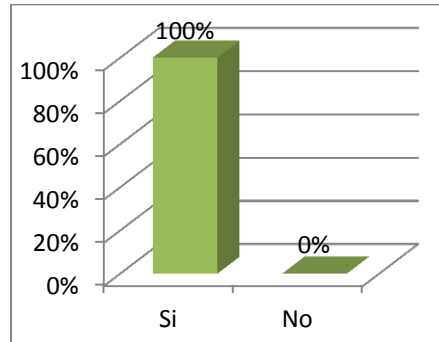


Figura 42. El acceso a internet como una necesidad.

- **Pregunta 10. ¿Estaría interesado(a) en contratar un servicio de Internet para su domicilio o lugar de trabajo?**

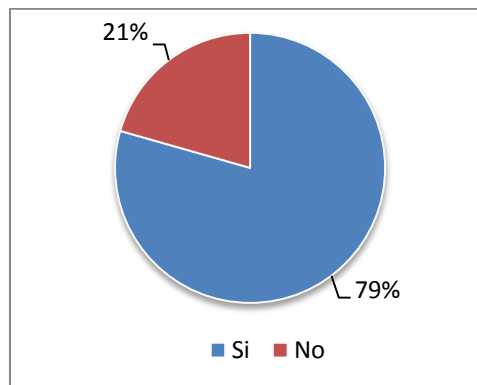


Figura 43. Interés por contratar el servicio de internet.

- **Pregunta 11. ¿Cuál sería el precio referencial que usted pagaría por el servicio de Internet en su domicilio o lugar de trabajo?**

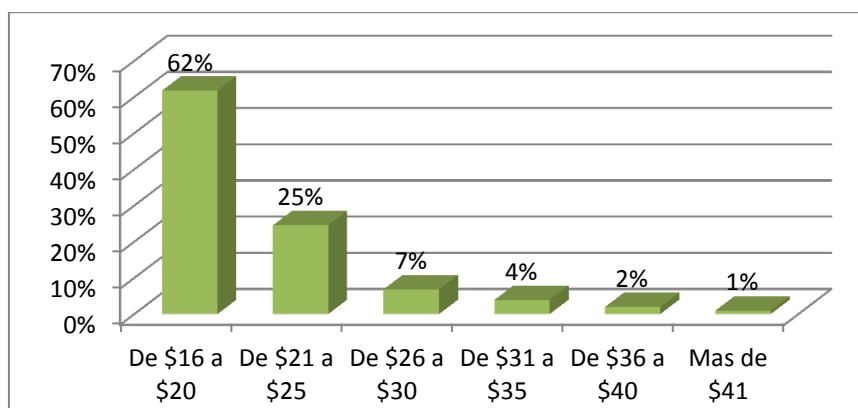


Figura 44. Precio a pagar por el servicio de internet fijo.

- **Pregunta 12. ¿Estaría interesado(a) en contratar un servicio de Internet móvil para su celular?**

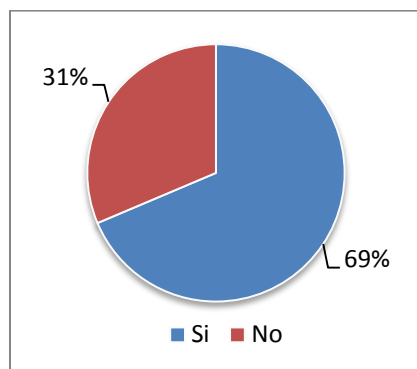


Figura 45. Interés por contratar el servicio de internet móvil.

- **Pregunta 13. ¿Cuál sería el precio referencial que usted pagaría por un servicio de Internet móvil?**

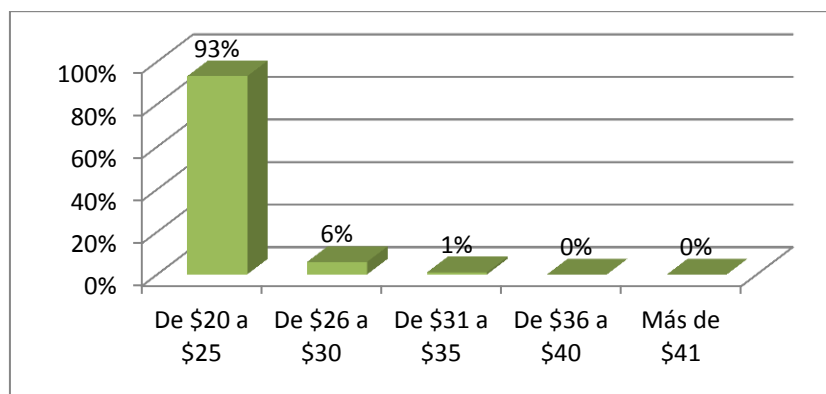


Figura 46. Precio a pagar por el servicio de internet móvil.

4.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede establecer que dentro de la ciudad de Loja la población se concentra mayoritariamente en las parroquias urbanas de San Sebastián y El Sagrario, esto en lo que tiene que ver al lugar de residencia y de trabajo. Aproximadamente el 64% de los encuestados tiene su residencia dentro de estas dos parroquias y el 61% trabaja aquí también. Esto permite apreciar que la mayor parte de la población se concentra en el sector céntrico, centro-oriente y centro-occidente de la ciudad de Loja.

El acceso a internet actualmente se ha vuelto en una herramienta muy importante de comunicación y búsqueda de información, es así que todos los encuestados admiten hacer uso de este servicio. Así mismo los tipos de conexión a internet más utilizados son por medio de cable telefónico y por medio de enlace inalámbrico, entre estos dos tipos de conexiones suman el 91%. En cuanto a la calidad del servicio de internet la mayor parte de los encuestados lo catalogan con una calidad de tipo “regular” y “buena”, sumando entre estas dos categorías el 88%.

Al consultarle a la gente respecto a la importancia otorgada hacia algunos atributos referentes al servicio de internet, se obtuvo que la velocidad de transmisión o navegación representa un factor muy importante a la hora de contratar un servicio de internet. El precio por el servicio si bien es considerado por el usuario previo a contratar el servicio pero no lo es más que la velocidad. La facilidad de pago y la atención al cliente también representan factores a tomar en cuenta. Se puede decir con mucha certeza entonces que a los usuarios lo que más les interesa al momento de contratar un servicio de internet es la velocidad de navegación ofrecida.

Las aplicaciones de internet que más demanda tienen por parte de los usuarios son las redes sociales y la descarga de video, aunque no se debe dejar de lado también la búsqueda de información y consulta. Las empresas proveedoras del servicio de internet más conocidas por los encuestados son CNT E.P, Claro y Netplus; esto tiene mucho que ver con la cantidad de publicidad dada a conocer por dichas empresas.

El 79% de los encuestados demuestra tener interés por contratar un servicio de internet fijo ya sea para su domicilio o lugar de trabajo, además el costo que estarían dispuestos a pagar por este servicio mayoritariamente se ubicó entre 16 y 20 dólares. En lo referente al interés por contratar el servicio de internet móvil, aproximadamente el 68% demostró tener interés por acceder a este servicio y el costo que estarían dispuestos a pagar por el mismo se encuentra entre 20 y 25 dólares.

4.2.5. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DEL PROYECTO

La ciudad de Loja se encuentra ubicada al Sur del Ecuador y en la parte oriental del cantón y provincia del mismo nombre. Sus coordenadas geográficas son: 3°59'26'' latitud Sur y 79°12'18'' latitud Oeste, la ciudad de Loja se encuentra a una altura de 2100 m.s.n.m. Tiene una superficie de 1895,53 Km² [24]. La ubicación geográfica de la ciudad de Loja se muestra en la figura 47.

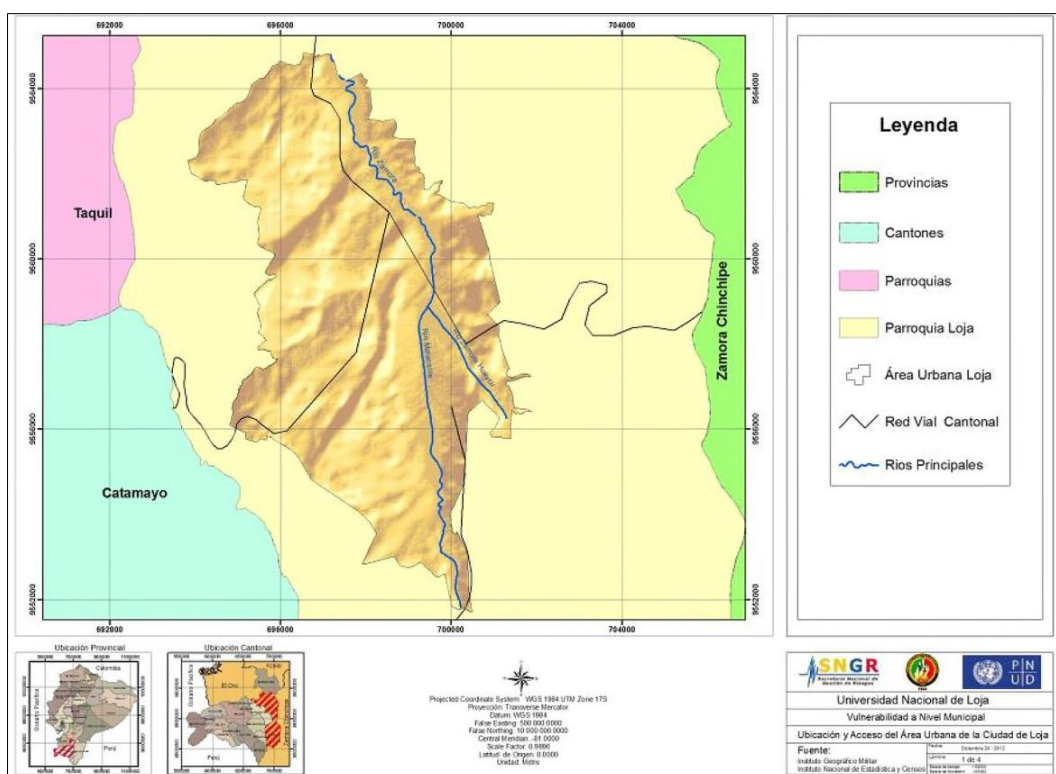


Figura 47. Ubicación geográfica de la ciudad de Loja [25].

De acuerdo a la SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones), el acceso a internet en el Ecuador tanto a nivel residencial como de tipo corporativo se realiza de dos maneras, estas son: cuentas conmutadas y cuentas dedicadas. Una cuenta conmutada se define como el acceso a internet en el cual el usuario para hacer uso del servicio debe realizar la acción de marcar a un número determinado ya sea a través de las redes de telefonía fija o móvil. Una cuenta dedicada en cambio se define como el acceso a internet que no requiere marcar a un número determinado para acceder al servicio de internet como pueden ser: ADSL, cable módem, inalámbrico, etc.

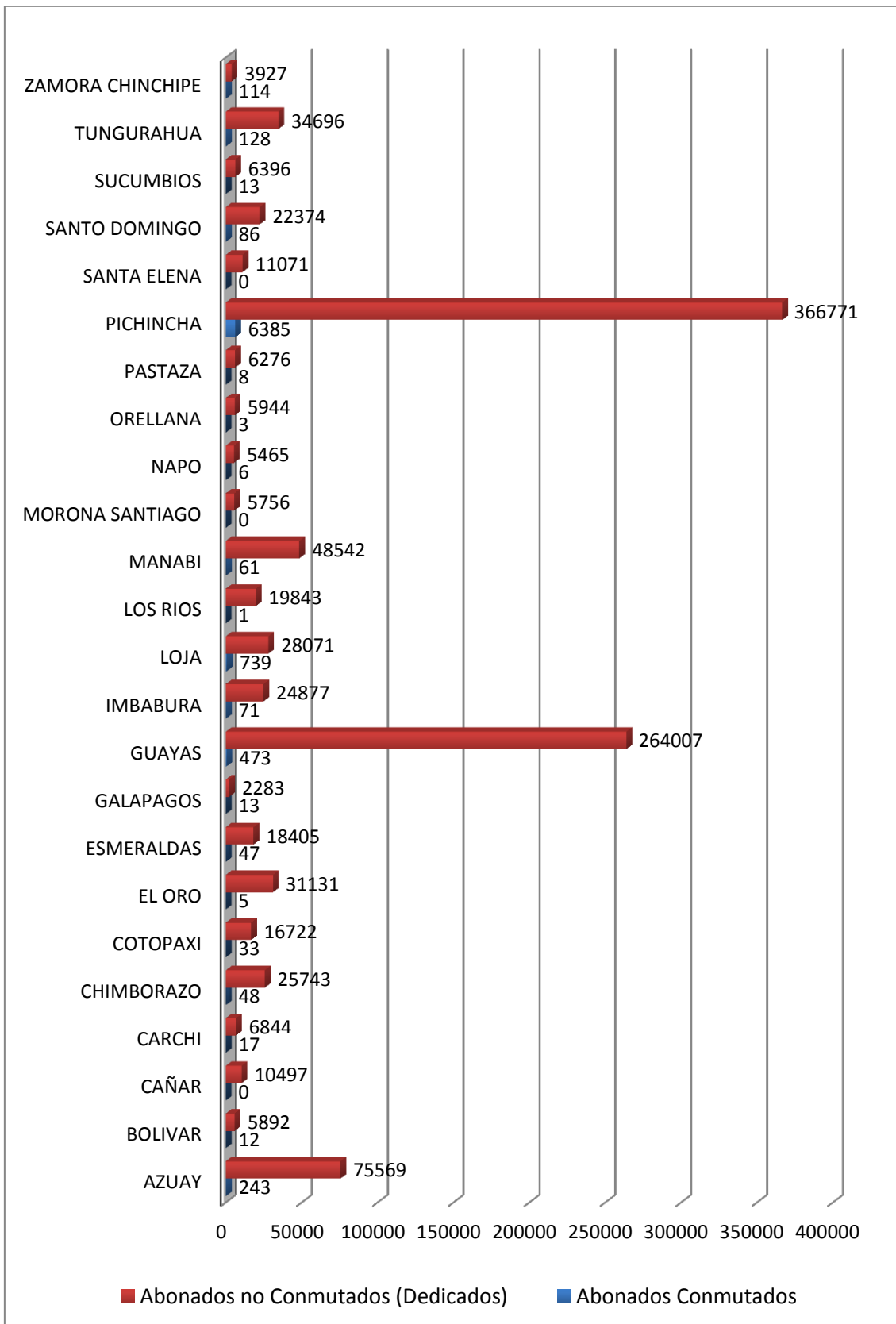


Figura 48. Número de total de cuentas dedicadas y cuentas conmutadas por provincia hasta el mes de septiembre del 2013.

El acceso a internet mediante línea conmutada actualmente se encuentra en desuso principalmente por las bajas velocidades de navegación que presenta en comparación con las tecnologías de banda ancha (ADSL, cable módem, inalámbrico). En la figura 48 se puede observar el número de total de cuentas dedicadas y cuentas conmutadas por provincia hasta el mes de septiembre del 2013.

En la provincia de Loja durante los últimos cinco años ha existido un significativo aumento de las cuentas dedicadas lo cual tiene un contraste favorable con las estadísticas a nivel nacional. En la figura 49 se indica el número de cuentas conmutadas y cuentas dedicadas en la Provincia de Loja durante los últimos cinco años.

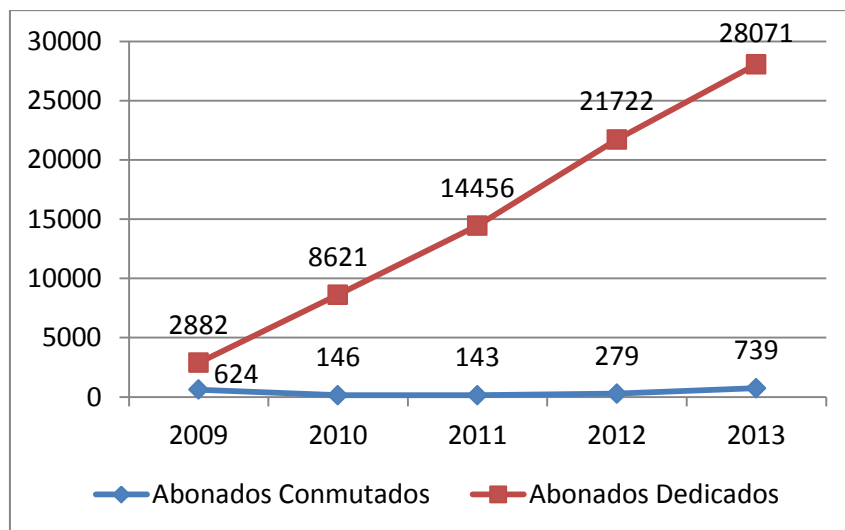


Figura 49. Número total de cuentas conmutadas y dedicadas durante los últimos cinco años en la Provincia de Loja.

De acuerdo al último Censo de Población y Vivienda realizado por el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) en el año 2010 la ciudad de Loja contaba con un total de 170.280 habitantes y para el año 2013 se tiene una proyección de 206 834 habitantes [24].

De las encuestas realizadas anteriormente se puede determinar que la mayor concentración poblacional se encuentra en los sectores de San Sebastián y El Sagrario, además aquí existe un asentamiento tanto residencial como comercial. El Valle en

cambio es un sector con asentamientos mayormente residenciales al igual que en la parroquia Sucre.

Para poder estimar una tendencia por parte de los usuarios hacia el servicio se utiliza el método de crecimiento exponencial expresado en la fórmula (1):

$$P_t = P_o \times (1 + C)^t \quad (1)$$

De donde:

P_t = Número de usuarios potenciales dentro de t años.

P_o = Número de usuarios potenciales del servicio.

C = Tasa de crecimiento promedio anual (TCPA).

t = Número de años.

Tomando en cuenta la demanda histórica de abonados de cuentas dedicadas en la provincia de Loja se puede estimar la Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA). De esta manera en la tabla 19 se indica el valor del TCPA aplicado a la Provincia de Loja.

Tabla 19. Tasa de Crecimiento Promedio Anual (TCPA) en la Provincia de Loja.

PERÍODO DE TIEMPO	TASA DE CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL (TCPA) [%]
2009 al 2010	199,13 %
2010 al 2011	67,68 %
2011 al 2012	50,26 %
2012 al 2013	29,22 %
TCPA TOTAL	86,57 %

De acuerdo al criterio dado a conocer por parte de la empresa Sic Electritelecom Cía. Ltda., recomienda tomar como valor de referencia una cantidad de 60 cuentas, de las cuales 48 cuentas son residenciales y 12 cuentas son corporativas, a partir de esta cantidad de abonados se puede calcular la proyección de la demanda establecida en la ecuación (1), para el primer año de operación quedaría de la siguiente manera:

$$P_t = 60 \times (1 + 86,57\%)^1 \quad (2)$$

$$P_t = 111,94 \approx 112 \text{ usuarios}$$

En la tabla 20 se muestra la proyección de la demanda para los primeros cinco años de operación del proveedor de servicios de internet.

Tabla 20. Proyección de la demanda para los primeros cinco años de operación.

Nº	AÑO	CUENTAS RESIDENCIALES	CUENTAS CORPORATIVAS	CANTIDAD TOTAL DE CUENTAS
1	2014	90	22	112
2	2015	167	42	209
3	2016	312	78	390
4	2017	582	145	727
5	2018	1085	271	1356

4.2.6. DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS

Tomando en cuenta que para el presente proyecto de investigación se utiliza la frecuencia de 3,5 GHz para el despliegue de la tecnología Wimax, y contrastando esta información con el marco legal vigente en el Ecuador, los únicos servicios que se permiten sin ningún tipo de restricción son fijo y portable. Hay que tomar en cuenta que usualmente al acceso a internet por medio de módem USB se lo denomina como internet móvil cuando la denominación correcta es internet portable o portátil.

De acuerdo a la encuesta anterior aproximadamente el 79% de los usuarios muestra tener un interés por contratar un nuevo plan de internet. El diseño de los planes de internet considera tener las siguientes características:

- Canal asimétrico, significa que el 65% del ancho de banda disponible es destinado para la descarga (Downlink) y el 35% restante se destina para la subida (Uplink).
- En el peor de los casos (cuando se encuentran conectados todos los usuario del total contemplado en la compresión), un usuario de tipo residencial recibe el servicio con una compresión 8:1. Para el caso de un usuario de tipo corporativo la compresión es 2:1
- En el mejor de los casos (cuando únicamente se encuentra conectado un solo usuario del total contemplado en la compresión), tanto el usuario de tipo residencial como corporativo puede hacer uso de todo el ancho de banda disponible en su plan contratado.

- Se incorpora técnicas de calidad de servicio, las mismas que permiten priorizar el tráfico de voz y video sobre los datos. Se brinda mayor prioridad al protocolo UDP (Protocolo de datagrama de usuario) sobre el protocolo TCP (Protocolo de control de transmisión). El protocolo UDP se utiliza en la transmisión de audio y video en tiempo real en donde no es posible realizar retransmisiones por los estrictos requisitos de retardo que se tiene en estos casos. El protocolo TCP en cambio permite el flujo de datos pudiendo existir retransmisión de información en caso de pérdida. En la tabla 21 se muestra el ancho de banda asignado para el protocolo TCP y sus aplicaciones.

Tabla 21. Ancho de banda asignado para el protocolo TCP y sus aplicaciones [11].

PROTOCOLO CONOCIDO	PROTOCOLO	APLICACIÓN	ANCHO DE BANDA GARANTIZADO
20	TCP	FTP	40 Kbps
21	TCP	FTP	40 Kbps
53	TCP	DNS	30 Kbps
80	TCP	HTTP	50 Kbps

En el diseño de los planes comerciales se indica las siguientes características: tipo de plan, velocidades de descarga y subida para el mejor de los casos, la compresión, la velocidad mínima disponible en el peor de los casos y finalmente el precio. Los planes comerciales de tipo residencial y corporativo se observan en la tabla 22.

Tabla 22. Planes comerciales de tipo residencial y corporativo.

TIPO DE PLAN	VELOCIDAD SUBIDA	VELOCIDAD DESCARGA	COMPRESIÓN	PRECIO FINAL
Plan 2000 Kbps	1300 Kbps	700 Kbps	8:1	\$ 20,00
Plan 3000 Kbps	2000 Kbps	1000 Kbps	8:1	\$ 25,00
Plan 4600 Kbps	3000 Kbps	1600 Kbps	8:1	\$ 32,00
PLAN CORPORATIVO	SUBIDA	DESCARGA	COMPRESIÓN	PRECIO FINAL
Plan 5600 Kbps	3600 Kbps	1900 Kbps	2:1	\$ 46,00
Plan 6600 Kbps	4300 Kbps	2300 Kbps	2:1	\$ 64,00
Plan 7600 Kbps	5000 Kbps	2600 Kbps	2:1	\$ 78,00

CAPÍTULO 5

“FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16m”

5.1. DISEÑO DE LA RED

Como se mencionó en el capítulo anterior el análisis de factibilidad se realiza en la ciudad de Loja para el caso de un proveedor de servicios de internet utilizando la tecnología Wimax. El diseño de la red se inicia determinando el alcance del proyecto, es decir, los servicios que se tiene previsto ofrecer. Luego se procede a dimensionar la red tomando en cuenta la cantidad de usuarios y los sectores de la ciudad que van a ser cubiertos, aquí también se realizan los cálculos acerca de las pérdidas de propagación y simulación de cobertura. Como paso final consiste en seleccionar los equipos que permitan satisfacer los requerimientos de cobertura y servicios.

5.1.1. DELIMITACIÓN DE LA SOLUCIÓN

La tecnología Wimax ha sido desarrollada con el objetivo de dar soluciones de tipo metropolitanas con áreas de cobertura de varios kilómetros. Los servicios que se puede ofrecer a través de esta tecnología van desde telefonía fija, internet fijo, internet portable, internet móvil y telefonía móvil. Para el presente diseño de red se establece que los servicios a ofrecer son internet FIJO y PORTABLE. El estándar utilizado es el IEEE 802.16d que a su vez es compatible con el estándar IEEE 802.16-2009 sobre el cual está desarrollado el estándar IEEE 802.16m. El motivo por el cual no se incluye los servicios de telefonía fija, internet móvil y telefonía móvil se describe a continuación:

- El servicio de telefonía fija actualmente en su totalidad se brinda a través de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P), por tal motivo no es pertinente ofrecer este servicio a través de la tecnología Wimax en la ciudad de Loja.
- El servicio de internet móvil no se incluye debido a que los dispositivos finales como teléfonos inteligentes y tablets deben soportar el estándar Wimax, la mayoría de estos dispositivos actualmente están estandarizados únicamente para

Wi-Fi, consecuentemente no trabajan en la frecuencia, ni en los niveles de potencia necesarios para tener compatibilidad con la tecnología Wimax.

- El diseño de un servicio de telefonía móvil celular debe estar dentro de una propuesta a nivel nacional y no limitado a una determinada ciudad, por ende se extiende sobre los objetivos de la presente investigación.

5.1.2. FRECUENCIAS DE TRABAJO

Para el servicio que se pretende ofrecer con la tecnología Wimax, se tiene la concesión de las siguientes bandas de frecuencia: frecuencias de transmisión con el sub-bloque D1 (3475 MHz-3485 MHz), las frecuencias de recepción con el sub-bloque D1' (3575 MHz - 3585 MHz), esto da un total de 20 MHz. Para el enlace punto a punto entre las estaciones base se utiliza la banda de 5170 MHz.

5.1.3. ALCANCE DE LA RED Y COBERTURA

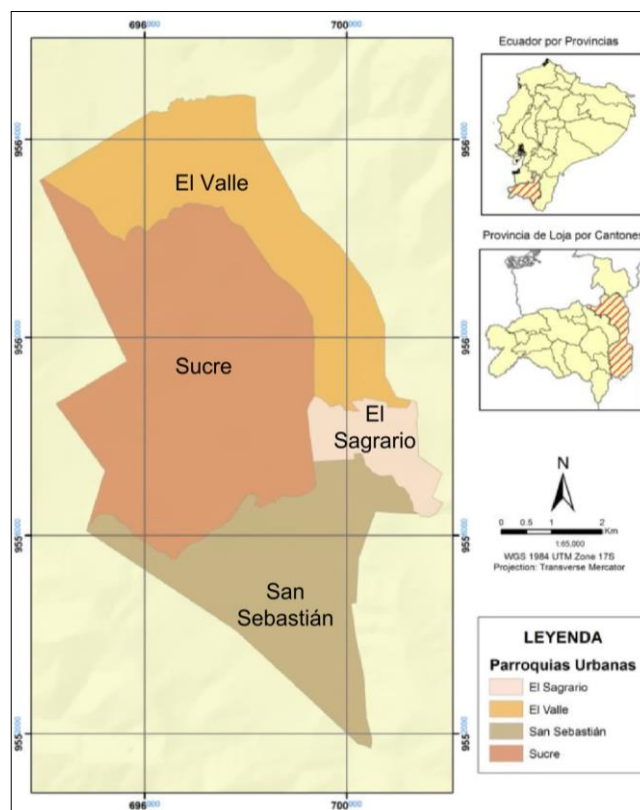


Figura 50. Parroquias urbanas del cantón Loja.

De acuerdo a la división política, el cantón Loja está dividido en 13 parroquias rurales y 4 parroquias urbanas. Las parroquias urbanas son: El Sagrario, Sucre, El Valle y San Sebastián. Las parroquias rurales en cambio son: Chantaco, Chuquiribamba, El Cisne, Gualiel, Jimbilla, Malacatos, Quinara, San Lucas, San Pedro de Vilcabamba, Santiago, Taquil, Vilcabamba y Yangana. En la figura 50 se muestra las parroquias urbanas del cantón Loja.

La presente investigación se centra en dar cobertura a la ciudad de Loja, esta ciudad abarca geográficamente las 4 parroquias urbanas antes mencionadas, las cuales cubren un área aproximada de 6 Km de ancho y 17 Km de largo, esto se observa en la figura 44. La orografía del cantón Loja es muy irregular, presenta altitudes que van desde los 700 metros y sobrepasan los 3700 metros [22]. La población se encuentra ubicada en diferentes valles, teniendo como resultado la presencia de diferentes climas y microclimas.

5.1.4. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE

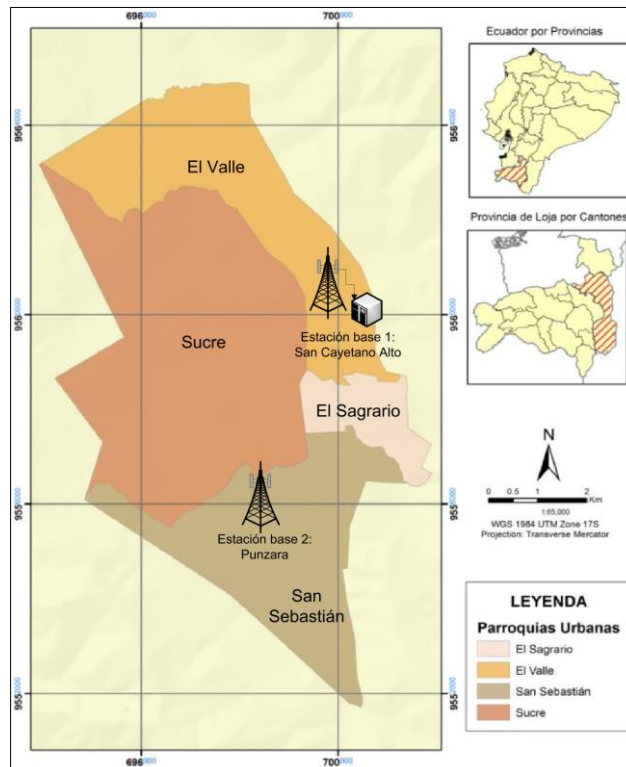


Figura 51. Ubicación de las estaciones base.

Se ha realizado un estudio de cobertura para determinar la cantidad y la óptima ubicación geográfica de las estaciones base. Debido a la orografía y zonas de cobertura, se seleccionan dos puntos estratégicos para la ubicación de las estaciones base, los mismos prestan facilidades de acceso y energía eléctrica, y se detallan a continuación en la figura 51.

5.1.4.1. ESTACIÓN BASE 1: SAN CAYETANO ALTO.

Desde este punto se cubre completamente la parroquia El Valle y Sucre, el centro norte de la parroquia El Sagrario, y la parte norte de la parroquia San Sebastián. Aquí se encuentra también el cuarto de telecomunicaciones. Su ubicación geográfica es: 3°58'48,16" latitud Sur y 79°11'56,17" longitud Oeste. La altitud en este punto es de 2117 m.s.n.m. En la figura 52 se puede observar la ubicación de la estación base de San Cayetano Alto.



Figura 52. Estación base 1: San Cayetano Alto.

5.1.4.2. ESTACIÓN BASE 2: PUNZARA

Desde este punto, existe línea de vista hacia el centro sur de la parroquia San Sebastián y parte sur de la parroquia El Sagrario. Su ubicación geográfica es: 4°1'17,03" latitud Sur y 79°12'33,22" longitud Oeste. La altitud en este punto es de 2178 m.s.n.m. En la Figura 53 se puede observar la ubicación de la estación base de Punzara.



Figura 53. Estación base 2: Punzara.

La topología de la red inalámbrica conteniendo a los nodos de Punzara y San Cayetano Alto se pueden observar en la figura 54. La distancia que existe entre ambos puntos es aproximadamente de 5,23 Km.

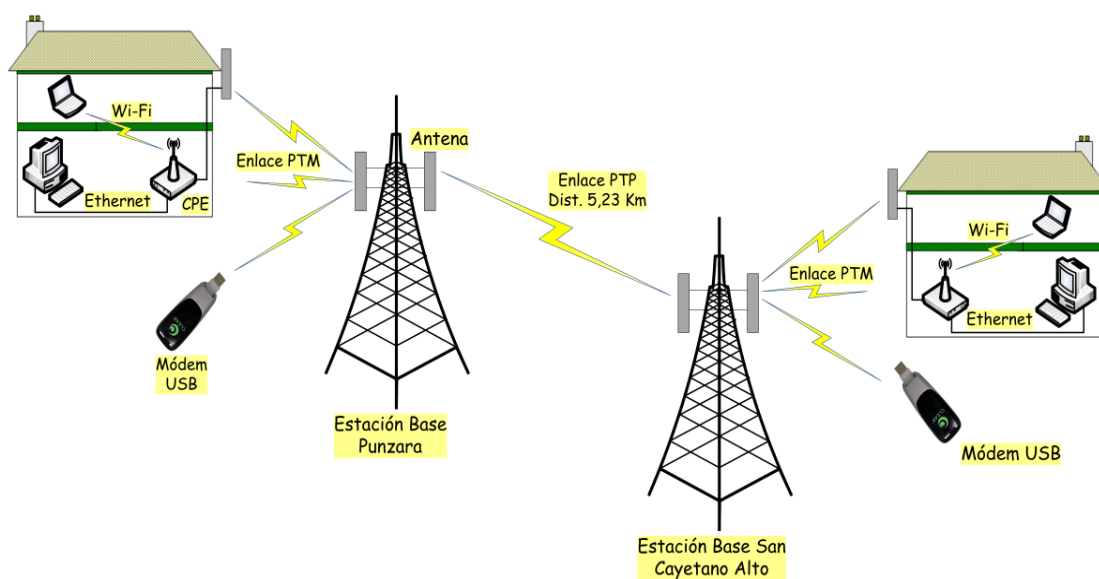


Figura 54. Topología de la red Wimax para la ciudad de Loja.

Las características del enlace punto a punto se encuentran resumidas en la tabla 23, estos datos se obtienen con la simulación del enlace realizado en el programa Radio Mobile. Es muy importante acotar que entre las estaciones base existe línea vista y total factibilidad para la realización de un enlace punto a punto de alta confiabilidad (99,99%).

Tabla 23. Parámetros del enlace Punto a Punto (PTP): San Cayetano Alto–Punzara.

	TRANSMISOR	RECEPTOR	
Lugar	BTS San Cayetano	BTS Punzara	
Distancia	5,23 Km		
Frecuencia	5170 MHz		
Latitud	3° 58' 48,16" S	4° 1' 17,03" S	
Longitud	79° 11' 56,17" O	79° 12' 33,22" O	
Altitud	2117 m.s.n.m	2178 m.s.n.m	
Potencia de Tx, Rx	23 dBm	23 dBm	
Ganancia de antena	15 dBi	15 dBi	
Altura de antena	12 m	12 m	
Perdidas en línea	0,5 dB	0,5 dB	
Azimut	192,58°	12,58°	
Angulo de elevación	0,617°	-0,664°	
Resultados del enlace			
Nivel de Rx	-75,5 dBm	Peor Fresnel	4.4 F1
Ganancias del sistema	3,5 dB		
Pérdidas espacio libre	121,6 dB	Pérdidas totales	127,5 dB

Al realizar un perfil de propagación del enlace PTP entre las estaciones base de San Cayetano Alto y Punzara por medio del software de simulación Radio Mobile, se puede apreciar que existe línea de vista directa entre ambos puntos. En la figura 53 se observa los resultados del enlace PTP.

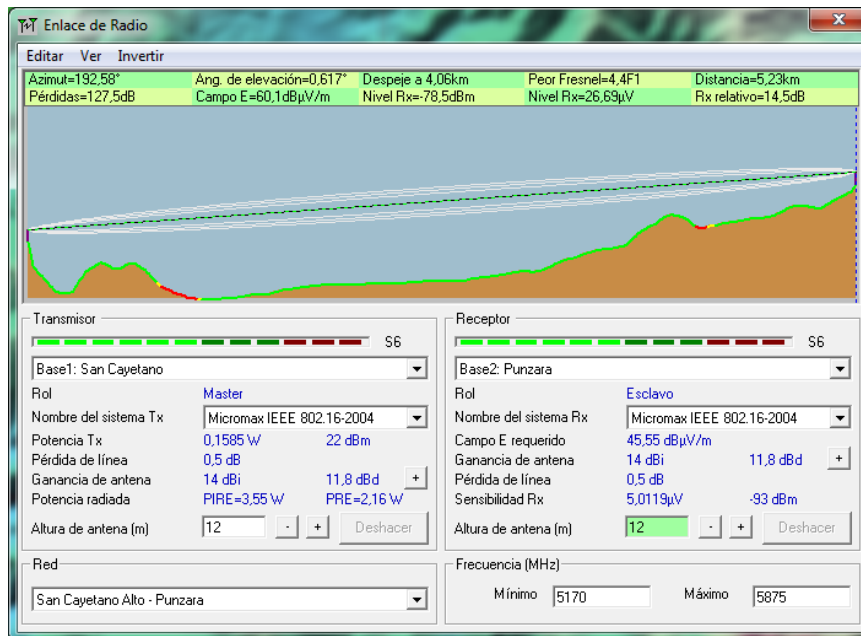


Figura 55. Perfil de propagación del enlace PTP entre las estaciones base de San Cayetano Alto y Punzara.

5.1.5. CÁLCULO DEL ENLACE

Para continuar con el diseño de la red Wimax, es necesario establecer un presupuesto de enlace el cual permite determinar las ganancias y pérdidas existentes entre el transmisor y el receptor a través de cables, conectores y el espacio libre. Los cálculos para el diseño de la red se realizan considerando la distancia correspondiente del enlace y la frecuencia asignada. En la tabla 24 se resume los valores de distancia y frecuencia asignados.

Tabla 24. Distancia y frecuencia del enlace PTP.

Puntos a enlazarse	Distancia (Km)	Frecuencia (MHz)
San Cayetano Alto-Punzara	5,23 Km	5170 MHz

Los elementos básicos que se tomarán en cuenta para el presupuesto de enlace son:

- Pérdidas de propagación.
- Cálculo del presupuesto de enlace.
- Márgenes de desvanecimiento y confiabilidad del sistema.

5.1.5.1. PERDIDAS DE PROPAGACIÓN

Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal cuando viaja desde el transmisor al receptor. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía la cual se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Esta pérdida es independiente de factores como el aire, la lluvia o cualquier otro factor que pueda adicionar pérdidas [11].

Conforme viaja una señal de radiofrecuencia a través del espacio, esta se atenúa debido a la distancia existente desde el punto inicial de transmisión. Mientras más lejos está el punto de transmisión, más débil es la señal de radiofrecuencia [16]. La ecuación de pérdidas en el espacio libre entre dos radiadores isotrópicos es la siguiente:

$$A_0[dB] = 32.5 + 20\text{Log}f(\text{MHz}) + 20\text{Log}D(\text{Km}) \quad (1)$$

Tomando en cuenta la ecuación (1), y reemplazando con los valores de distancia y frecuencia se obtienen los valores de la tabla 25.

Tabla 25. Pérdidas en el espacio libre.

Distancia (Km)	Frecuencia: 5170 MHz
	A_0 [dB]
0,5	100,749
1	106,770
1,5	110,292
2	112,790
2,5	114,729
3	116,312
3,5	117,651
4	118,811
4,5	119,834
5	120,749
5,23	121,140

5.1.5.2. CÁLCULO DEL PRESUPUESTO DE ENLACE

Para poder determinar el balance del sistema se debe tomar en cuenta los parámetros como son: la potencia de transmisión, ganancia de las antenas tanto en transmisión como en recepción, pérdidas por trayectoria en el espacio libre y pérdidas de cableado e inserción [11]. La ecuación que permite calcular el presupuesto de enlace se muestra a continuación:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - AB_{TX} - AB_{RX} - A_0 \quad (2)$$

De donde:

P_{RX} = Potencia nominal de recepción.

P_{TX} = Potencia de transmisión.

G_{TX} = Ganancia de la antena de transmisión.

G_{RX} = Ganancia de la antena de recepción.

AB_{TX} y AB_{RX} = Pérdidas por cableado e inserción.

A_0 = Pérdidas por trayectoria.

De acuerdo a los valores obtenidos en la simulación del enlace se asigna los siguientes valores a las variables de: $P_{TX} = 23$ dBm, $G_{TX} = 15$ dBi, $G_{RX} = 15$ dBi, $AB_{TX} = AB_{RX} = 1.5$ dB + 0.7 dB = 2.2 dB. Al reemplazar los valores correspondientes en la ecuación (2) conjuntamente con los valores obtenidos anteriormente por las pérdidas por trayectoria se obtiene los valores de la tabla 26.

Tabla 26. Presupuesto de enlace.

Distancia (Km)	Frecuencia 5170 MHz
	P_{RX} [dBm]
0,5	-48,949
1	-54,970
1,5	-58,492
2	-60,990
2,5	-62,929
3	-64,512
3,5	-65,551
4	-67,011
4,5	-68,034
5	-68,949
5,23	-69,340

5.1.5.3. MÁRGENES DE DESVANECIMIENTO Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

El margen de desvanecimiento (FM) se define como la diferencia en dB que existe entre el nivel de potencia nominal de recepción P_{RX} y el nivel de potencia denominada potencia de umbral del receptor o sensibilidad de recepción U_{RX} , que asegura una tasa de error (BER) entre 10^{-3} y 10^{-6} y se lo calcula con la siguiente fórmula [11]:

$$FM = P_{RX} - U_{RX} \quad (3)$$

El cálculo de FM es importante pues determina la fluctuación del nivel recibido en el receptor por debajo del nivel teórico de recepción. La sensibilidad de CPE y tarjetas PCMCIA es aproximadamente de $U_{RX} = -100$ dB [16]. En la tabla 27 se muestra los valores del margen de desvanecimiento para cada valor de P_{RX} correspondiente.

Tabla 27. Márgenes de desvanecimiento del enlace.

Distancia (Km)	Margen de desvanecimiento (FM) [dB]
	5170 MHz
0,5	51,051
1	45,030
1,5	41,508
2	39,010
2,5	37,071
3	35,488
3,5	34,449
4	32,989
4,5	31,966
5	31,051
5,2	30,660

La confiabilidad permite determinar el porcentaje de tiempo que el enlace estará disponible:

$$R = 1 - P \quad (4)$$

$$P = 6 \times 10^{-7} \times C \times f \times d^3 \times 10^{-FM/10} \quad (5)$$

Tabla 28. Análisis de confiabilidad.

Distancia (Km)	Porcentaje de confiabilidad (%)
	Frecuencia 5170 MHz
0,5	99,999999695
1	99,999990258
1,5	99,999926019
2	99,999688303
2,5	99,999048602
3	99,997632960
3,5	99,995225301
4	99,990024796
4,5	99,982024568
5	99,969559498
5,23	99,961880529

De donde:

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

f = Frecuencia de operación en GHz.

FM = Margen de desvanecimiento.

C = Factor dependiente del tipo de terreno, se considera normalmente que $C = 1$ (terreno con algunas rugosidades, clima promedio y condiciones promedio de propagación). En la tabla 28 se muestra los resultados de indisponibilidad del sistema.

5.1.6. INFRAESTRUCTURA INALÁMBRICA DEL PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET





Actualmente en el mercado existe una gran variedad de equipos que pueden ser utilizados en una infraestructura Wimax. El equipamiento existente se adapta a los requerimientos de la mayoría de los mercados y variedad de aplicaciones para voz, datos y video. Para el proceso de selección de los equipos se debe tomar en cuenta el siguiente proceso:

- Indicar el objetivo para la creación del proveedor de servicios de internet y los organismos privados y públicos que se encuentran involucrados en el mismo.
- Indicar la localización del proyecto, coordenadas geográficas de la descripción del área o región sobre la cual se desarrolla.
- Enviar al fabricante un informe técnico en el cual se detalle las características y requerimientos de la red. Dentro de las características se indica el tipo de estándar a ser utilizado, los servicios que se pretende ofrecer y la frecuencia de trabajo. Dentro de los requerimientos se establece el área de cobertura, ubicación de los nodos, el número de usuarios propuestos, características de los enlaces PTP y PTM.
- Una vez que se conoce la propuesta de cada fabricante se debe realizar una comparación técnica y económica.
- Seleccionar el equipamiento que mejor se adapte a los requerimientos de la red.

5.1.6.1. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES BASE

Para el presente estudio se selecciona los siguientes fabricantes de tecnología Wimax: AIRSPAN, APERTO y MOTOROLA. El motivo por el cual se trabaja con estas marcas, se debe a su presencia activa en el mercado de telecomunicaciones, capacidad de respuesta de los proveedores e información disponible. En la Tabla 29, se resume la línea de productos y características técnicas de la estación base de los tres fabricantes en mención.

Tabla 29. Evaluación técnica de Estaciones Base de fabricantes de la tecnología Wimax [17] [19] [20].

PROVEEDOR	AIRSPAN NETWORKS		CAMBIUM NETWORKS	SELESTA NETWORKS
TECNOLOGÍA	AIRSPAN		MOTOROLA	APERTO
MODELO	Air4Gp-WL44 5400 TI	MicroMAX Base Station (BSR)	CANOPY PMP 36320 ACCESS POINT	PacketMAX 3000 Base Station
IMAGEN				
ESTÁNDAR UTILIZADO	IEEE 802.16-2009	IEEE 802.16-2004 IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2009	IEEE 802.16-2004
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	5470 MHz a 5950 MHz	TDD: 1.4 GHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3–3.5 GHz, 3.4–3.6 GHz, 3.6–3.8 GHz, 4.9–5.0 GHz, 5.15–5.35 GHz, 5.47–5.725 GHz, 5.725–5.875 GHz, 5.85–5.95 GHz. FDD: 3.4–3.5 GHz (50MHz), 3.4–3.6 GHz, 3.6–3.8 GHz.	3600 MHz a 3800 MHz	3,3–3,4 GHz 3,4–3,6 GHz 3,65 GHz 5,15–5,35 GHz 5,475–5,725 GHz 5,725–5,925 GHz
POTENCIA DE TRANSMISIÓN	22 dBm	28 dBm	25 dBm	20 dBm (3 GHz) 17 dBm (5 GHz)
SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR	-92 dBm (QPSK 1/2) -89 (QPSK 3/4) -86 (16QAM 1/2) -75 (64QAM 5/6)	3,4–3,6 GHz FDD AB de 3,5 MHz -81 dBm (64QAM 3/4) -92 dBm (QPSK 3/4) -94 dBm (QPSK 1/2) -98 dBm (BPSK 1/2)	-93 dBm (QPSK 1/2) -87 dBm (QPSK 3/4) -84 dBm (16QAM 1/2) -78 dBm (64QAM 1/2)	-96 dBm (QPSK, 16QAM y 6AQAM). Tasa de codificación: 1/2, 2/3 y 3/4

ANCHO DE BANDA DEL CANAL	3,5 MHz, 5 MHz, 7 MHz y 10 MHz	3,3–3,5 GHz TDD (1,75 MHz; 2,75 MHz; 3,5 MHz, 5 MHz) 3,4–3,6 GHz FDD (1.75 MHz, 3.5 MHz)	3,5 MHz; 5MHz; 7MHz, 10MHz	3,5 MHz; 5 MHz y 7 MHz
GANANCIA DE LAS ANTENAS	16 dBi, 3dB BW H 90°, 3dB BW V 90°. MIMO 2x2.	Antena integrada de 14 dBi 60°, se puede agregar una antena externa.	16.5 dBi 90°. Opcional MIMO 2x2.	16 dBi V 90°. Frecuencia de operación: 3.3–3.8 GHz.
CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	No especifica	-8 Niveles de prioridad de tráfico. -Configuración de parámetros: MIR, CIR, SDU y BURST. - Perfiles QoS de WiMAX: Best Effort (BE), rtPS, nrtPS, ertPS y UGS.	-Perfiles QoS de WiMAX: Best Effort (BE), rtPS, nrtPS, ertPS y UGS.	-Perfiles QoS de WiMAX: Best Effort (BE), nrtPS y UGS.
ENCRIPCIÓN	No especifica	DES y AES	128-bit AES	DES y 3DES llave de encriptación.
SEGURIDAD	PKMv2 Cumple la seguridad de 3GPP TS 33.401 e IEEE 802.16-2009.	Certificado X.509	EAP-TTLS/PKMv2 autenticación sobre RADIUS.	Certificado X.509
VLAN	Si	Si	Si	No especifica
IPv6	Si	No	No	No
ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA	Revisión 2 Febrero 2012	Actualización 7.9 Septiembre 2010	No especifica	No especifica
MEJORAS Y VENTAJAS COMPETITIVAS	-Soporta tanto el estándar eNodeB 3GPP LTE como el IEEE 802.16 BS. -Bandas de frecuencia con y sin licencia. -LOS y NLOS.	-Soporta aplicaciones en ambientes urbanos y rurales. -Bandas de frecuencia con y sin licencia. -LOS y NLOS. -Aplicaciones fijas, móviles	-Hasta 40 Km de cobertura y hasta 45 Mbps por sector. -LOS y NLOS. -Aplicaciones fijas, móviles y portátiles	-TDD, OFDM 256 FFT -LOS OLOS y NLOS. -Aplicaciones fijas, móviles y portátiles

	-Aplicaciones fijas, móviles y portátiles	y portátiles		
CONSUMO DE POTENCIA	100 W	30 W	25 W	70 W
SERVICIOS	Datos, VoIP	Datos, VoIP, Televisión por circuito cerrado (CCTV)	Datos, Voz y Video	Datos, Voz y Video

Al analizar los resultados de la Tabla 29 se observa que solamente la línea de productos MicroMAX de Airspan y PacketMAX 3000 Base Station de Aperto trabajan en la banda de frecuencia de 3.5 GHz, frecuencia que es la necesaria para el presente proyecto. En cuanto a los estándares que manejan estas dos líneas de productos, se trata de: IEEE 802.16-2004 e IEEE 802.16e-2005.

Según la opinión del Ing. Juan Belon Gallego, director general de SELESTA NETWORKS S.A. el estándar IEEE 802.16-2009 sobre el cual está desarrollado el estándar IEEE 802.16m, se trata de una nueva revisión aunque no aporta mejoras tecnológicas significativas, además de esto dos de los principales proveedores de Wimax como son Tranzeo y Aperto actualmente utilizan el estándar del 2004.

En estas circunstancias si se desea actualizar la red a un estándar más actual, dicha actualización deberá ser a nivel de software más no a nivel de hardware. También hay que mencionar que los estándares anteriores de Wimax son compatibles con el estándar IEEE 802.16-2009 ya que todos estos estándares cumplen con las mismas especificaciones para aplicaciones fijas y nómadas. Para la siguiente fase del análisis se continúa solamente con las líneas de productos MicroMAX y PacketMAX 3000 Base Station, debido a que cumplen con la frecuencia de trabajo establecida para el presente proyecto.

La estación base modelo Air4Gp-WL44 5400 TI de Airspan, presenta como ventaja que posee la actualización a la versión del estándar IEEE 802.16-2009. También se trata de un modelo de estación base híbrida que incorpora el funcionamiento de dos tecnologías 4G no compatibles, como son 3GPP LTE y Wimax IEEE 802.16-2009. Sin embargo, dicha estación base no trabaja en la frecuencia de 3.5 GHz, motivo por el cual no se considera para una siguiente fase de evaluación.

5.1.6.2. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS TERMINALES DE USUARIO (CPE)

A continuación en las tablas 30 y 31 se realiza una descripción de toda la variedad de Equipos de Usuario (CPE) disponibles por la marca AIRSPAN utilizables para usuarios residenciales y corporativos.

Tabla 30. Equipos de usuario Easy-ST de AIRSPAN para usuarios residenciales [17].







PRODUCTO	MODELO	CARACTERÍSTICAS
Dispositivos USB	MiMAX-USB-V15 	<ul style="list-style-type: none"> -Frecuencia: 3,4-3,6 GHz - Chipset: Beceem. - Potencia de Tx: 23 dBm. -Posee 2 antenas MIMO omnidireccionales de 2dBi. - Instalación automática. - Movilidad para laptop y notebook.
	MiMAX-USB-H17 	<ul style="list-style-type: none"> -Frecuencia: 2,3-2,7 GHz; 3,3-3,6 GHz. - Chipset: Mediatek. - Máxima potencia de Tx: 23 dBm. - Posee 2 antenas MIMO omnidireccionales de 5dBi. -Alta potencia
	MiMAX-Egg-V21 	<ul style="list-style-type: none"> -Frecuencia: 2,3 GHz; 2,5 GHz y 3,5 GHz - Chipset: GCT. - Máxima potencia de Tx: 25 dBm. - Posee 2 antenas MIMO omnidireccionales de 3.5dBi. - Wi-Fi incorporado.
Equipos ubicados en ambientes interiores	M-Easy-D55 	<ul style="list-style-type: none"> -Frecuencia: 2,3 GHz; 2,5 GHz y 3,5 GHz - Chipset: Beceem - Máxima potencia de Tx: 27 dBm. - Posee 2 antenas internas de 5dBi. - Soporta transmisión de voz, datos y WIFI.
	M-Easy-D45 AWB, RG300 	<ul style="list-style-type: none"> -Frecuencia: 2,3 GHz; 2,5 GHz y 3,5 GHz - Chipset: Beceem. - Máxima potencia de transmisión: 27 dBm. - Antena: 2 antenas internas de 5dBi. - Soporta transmisión de datos y voz.
	M-Easy-V57 GreenPacket DX230 	<ul style="list-style-type: none"> -Frecuencia: 2,3 GHz; 2,5 GHz y 3,5 GHz - Chipset: Mediatek - Máxima potencia de Tx: 2x25 dBm. - Posee 2 antenas internas de 5dBi. - Soporta transmisión de voz y datos, WIFI y Tx dual.

Tabla 31. Equipos de usuario Pro-ST de AIRSPAN para usuarios corporativos [17]






PRODUCTO	MODELO	CARACTERÍSTICAS
Equipos ubicados en ambientes exteriores	M-PRO-D75 	-Frecuencia: 2,3 GHz, 2.5 GHz; 3,5 GHz Chipset: Beecem Potencia de Tx: 25 dBm - Antena incorporada de 15 dBi -Posee una antena interna -Soporta transmisión de datos.
	M-PRO-W89 	-Frecuencia: 2,3 GHz; 2,7 GHz; 3,5 GHz Chipset: Sequans Potencia de Tx: 2×23 dBm - Antena incorporada de 15 dBi -Soporta transmisión de voz, datos y Tx dual.
	M-PRO-V79 	-Frecuencia: 700 MHz, 800 MHz, 2,3 GHz, 2,7 GHz; 3,5 GHz Chipset: Sequans Potencia de Tx: 2×23 dBm - Antena incorporada de 15 dBi -Posee una antena interna o externa.
	M-PRO-D85 	-Frecuencia: 2,3 GHz; 2,5 GHz, 3,5 GHz Chipset: Beecem Potencia de Tx: 25 dBm - Antena incorporada de 15 dBi -Soporta transmisión de voz y datos.

Tabla 32. Características Técnicas del CPE Packet MAX 320 ofrecido por Aperto [19].

PRODUCTO	MODELO	CARACTERÍSTICAS
Equipos externos para recepción y transmisión WIMAX	PacketMAX 320 	-Estándar utilizado IEEE 802.16-2004. -Frecuencias: 3,3–3,4 GHz; 3,4–3,6 GHz; 3,65 GHz; 5,1–5,9 GHz -Potencia de Tx: 20 dBm (3 GHz y 5,8 GHz). 17 dBm (5,2 GHz y 5,6 GHz) -AB del canal: 3,5 MHz, 5 MHz y 7 MHz. -Ganancia de las antenas: 3 GHz (17 dBi y 20 dBi); 5 GHz (20 dBi y 24 dBi) -Calidad de servicio (QoS): perfiles QoS de WiMAX, Best Effort (BE). -Mejoras y ventajas competitivas: LOS OLOS y NLOS. -Aplicaciones fijas, móviles y portátiles.

La marca Aperto ofrece un solo equipo terminal de usuario denominado CPE Packet MAX 320 cuyas características se muestran en la tabla 32.

En base al análisis de los equipos terminales de usuario CPE mostrados por los fabricantes Airspan y Aperto, se observa que la línea de productos Airspan posee una mayor variedad de equipos para los usuarios finales, esto es importante debido a que se desea dar a los usuarios finales las mayores facilidades de acceso a internet fijo y portable. Tomando la necesidad de ofrecer una mayor variedad de equipos terminales de usuario (CPE), para continuar con el análisis de factibilidad se tomará en cuenta solamente la línea de equipos ofrecidos por la marca Airspan.

Posteriormente para realizar el análisis económico se tomará en cuenta a los equipos terminales M-Easy-V57 y M-PRO-W89 para la prestación de servicios de internet a nivel residencial y corporativo respectivamente.

5.1.6.3. EQUIPOS ADICIONALES DE LA RED INALÁMBRICA

Anteriormente se realizó una descripción de los principales elementos de la red inalámbrica del proveedor de servicios de internet como son: la Estación Base (BSR) y los Equipos Terminales de Usuario (CPE).

Existen equipos adicionales que sin ser menos importantes son indispensables para el funcionamiento de la red, estos son: La Unidad de Distribución de Estación Base (BSDU) y el Adaptador Único de Canal (SDA).

- **La Unidad de Distribución de Estación Base (BSDU).**- se encarga de proveer una interface entre la MicroMAX Base Station Radio (BSR) y el proveedor de servicios de red. Permite la conmutación de datos con velocidades de hasta 1000BaseT (Gigabit Ethernet). Puede agregar el tráfico de hasta seis BSR, les suministra energía y realiza funciones de sincronización. El BSDU se puede apreciar en la figura 56.



Figura 56. Unidad de Distribución de Estación Base (BSDU).

- **El Adaptador Único de Canal (SDA).**- posee cuatro interfaces de usuario que se utilizan para conectar la estación base al backhaul o backbone. También se puede comunicar en cascada a otras unidades SDA adicionales. Cada puerto del SDA es de tipo RJ45 y cumplen con el estándar IEEE 802.3 10bT/100bT. Posee además un conector DB15 para obtener una conectividad IDU/ODU a través de un adaptador DB15 a RJ45 que es parte del kit SDA. El SDA se puede apreciar en la figura 57.



Figura 57. Adaptador Único de Canal (SDA).

La infraestructura inalámbrica con la tecnología Airspan aplicable al prestador de servicios de internet se puede apreciar en la figura 58.

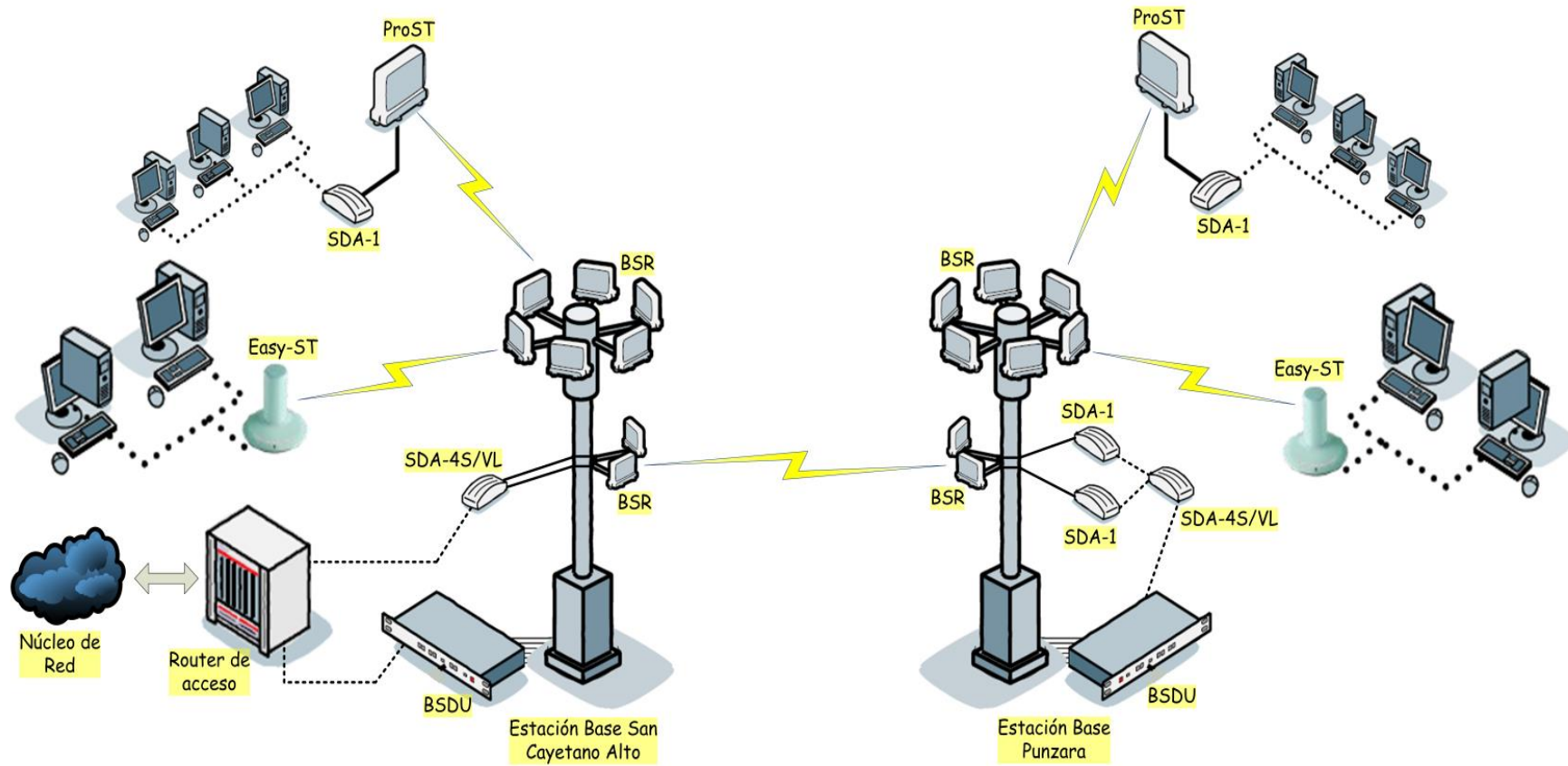


Figura 58. Infraestructura inalámbrica del prestador de servicios de internet con la tecnología Airspan.

5.1.7. ÁREA DE COBERTURA DE LAS ESTACIONES BASE

Una vez realizados los cálculos referentes a las pérdidas de propagación se puede establecer que los clientes podrán ser atendidos por cada estación base con los márgenes adecuados para valores típicos de ganancia de antena, pérdidas y potencia promedio de los equipos. Como siguiente paso se debe establecer la cobertura de cada estación base, la cual estará determinada principalmente por los ángulos de apertura de las antenas ubicadas en las estaciones base, la distribución geográfica de los usuarios y la geografía de la zona. Para realizar la simulación de cobertura de cada una de las estaciones base se utiliza el software Radio Mobile y se introduce las características técnicas de los equipos terminales M-Easy-V57 y M-PRO-W89.

5.1.7.1. ÁREA DE COBERTURA ESTACIÓN BASE SAN CAYETANO ALTO

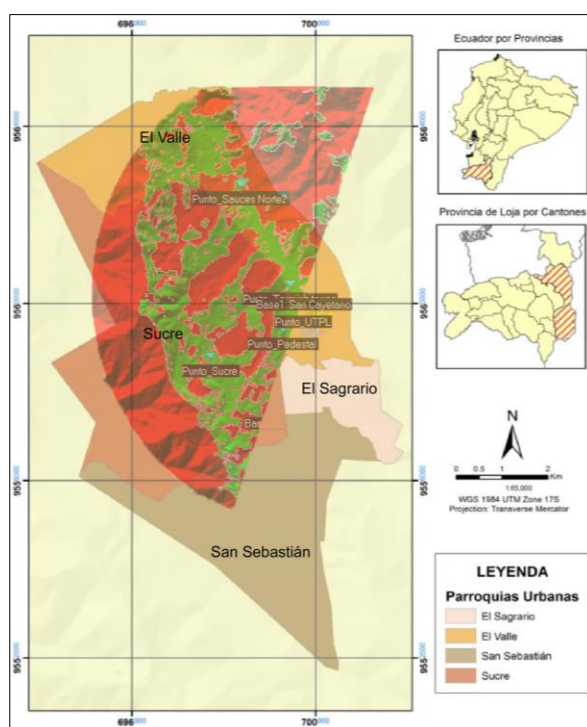


Figura 59. Área de cobertura estación base San Cayetano Alto.

En la figura 59 se muestra la zona de cobertura de la estación base San Cayetano Alto la cual se compone de dos antenas sectoriales de 90° cada una. La simulación se plantea con un alcance máximo de 15 Km, esto debido a que las parroquias más extensas son El Valle y Sucre las mismas que serán cubiertas por dicha estación base. Hay que tomar en

cuenta que ambas antenas poseen un ángulo de apertura de 90°, esto permitirá aumentar la distancia de cobertura.

5.1.7.2. ÁREA DE COBERTURA ESTACIÓN BASE PUNZARA

En la figura 60 se muestra la zona de cobertura de la estación base Punzara la cual se compone de dos antenas sectoriales de 180° cada una. La simulación se plantea con un alcance máximo de 4 Km, esto tomando en cuenta que según la encuesta realizada anteriormente las parroquias más pobladas demostraron ser San Sebastián y El Sagrario. En este caso como las antenas tienen un ángulo de apertura de 180° cada una, la distancia de cobertura disminuirá en comparación con la estación base San Cayetano Alto, la razón es que la mayor concentración de población se encuentra en la parroquia El Sagrario y en la parte norte de la parroquia San Sebastián.

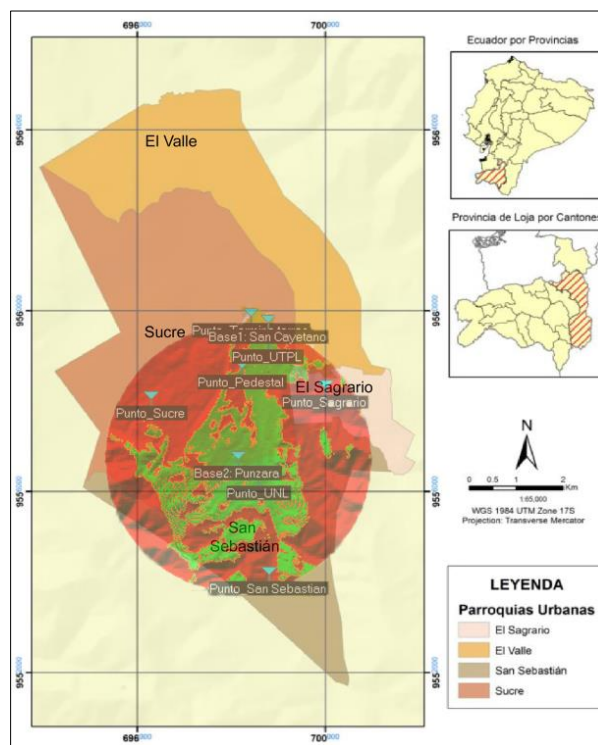


Figura 60. Área de cobertura estación base Punzara.

5.1.7.3. ÁREA DE COBERTURA TOTAL

En la figura 61 se observa el área de cobertura total entre las estaciones base de San Cayetano Alto y Punzara, el color verde indica la existencia de cobertura mientras que el color rojo muestra lo contrario.

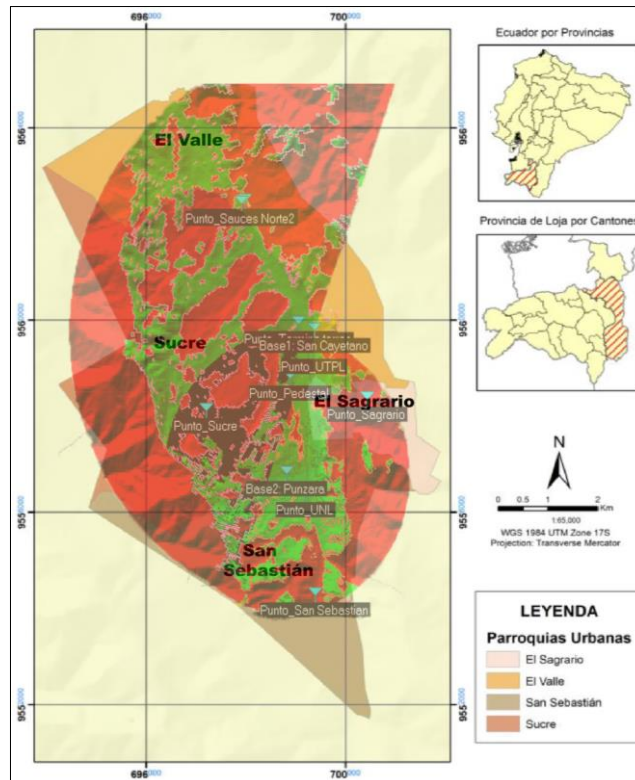


Figura 61. Área de cobertura estaciones base San Cayetano y Punzara.

Se puede observar que no existe una cobertura total de la ciudad de Loja, eso se debe a que el software Radio Mobile calcula únicamente la cobertura LOS (Línea de Vista), sin embargo una de las ventajas de Wimax es que trabaja sobre entornos NLOS (Sin Línea de Vista) y adicionalmente emplea técnicas MIMO, esto mejora considerablemente la cobertura debido a fenómenos como la reflexión y refracción.

5.1.8. INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN EL CUARTO DE TELECOMUNICACIONES


La infraestructura del cuarto de telecomunicaciones del proveedor de servicios de internet se encuentra conformada de las siguientes partes: un router se acceso tanto para usuarios residenciales como corporativos, un router de borde, un cortafuegos (firewall), un conmutador principal y otro redundante en la capa de distribución, cinco servidores para las funciones de: correo electrónico, proxy, DNS, acceso web, administración y contabilidad del sistema. En esta parte del análisis no se ha optado por realizar una comparación de equipos sino más bien tomar en cuenta las observaciones dadas a

conocer por parte de la empresa Sic Electritelecom Cía. Ltda., la cual establece que se utilice las marcas: Cisco, HP (Hewlett-Packard) y Fortigate.

5.1.8.1. ROUTER DE BORDE

El router de borde permite la conectividad de la red interna del proveedor hacia el exterior. Para el presente estudio de factibilidad se optará por el router Cisco Catalyst 3825, sus principales características se muestran en la tabla 33.

Tabla 33. Características del router Cisco Catalyst 3825.

MODELO	Cisco Catalyst 3825
Imagen	
Conectividad LAN	10/100/1000 BaseTX
Conectividad WAN	ATM, ISDN, BRI/PRI, T1/E1
Multiservicio	Voz, datos y video
DRAM	Predeterminada de 256 MB con expansión hasta 1 GB.
Flash	Predeterminada de 64 MB con expansión de hasta 256 MB.
Modular	Si
Puertos USB 2.0	Si
Puerto de consola	RJ45 Asíncrono EIA-232
Puerto auxiliar	Si
Puertos fijos Ethernet	10/100/1000 BaseTX, RJ45
Ranuras para módulos WAN/LAN	Si
IPV6	Si
NAT	Si
ATM, PPP, HDLC, Ethernet	Si
TCP/IP, RIP V2, OSPF, BGP	Si
Diffserv	Si
VPN	Si
Algoritmo de cifrado	AES, DES, 3DES
IEEE 802.1Q VLAN	Si
Telnet, SNMP	Si
Fuente de poder dual	Si
Alimentación 110 V AC/60 Hz	Si

5.1.8.2. ROUTER DE ACCESO


El router de acceso ofrece conectividad tanto a los usuarios corporativos como residenciales. Es el punto de comunicación entre la red inalámbrica y la red interna del

proveedor. En esta parte de la red igualmente se optará por el router Cisco Catalyst 3825 cuyas características se muestran en la tabla.

5.1.8.3. CONMUTADOR

Los conmutadores permiten conectar entre sí los diversos dispositivos de la red. Para el presente diseño se requiere de un conmutador para interconectar los dispositivos de la red interna del proveedor. Tomando en cuenta la importancia que representa el conmutador se utilizará otro equipo de las mismas características para redundancia. El conmutador elegido es el Cisco 3750G 24TS-S, en la tabla 34 se detalla sus características.


Tabla 34. Características del conmutador Cisco 3750G 24TS-S.

MODELO	Cisco 3750G 24TS-S
Imagen	
Puertos Ethernet	24 puertos 10/100/1000bT autosensing RJ45
Puerto UL 1000 Base TX fijo	Si
Multiservicio	Voz, datos y video
DRAM	Predeterminada de 128 MB con expansión.
Flash	Predeterminada de 16 MB con expansión.
Nivel de conmutación	2 y 3
Backplane sobre 30 Gaps. Full Duplex	Si
Puerto de consola	RJ45 Asíncrono EIA-232
Puerto auxiliar	Si
Velocidad de conmutación de paquetes	35 Mbps
Soporte de VLAN	Si
Direcciones MAC sobre 10k	Si
Ranuras para módulos WAN/LAN	Si
IPV6	Si
Spanning Tree Protocol STP, IEEE 802.11d	Si
Manejo de enlaces Trunking	Si
ACLs (Access List) L2-L3	Si
Diffserv	Si
VPN	Si
IEEE 802.1x	Si
Telnet, SNMP, TFTP, VTP	Si
Alimentación de energía redundante	Si

5.1.8.4. CORTAFUEGOS (FIREWALL)

El Cortafuegos o Firewall se trata de un dispositivo capaz de proteger a la red del proveedor contra el acceso no autorizado. Puede ser un dispositivo de hardware, aplicaciones de software o una combinación de ambos. Se coloca generalmente en el punto de conexión de la red interna con la red externa. Para el presente diseño se optará por un dispositivo de hardware debido a que estos dispositivos son apropiados para empresas grandes, proporcionan protección para varios equipos y son independientes de los demás dispositivos. El equipo elegido para el presente diseño es el Fortigate FGT-800, sus características se muestran en la tabla 35.


Tabla 35. Características del Firewall Fortigate FGT-800.

MODELO	Fortigate FGT-800
Imagen	
RAM	512 GB
Rendimiento	600 Mbps
Número de usuarios	Ilimitado
2500 sesiones de usuario VPN SSL	Si
Nº de conexiones simultáneas	300000
Nº de conexiones por segundo	10000
Flash	64 MB
Puertos Ethernet	10/100/1000 Base T-RJ45
Puertos USB 2.0	Si
Ranura de expansión de memoria y conectividad	Si
Puerto de consola	Si
20 VLAN's (802.1Q)	Si
Soporte Ipsec	si
IPv6	Si
Algoritmo de cifrado	AES, DES, 3DES
Certificación ICASA	Si
Anti-X (Antivirus, antispyware, bloqueo de archivos, antispam, antipishing y filtrado URL)	Si
DiffServ	Si
Alimentación	110V AC/60 Hz

5.1.8.5. SERVIDORES

En informática, un servidor es un nodo que, formando parte de una red provee servicios a otros nodos denominados clientes. La diferencia principal entre los servidores y las computadoras normales radica en el rendimiento. Para el presente diseño se plantea el uso de cinco servidores que serán utilizados por el proveedor de servicios de internet, estos servidores son: correo electrónico, proxy, DNS, WEB, administración y contabilidad. El tipo de equipo utilizado es el HP Proliant DL380 G7, cuyas características se muestran a continuación en la tabla 36.

Tabla 36. Características del servidor HP Proliant DL380 G7.

Imagen	
Modelo	HP Proliant DL380 G7
CPU	Intel Xenon E5640
Procesador	2,66 GHz
Número de núcleos	Quad-Core
RAM	12 GB, expandible hasta 192 GB.
Tecnología de la RAM	DDR3 SDRAM
Velocidad de memoria	1066 MHz
Almacenamiento	Tipo 1 x RAID - tarjeta de inserción - PCI Express 2.0 x8
Tamaño del bufer	256 GB
Memoria de video	64 MB
Puertos Ethernet	4 x Gigabit Ethernet
Controlador Ethernet	2 x HP NC382i
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet
Normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.1Q, IEEE 802.3ab, IEEE 802.1p, IEEE 802.3ad (LACP)

La red del prestador de servicios de internet incluyendo la infraestructura inalámbrica y los equipos incluidos en el cuarto de telecomunicaciones se muestra en la figura 62.

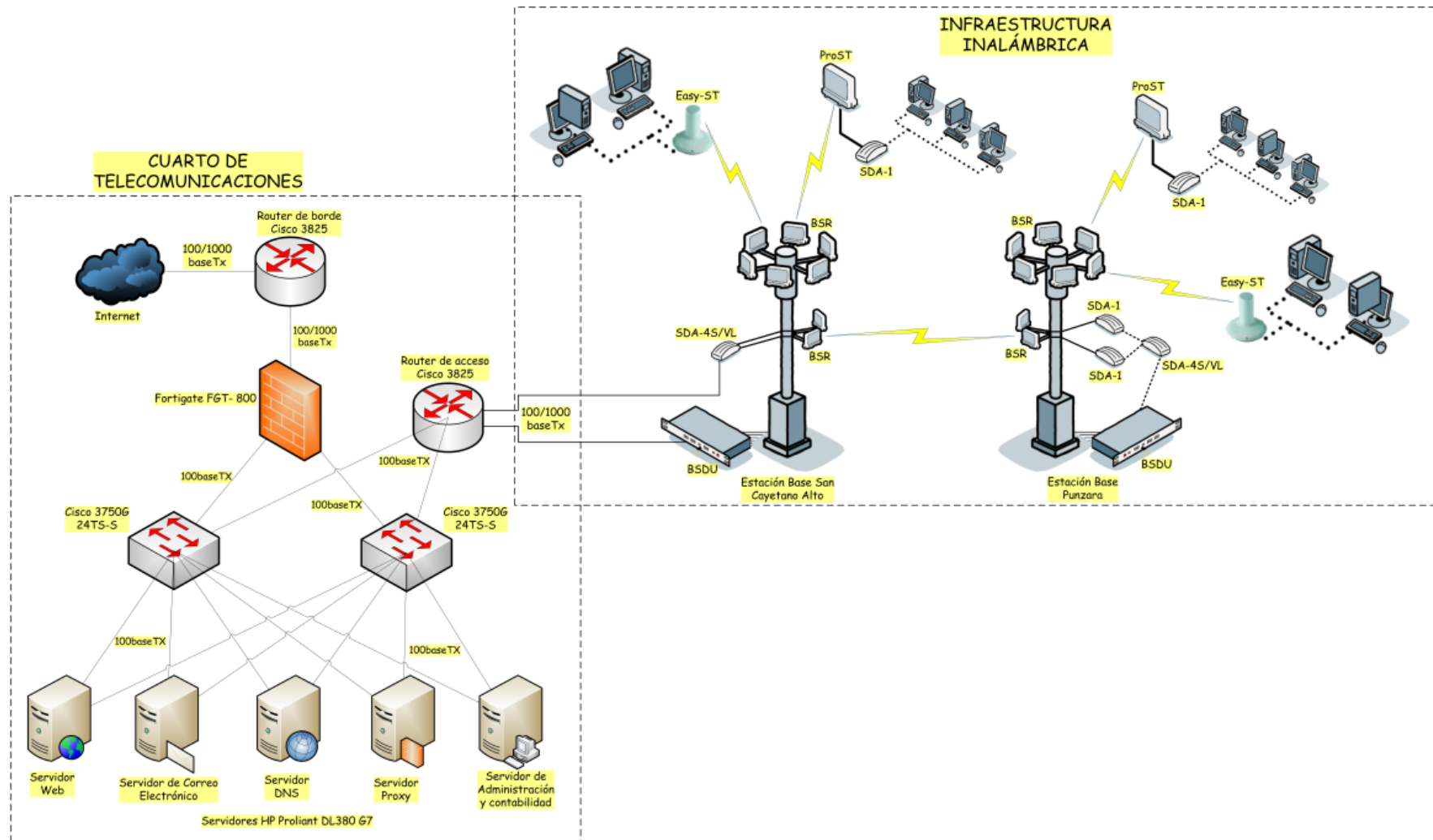


Figura 62. Infraestructura inalámbrica y equipamiento del cuarto de telecomunicaciones del proveedor de servicios de internet.

5.2. INVERSIÓN DEL PROYECTO

El presente estudio, permite determinar la viabilidad de la implementación de la Tecnología Wimax en la ciudad de Loja. La evaluación financiera se realiza en torno a los siguientes puntos: determinación de la inversión inicial, costo de equipos para la tecnología Wimax: equipamiento de las estaciones base, equipamiento de CPE's, infraestructura y planta externa, costo de las concesiones y mano de obra.

Los costos de los equipos que se detalla a continuación han sido obtenidos mediante las proformas enviadas por los proveedores ANDESwireless y SELESTA NETWORKS; así como de estudios actuales relacionados a implementaciones con la tecnología Wimax. La cotización referente a infraestructura y planta externa ha sido realizada por la empresa Sic Electritelecom Cía. Ltda.

5.2.1. DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

Como primera parte de los costos se especifica el equipamiento con tecnología Airspan necesario para armar las dos estaciones base. La descripción de los equipos, cantidad y costos se muestran en la tabla 37.

Tabla 37. Costo de equipamiento necesario para armar las dos Estaciones Base.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Estación base MicroMAX (90°)	2	\$ 8000,00	\$ 16000,00
Estación base MicroMAX (180°)	2	\$ 8000,00	\$ 16000,00
BSDU	2	\$ 3700,00	\$ 7400,00
Enlace PTP en la banda de 5GHz, distancia 5Km entre las dos BS	1	\$ 10 893,27	\$ 10 893,27
Implementos generales (conectores y accesorios)	1	\$ 9262,08	\$ 9262,08
Licencia de Software NetSpan para monitoreo	1	\$ 15500,00	\$ 15500,00
SDA-4S/ VL	2	\$ 165,00	\$ 330,00
SDA-1	2	\$ 33,00	\$ 66,00
TOTAL			75451,35

Para el primer año de operación, se considera tener aproximadamente 112 usuarios, en la Tabla 38 se detalla la cantidad y costos de los equipos terminales de usuario CPE, necesarios para iniciar las actividades del proveedor de servicios de internet.

Tabla 38. Costos de Equipos Terminales de Usuarios (CPE).

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
EasyST	90	\$ 415	\$ 37350,00
ProST	22	\$ 490	\$ 10780,00
SDA-1	22	33,00	\$ 726,00
TOTAL			\$ 48856,00

Independientemente de la tecnología WIMAX a utilizar, se requiere invertir en la infraestructura y planta externa necesaria para la operación de las Estaciones Base. Según cotización emitida por la empresa Sic Electritelecom Cía. Ltda., se requiere una inversión referencial de \$ 15500,00 según se indica en la Tabla 39.

Tabla 39. Costos de Infraestructura y Planta externa.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Torre de 6 metros (Triangular de 30 cm por lado, 1 ½ puladas. de diámetro del tubo, incluye tensores, bandeja portacables e instalación)	2	\$ 4400,00	\$ 8800,00
Sistema de Pararrayos (Pararrayo tipo Franklin, instalación a Polo a Tierra Vertical)	2	\$ 1650,00	\$ 3300,00
Sistema de puesta a Tierra	2	\$ 1700,00	\$ 3400,00
TOTAL			\$ 15 500,00

En la Tabla 40, se describen los costos por concesión de las frecuencias.

Tabla 40. Costos por concesión de frecuencias.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Concesión de la banda de 3.5 GHz	2	\$ 35377,00	\$ 70755,00
Concesión de la banda de 5 GHz	1	\$ 35377,00	\$ 35377,00
TOTAL			\$ 106132,00

En la tabla 41, se resumen los costos de mano de obra, se incluye la instalación y programación de los equipos Airspan por parte de proveedor, el estudio de factibilidad y el sueldo del primer mes para tres personas que van a realizar la instalación.

Tabla 41. Costos de mano de obra.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Instalación y programación de equipos Aispan	1	\$ 2500,00	\$ 2500,00
Estudio de factibilidad técnica-financiera	1	\$ 1500,00	\$ 1500,00
Personal operativo	3	\$ 700,00	\$ 2100,00
TOTAL			\$ 6100,00

En la tabla 42 se muestra los equipos que se encuentran en el cuarto de telecomunicaciones, estos son: router de borde, router de acceso, conmutadores y servidores.

Tabla 42. Equipos del cuarto de telecomunicaciones.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Router Cisco 3825 de Servicios integrados	2	\$ 7289,60	\$ 14579,20
Conmutador Cisco Catalyst 3750G 24TS-S.	2	\$ 4225,00	\$ 8450,00
Cortafuegos Fortigate FGT-800	1	\$ 8976,68	\$ 8976,68
Servidor HP Proliant DL380 G7	5	\$ 3200,00	\$ 16000,00
TOTAL			48005,88

Finalmente en la Tabla 43, se totaliza la inversión necesaria para la ejecución del proyecto, como en toda inversión se incluye un 5% del costo total para imprevistos. Los números demuestran que se requiere una inversión inicial referencial de \$ 315047,49

Tabla 43. Total de la inversión inicial.

Descripción	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Costos de equipamiento para armar las dos Estaciones Base (BS).	1	\$ 75451,35	\$ 75451,35
Costos de Equipos Terminales de Usuarios (CPE).	1	\$ 48856,00	\$ 48856,00
Costos por concesión de frecuencia	1	\$ 106132,00	\$ 106132,00
Costos de Infraestructura y Planta externa	1	\$ 15500,00	\$ 15500,00
Costos de mano de obra	1	\$ 6100,00	\$ 6100,00
Equipos del cuarto de telecomunicaciones	1	\$ 48005,88	\$ 48005,88
SUBTOTAL			\$ 300045,23
IMPREVISTOS 5 %			\$ 15002,26
TOTAL			\$ 315047,49

CAPÍTULO 6

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”

6.1. CONCLUSIONES

- Luego de haber realizado el análisis técnico y de factibilidad del estándar IEEE 802.16m también denominado Wimax 2, se puede establecer que dicha tecnología no es apropiada para ser implementada en el Ecuador tomando en cuenta que desde el punto de vista comercial aún no existen las Estaciones Base ni tampoco los Equipos Terminales de usuario que se encuentren certificados por el Wimax Forum para operar con dicho estándar. Además, las frecuencias aprobadas por el CONATEL (698-806 MHz, 824-849 MHz, 869-894 MHz, 1710-2025 MHz, 2110-2200 MHz y 2500-2690 MHz) para la implementación de las nuevas tecnologías de cuarta generación (4G) no se encuentran consideradas por parte de los fabricantes de la tecnología Wimax.
- Se ha realizado un análisis técnico del estándar IEEE 802.16m, dicha tecnología fue aprobada por el Sector de Radiocomunicaciones de la ITU (ITU-R) y cumple con los requerimientos técnicos establecidos en el reglamento IMT-Advanced para las tecnologías de cuarta generación (4G). Principalmente se caracteriza por permitir elevadas tasas de transmisión de información y movilidad a velocidades vehiculares.
- Se ha logrado identificar los rangos de frecuencia aprobados por el CONATEL para las tecnologías de cuarta generación y que pueden ser utilizadas por el estándar IEEE 802.16m en la implementación de un proveedor de servicios de internet. Sin embargo, en la práctica no se podría utilizar dichas frecuencias pues los fabricantes de tecnología Wimax en su gran mayoría producen equipos que trabajan en los rangos de frecuencia de 3,5 GHz y 5 GHz.
- Se ha realizado un estudio de mercado para implementar un prestador de servicios de internet en la ciudad de Loja, dicho estudio demuestra que existe

apertura e interés por parte de la población para implementar un nuevo servicio de internet de calidad y que permita la transmisión de datos a altas velocidades.

- Se ha realizado un estudio de cobertura, ubicación de nodos y cálculo de enlaces para la implementación de un proveedor de servicios de internet en la ciudad de Loja utilizando la tecnología Wimax. Dicho estudio demuestra que es posible implementar una red Wimax utilizando dos estaciones base permitiendo satisfacer las necesidades de cobertura, además dicha tecnología utiliza técnicas MIMO y opera en ambientes con Línea de Vista (LOS) y sin Línea de Vista (NLOS).
- Se ha realizado la selección de los equipos necesarios para implementar un proveedor de servicios de internet en la ciudad de Loja y con tecnología Wimax, pero al considerar la inexistencia de equipos que operen bajo el estándar IEEE 802.16m, se procedió a seleccionar al fabricante Airspan con el modelo de estación base MicroMAX, el cual maneja los estándares IEEE 802.16d-2004 e IEEE 802.16e-2005. Según la opinión del Ing. Juan Belón Gallego, director general de SELESTA NETWORKS S.A, el estándar IEEE 802.16m no presenta mejoras tecnológicas significativas en comparación a estándares anteriores y además dos de los principales proveedores de tecnología WIMAX como son Tranzeo y Aperto actualmente utilizan los estándares del 2004 y del 2005.
- Se ha determinado el costo referencial inicial para implementar un proveedor de servicios de internet en la ciudad de Loja. Tomando en cuenta que el análisis de costos se ha realizado con los estándares IEEE 802.16d-2004 e IEEE 802.16e-2005, el costo de inversión inicial aquí expuesto representa un valor referencial a ser tomado en cuenta si en algún momento se realiza la implementación con el estándar IEEE 802.16m.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los entes estatales encargados de la administración y control de las telecomunicaciones en el Ecuador realizar estudios detallados acerca de las nuevas tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha, esto por el motivo que existen ciertas tecnologías como el estándar IEEE 802.16m que si bien presenta características técnicas mejoradas, aún no existen los equipos por parte de los fabricantes y que son necesarios para realizar implementaciones.
- Se recomienda a los entes estatales encargados de la administración y control de las telecomunicaciones en el Ecuador tomar en cuenta a las actuales y nuevas tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha, ya que dichas tecnologías pueden ser la solución para disminuir la brecha digital, especialmente en zonas rurales en las cuales el acceso por medios cableados representa un costo muy elevado por usuario.
- Se recomienda que para un futuro tema de investigación relacionado a la factibilidad de implementación de una nueva tecnología de acceso inalámbrico, previamente se verifique la existencia comercial de dichas tecnologías. Hay que tomar en cuenta que al momento que una nueva tecnología se aprueba y se publica, normalmente puede tardar varios años en ser comercializada o incluso puede que dichas tecnologías nunca lleguen a ser vendidas.
- Se recomienda que para futuros estudios de factibilidad relacionados a la creación de una empresa de telecomunicaciones o aplicación de nueva tecnología, se tome en cuenta aspectos de mercado como son: análisis de la oferta, análisis de la demanda y estimación de la demanda insatisfecha. Así mismo dentro del análisis financiero tomar en cuenta aspectos como: la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN) y la relación costo-beneficio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- [1] Ahmadi, S. (2011). *Mobile Wimax. A System Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology*. Burlington, Estados Unidos. Elsevier Inc.
- [2] Andrews, J. Ghosh, A. Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of Wimax: Understanding Broadband Wireless Networking*. Massachusetts. Estados Unidos. Pearson Education, Inc.
- [3] Jordán, V. Galperín, H. Peres, W. (2013). *Banda Ancha en América Latina: más allá de la Conectividad*. División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Chile.
- [4] Sallent, O. Valenzuela, J. Agustí, R. (2003). *Principios de Comunicaciones Móviles*. Barcelona, España. Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- [5] Wang, H. Kondi, L. Luthra, A. Ci, Song. (2009). *4G Wireless Video Communications*. Gran Bretaña. John Wiley & Sons Ltd.
- [6] Wohlers, M. (2008). *Convergencia Tecnológica y Agenda Regulatoria de las Telecomunicaciones en América Latina*. División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Chile.
- [7] Wayne, T. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. (Cuarta Edición). México. Pearson Education, Inc.

TESIS

- [8] Baculima, S. (2010). *Estudio y Diseño de una Red Wimax para la Ciudad de Cuenca*. Denuncia de tesis previo a la obtención del título de Magister en Telemática. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cuenca.
- [9] Hurtado, C. (2011). *Estudio de Factibilidad para la Implementación de LTE (Long Term Evolution) en el Ecuador*. Proyecto previo a la obtención del título

- de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional.
- [10] López, P. (2007). *Comparativa de Tecnologías Emergentes de Acceso a Redes Móviles y Fijas*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Chile.
- [11] Muñoz, J. (2013). *Estudio de Aplicabilidad para la introducción de la tecnología Wimax móvil (protocolo IEEE 802.16e-2005) en Ecuador*. Proyecto de grado para la obtención del título en Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Tecnológica Israel.
- [12] Muñoz, K. (2011). *Análisis de la Tecnología Long Term Evolution (LTE) para su posible Implementación en el Ecuador*. Proyecto de grado para la obtención del título en Electrónica y Telecomunicaciones. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Escuela Politécnica del Ejército.
- [13] Ortiz, D. (2010). *Análisis Comparativo de las Tecnologías Inalámbricas de Banda Ancha para Acceso a Internet, HSPA (High Speed Packet Access) y Wimax (802.16e)*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional.
- [14] Pozo, M. (2010). *Estudio de la Interoperabilidad de la Tecnología inalámbrica: Wimax (Anexo E-2005) del estándar IEEE 802.16 con la red celular de tercera generación: GSM (UMTS)*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional.
- [15] Rangel, V. (2009). *Modelado de Redes Wimax*. Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [16] Yáñez, A. (2008). *Diseño de una Red Wimax (IEEE 802.16e) que brinde Servicios de Voz y Datos en el Sector de Sangolquí*. Proyecto de grado para la obtención del título en Electrónica y Telecomunicaciones. Departamento de Eléctrica y Electrónica. Escuela Politécnica del Ejército.

PÁGINAS WEB

- [17] Airspan Networks. (2013). *MicroMAX Product Specification System Release 7.9*. Enviado el 1 de Noviembre del 2013 por el Ing. Marcos Villanueva.
- [18] Airspan Networks. (2013). *Air4Gp – WL44 5400 TI System Requirements Specification*. Recuperado el 1 de Noviembre del 2013. Enviado el 1 de Noviembre del 2013 por el Ing. Marcos Villanueva.
- [19] ANDESwireless. (2013). *PacketMAX 3000-Base Station*. Enviado el 5 de Noviembre del 2013 por el Ing. Juan Belon Gallego.
- [20] Cambium Netwoks. (2013). *PMP 36320 ACCESS POINT*. Enviado el 6 de Noviembre del 2013 por el Ing. Israel Rojas.
- [21] El Mercurio. (2012). *ETAPA amplía internet Wi-fi y analiza activarlo en buses*. Recuperado el 5 de Mayo del 2013. Dirección: <http://www.elmercurio.com.ec/365513-etapa-amplia-internet-wi-fi-y-analiza-activarlo-en-buses/#.Up0AUcQ9qyU>
- [22] Etapa, telecomunicaciones. (2013). *Banda Ancha*. Recuperado el 21 de Mayo del 2013. Dirección: http://www.etapa.net.ec/Telecomunicaciones/tel_bananc.aspx
- [23] IEEE Standards Association. (2012). *802.16m-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 3: Advanced Air Interface*. Recuperado el 19 de Febrero-2013. Dirección: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16m-2011.html>
- [24] Informe de Coyuntura Económica N°8. (2011). *Dinámica Poblacional en Ecuador*. Recuperado el 5 de Septiembre del 2013. Dirección: <http://www.utpl.edu.ec/comunicacion/wp-content/uploads/2012/12/utpl-Informe-de-coyuntura-economica-N-8-ano-2011.pdf>
- [25] Municipio de Loja. (2005). *Plan participativo de fortalecimiento de la democracia*. Recuperado el 19 de Octubre del 2013. Dirección: <http://www.loja.gob.ec/files/docman/indice.pdf>
- [26] NosoloBlog. (2012). *Wimax basado en OFDM*. Recuperado el 3 de Enero del 2013. Dirección: <http://www.nosoloblog.com/blog/index.php/2011/03/wimax-basado-en-ofdm/>
- [27] Overview of Wimax Mobility Module. (2010). *Wimax network reference model*. Recuperado el 2 de Mayo del 2013. Dirección:

- http://www.juniper.net/techpubs/software/aaa_802/sbrc/sbrc70/sw-sbrc-admin/html/WiMAX_Overview3.html
- [28] Resoluciones CONATEL. (2012). *Resolución TEL-268-11-CONATEL-2012*. Recuperado el 2 de Marzo del 2013. Dirección: http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/tel_268_11_conatel_2012.pdf
- [29] Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL). (2012). *Plan Nacional de Frecuencias*. Recuperado el 15 de Noviembre del 2012. Dirección: www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/consulta-plan-nacional-de-frecuencias/
- [30] Scribd. (2013). *OFDM*. Recuperado el 10 de Enero del 2013. Dirección: <http://es.scribd.com/doc/157707052/OFDM>
- [31] Soluciones Informáticas. (2008). Recuperado el 20 de Noviembre del 2012. Dirección: <http://www.solucionwifi.com.ar/index.html>
- [32] Wimax2. (2013) *¿Qué es Wimax 2?* Recuperado el 20 de Febrero del 2013. Dirección: <http://www.wimax2.es/>
- [33] Wikitel. (2013). *Mapa de las Regiones UIT*. Recuperado el 11 de Noviembre del 2012. Dirección: <http://wikitel.info/wiki/Regi%C3%B3n UIT>.
- [34] Wikipedia. (2013). *ITU, 3GPP, 3GPP2, IEEE*. Recuperado el 16 de Noviembre del 2013. Dirección: <http://es.wikipedia.org/wiki/3GPP>
- [35] WordReference. (2013). *Convergencia*. Recuperado el 3 de Febrero del 2013. Dirección: <http://www.wordreference.com/definicion/convergencia>

ANEXOS

A. ENCUESTA PARA DETERMINAR EL ESTADO ACTUAL DEL SERVICIO DE INTERNET EN LA CIUDAD DE LOJA

A.1. DISEÑO DE LA ENCUESTA

Para determinar el tamaño de la muestra aplicable a la ciudad de Loja se tiene como información inicial que la población de esta ciudad hasta el año 2013 asciende a 206.834 habitantes. La presente encuesta se aplica de manera indistinta a la población con el fin de determinar los sectores de la ciudad en los cuales existe mayor concentración poblacional. La fórmula utilizada para determinar el tamaño de la muestra es:

$$n = Z_{\alpha} \frac{N \times p \times q}{i^2(N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q} \quad (1)$$

De donde:

n= tamaño de la muestra representativa que se desea obtener.

N=tamaño de la población.

Z α = valor correspondiente a la distribución de Gauss (siendo α el nivel de confianza elegido). Habitualmente los valores escogidos son $Z_{\alpha}=1.96$ para $\alpha=0.05$ y $Z_{\alpha}=2.57$ para $\alpha=0.01$)

i = error de estimación o error que se prevé cometer. Por ejemplo, para un error del 10% introduciremos en la fórmula el valor de 0.1

p= es la proporción en que la variable estudiada se da en la población. Prevalencia esperada del parámetro a evaluar. En caso de desconocerse, aplicar la opción más desfavorable ($p=0.5$), que hace mayor el tamaño muestral **q** = (1-p)

q= es la probabilidad de la no selección del elemento muestral, $q=1-p$

Para tener la seguridad de que el tamaño de la muestra es el adecuado se usa los valores de $p=0.5$ y como $q=1-p$, entonces se tiene que $q=0.5$. El nivel de confianza buscado será del 95%. Para este tipo de encuestas se prevé que el error de estimación (i) debe estar entre el 5% y el 8%, para el presente análisis se tomará un valor de $i = 7\%$. Tomando en

cuenta un nivel de riesgo de $\alpha=0.05$, la distribución de Gauss $Z_{\alpha}=1.96 \approx 2$. $N=$ población sobre la cual se va a obtener la muestra, su valor equivale a 206.834

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (1) quedará de la siguiente manera:

$$n = \frac{2 \times 206.834 \times 0,5 \times 0,5}{0.0049 \times (206.833) + 2 \times 0.5 \times 0.5} \quad (2)$$

$$n = 101,99 \approx 102$$

El tamaño total de la muestra será de 102 personas.

Si se desea obtener mayor exactitud en los resultados se puede disminuir el valor de la variable de error de estimación (i) con lo cual aumentaría el tamaño de la muestra.

A.2. FORMATO DE LA ENCUESTA A SER REALIZADA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ENCUESTA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL SERVICIO DE INTERNET EN LA CIUDAD DE LOJA

La presente encuesta tiene por objeto recopilar información con fines didácticos acerca del servicio de internet en la ciudad de Loja.

1. Seleccione la parroquia en la cual se encuentra su domicilio

- a) San Sebastián ()
- b) El Sagrario ()
- c) El Valle ()
- d) Sucre ()

2. Seleccione la parroquia en la cual se encuentra su lugar de trabajo

- a) San Sebastián ()
- b) El Sagrario ()
- c) El Valle ()
- d) Sucre ()

3. ¿Actualmente tiene acceso al servicio de Internet?

- a) Si ()
- b) No ()

4. ¿En caso de ser afirmativa la respuesta anterior, escoja la opción que mejor describa su servicio de Internet?

- c) INTERNET FIJO por medio de cable telefónico ()
- d) INTERNET FIJO por medio de enlace inalámbrico ()
- e) INTERNET FIJO por medio de cable coaxial (TV) ()
- f) PLAN DE DATOS para su teléfono celular o Tablet ()
- g) Desconoce ()

5. ¿Cómo considera la calidad de su servicio actual de Internet?

- a) Mala ()

- b) Regular ()
- c) Buena ()
- d) Muy buena ()

6. ¿Cuál es su apreciación respecto a los siguientes atributos del servicio de Internet?

	Muy Importante	Importante	Poco Importante
Velocidad de transmisión	()	()	()
Precio	()	()	()
Facilidad de pago	()	()	()
Atención-soporte técnico	()	()	()

7. ¿A qué tipo de aplicaciones accede por medio de su servicio de Internet?

- a) Videoconferencia ()
- b) Juegos online ()
- c) Descarga de películas y videos ()
- d) Redes sociales ()
- e) Otro:

8. ¿Qué empresas proveedoras de Internet usted conoce?

- a) CNT ()
- b) MOVISTAR ()
- c) CLARO ()
- d) SPEED TELECOM ()
- e) KLIX LOJA SYSTEM ()
- f) NETPLUS ()
- g) Otro:

9. ¿Considera usted que el Internet actualmente es una necesidad?

- a) Si ()
- b) No ()

10. ¿Estaría interesado(a) en contratar un servicio de Internet para su domicilio o lugar de trabajo?

- a) Si ()
- b) No ()

11. ¿Cuál sería el precio referencial que usted pagaría por el servicio de Internet en su domicilio o lugar de trabajo?

- a) \$16 a \$20 ()
- b) \$21 a \$25 ()
- c) \$26 a \$30 ()
- d) \$31 a \$35 ()
- e) \$36 a \$40 ()
- f) Más de 41 ()

12. ¿Estaría interesado(a) en contratar un servicio de Internet móvil para su celular?

- a) Si ()
- b) No ()

13. ¿Cuál sería el precio referencial que usted pagaría por un servicio de Internet móvil?

- a) \$20 a \$25 ()
- b) \$26 a \$30 ()
- c) \$31 a \$35 ()
- d) \$36 a \$40 ()
- e) Más de \$41 ()