



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED WIMAX CASO PRÁCTICO**

**FASTNET-RIOBAMBA”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN**

Presentado por:

**YOLANDA DEL ROCÍO ESTRADA YAMBAY**

**CRISTIAN MARINO CAMACHO GAIBOR**

Riobamba – Ecuador

2009

Expresamos nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, a la Facultad de Informática y Electrónica, a la Escuela de Ingeniería Electrónica por habernos dado la oportunidad de optar por una carrera terminal, la cual nos permitirá seguir superándonos personal y profesionalmente.

De igual manera al Ing. Daniel Haro, Ing. Paúl Romero, Ing. Patricio Romero, Ing. Fernando Audelo e Ing. Ciro Radicelli; quienes colaboraron como asesores en este trabajo brindándonos su apoyo incondicional cuando se ha requerido.

Queremos hacer extensivo un sentimiento de gratitud a nuestras respectivas familias, por ser quienes nos han alentado para seguir adelante durante todo el acontecer académico.

A NUESTRAS FAMILIAS:

Por su inigualable amor, comprensión y sacrificio, que con ternura perdurable han sido el pilar fundamental en nuestras vidas.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Romeo Rodríguez	.....	.....
<b>DECANO FACULTAD INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA</b>		
Ing. Paúl Romero	.....	.....
<b>DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA ELECTRÓNICA</b>		
Ing. Daniel Haro	.....	.....
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>		
Ing. Paúl Romero	.....	.....
<b>MIEMBRO DE TESIS</b>		
Lcdo. Carlos Rodríguez	.....	.....
<b>DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN</b>		

NOTA DE LA TESIS ESCRITA: .....

Nosotros, YOLANDA DEL ROCÍO ESTRADA YAMBAY y CRISTIAN MARINO CAMACHO GAIBOR, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>AAS</b>	Adaptive Antenna System (Sistema Adaptativo de Antena)
<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard (Encriptación avanzada de datos)
<b>AP</b>	Point Access (Punto de acceso)
<b>ARPU</b>	Average Revenue per User (Ingreso promedio por usuario)
<b>ARQ</b>	Automatic Repeat Request (Solicitud Automática de repetición)
<b>BCU</b>	Unidad de Control de Base
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying (Transmisión por desplazamiento de fase binaria)
<b>BRS</b>	Broadband Radio Service (Servicio de radio de banda ancha)
<b>CAPEX</b>	Capital Expenditure (Gastos de capital)
<b>CPE</b>	Customer Premise Equipment (Equipo de las instalaciones del cliente)
<b>CSMA/CA</b>	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones)
<b>CSMA/ CD</b>	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones)
<b>DFS</b>	Dynamic Frequency Select (Selección de frecuencia dinámica)
<b>DOCSIS</b>	Data Over Cable Service Interface Specification (Especificación de Interfaz de Datos sobre Servicios de Cable)
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital)
<b>DSSS</b>	Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro ensanchado por secuencia directa)
<b>ETRI</b>	Electronics and Telecommunications Research Institute
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones)
<b>FBWA</b>	Fixed Broadband Wireless Access (Acceso fijo inalámbrico de banda ancha)
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones)
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplexing (Duplexación de división de frecuencia)
<b>FDM</b>	Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencia)
<b>FEC</b>	Forward Error Correction (Corrección de Error Anticipado)
<b>FHSS</b>	Frequency Hopping Spread Spectrum (Espectro de dispersión con salto de frecuencia)
<b>FLASH-OFDM</b>	Fast Low-latency Access with Seamless Handoff OFDM (Acceso rápido de baja latencia con OFDM de transferencia íntegra)
<b>FTTN</b>	Fiber to the Node (Fibra al nodo)
<b>FTTP</b>	Fiber to the Premise (Fibra a las instalaciones)
<b>GPS</b>	Global Positioning Systems (Sistema de posicionamiento global)
<b>HPi</b>	High Speed Portable Internet (Internet Portable de alta Velocidad)
<b>HSO</b>	Oscilador de alta estabilidad
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
<b>ILEC</b>	Incumbent Local Exchange Carrier (Operadora local de intercambio)

<b>IP</b>	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
<b>ISP</b>	Internet Service Provider (Proveedor de servicio de Internet)
<b>LAN</b>	Local Access Network (Red de Acceso Local)
<b>LMDS</b>	Local Multipoint Distribution System (Sistema Distribuido Local de Múltiples puntos)
<b>LOS</b>	Line of Sight (Línea de vista)
<b>MAC</b>	Media Access Control (Control de acceso al medio)
<b>MAN</b>	Metropolitan Access Network (Red de Acceso Metropolitano)
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output (Salida Múltiple Entrante Múltiple)
<b>MSO</b>	Multiple Service Operator (Operadora de servicios múltiples)
<b>NLOS</b>	Non Line of Sight (Sin línea de vista)
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer (Fabricante de equipo original)
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal)
<b>OFDMA</b>	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso multiplexado por división de frecuencia ortogonal)
<b>OPEX</b>	Operative Expenditure (Gastos operativos)
<b>PAN</b>	Personal Access Network (Red de acceso Personal)
<b>P2P</b>	Point to Point (Punto a punto)
<b>PCMCIA</b>	Personal Computer Memory Card International Association (Asociación Internacional de Tarjetas de Memoria de Computadora Personal)
<b>PHY</b>	Physical Layer (Capa física)
<b>PMP</b>	Point to Multipoint (Punto a multipunto)
<b>POP</b>	Point of Presence (Punto de presencia)
<b>PTP</b>	Point to Point (Punto a punto)
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de amplitud de cuadratura)
<b>QoS</b>	Quality of Service (Calidad de servicio)
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying (Transmisión por desplazamiento de fase de cuadratura)
<b>RB</b>	Puente Remoto
<b>RF</b>	Radio Frequency (Frecuencia de radio)
<b>SME</b>	Small to Medium Enterprise (Pequeña y mediana empresa)
<b>SOHO</b>	Small Office, Home Office (Pequeña oficina, oficina en el hogar)
<b>SS</b>	Suscriber Station (Estación de abonado)
<b>TDD</b>	Time Division Duplexing (Dúplex por división de tiempo)
<b>UWB</b>	Ultra Wide Band (Banda ultra ancha)
<b>VoIP</b>	Voice over IP (Voz sobre Protocolo de Internet)
<b>WAN</b>	Wide Area Network (Red de áreas extensas)
<b>WIFI</b>	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica, se utiliza genéricamente cuando se habla a cualquier red 802.11, tanto 802.11b, 802.11a, banda dual, etc.)
<b>WISP</b>	Wireless ISPs (Proveedor de servicio inalámbrico de Internet)
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network (Red inalámbrica local)
<b>WMAN</b>	Wireless Metropolitan Area Network (Red inalámbrica de áreas metropolitanas)
<b>WWAN</b>	Wireless Wide Area Network (Redes inalámbricas de áreas extensas)

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.I	Hardware existente.....	21
Tabla I.II	Software existente.....	21
Tabla I.III	Software requerido.....	22
Tabla I.IV	Lista de materiales a utilizar.....	22
Tabla II.V	Tabla de Comparación WIMAX vs WI-FI.....	31
Tabla II.VI	Tabla de asignación mundial de banda autorizada con licencia y exenta de licencia.....	39
Tabla II.VII	Bandas y frecuencias disponibles para WIMAX.....	40
Tabla II.VIII	Diferencias OFDM WIMAX vs WI-FI.....	50
Tabla III.IX	Número de usuarios con acceso inalámbrico en Riobamba.....	82
Tabla III.X	Cálculo de la desviación típica.....	85
Tabla III.XI	Resultados obtenidos de la primera pregunta.....	87
Tabla III.XII	Resultados obtenidos de la segunda pregunta.....	89
Tabla III.XIII	Resultados obtenidos de la tercera pregunta.....	90
Tabla III.XIV	Resultados obtenidos de la cuarta pregunta.....	92
Tabla III.XV	Resultados obtenidos de la quinta pregunta.....	93
Tabla III.XVI	Resultados obtenidos de la sexta pregunta.....	95
Tabla III.XVII	Resultados obtenidos de la séptima pregunta.....	95
Tabla III.XVIII	Resultados obtenidos de la octava pregunta.....	98
Tabla III.XIX	Resultados obtenidos de la novena pregunta.....	99
Tabla III.XX	Datos obtenidos en la encuesta.....	103
Tabla III.XXI	Aplicación del Método Chi Cuadrado.....	104
Tabla III.XXII	Resultados para aplicación de Método Chi Cuadrado.....	105
Tabla III.XXIII	Datos para aplicación de método ANOVA.....	108
Tabla III.XXIV	Resultados de Método ANOVA en octava pregunta.....	111
Tabla III.XXV	Resultados de Método ANOVA en novena pregunta.....	114
Tabla IV.XXVI	Distribución de las portadoras según ancho de banda del canal con la permutación PUSC.....	128
Tabla IV.XXVII	Distribución de las portadoras según ancho de banda del canal con la permutación AMC.....	129
Tabla IV.XXVIII	Distribución de las portadoras para un canal de 5MHz.....	129
Tabla IV.XXIX	Parámetros SOFDMA.....	131
Tabla IV.XXX	Modulación y tasas de información.....	134
Tabla IV.XXXI	Cálculo de capacidad.....	136
Tabla IV.XXXII	Distancias máximas para distintas condiciones.....	139
Tabla IV.XXXIII	Modulación y tasa de señal de ruido máxima necesaria.....	140
Tabla IV.XXXIV	Equipos destinados para el acceso WIMAX.....	153
Tabla IV.XXXV	Definición de conexión para equipo BreezeNet B100.....	167
Tabla IV.XXXVI	Coordenadas geográficas de puntos de diseño de red.....	172
Tabla IV.XXXVII	Equipamiento de Estación Base.....	183
Tabla IV.XXXVIII	Equipamiento de estaciones suscriptoras.....	184
Tabla IV.XXXIX	Equipamiento backhaul.....	184
Tabla IV.XL	Personal requerido.....	184
Tabla IV.XLI	Gastos instalación.....	185
Tabla IV.XLII	Gastos de Implementación total.....	185

## INDICE DE FIGURAS

Figura II.1	Segmentos objetivo de tecnología inalámbrica.....	29
Figura II.2	Arquitectura de WIMAX con WI-FI.....	34
Figura II.3	Extensión de W-IFI por medio de WIMAX.....	34
Figura II.4	Diversidad de Transmisión en OFDM.....	51
Figura II.5	Versiones WIMAX.....	55
Figura II.6	Topología de la red de WIMAX de los servicios para el Usuario.....	62
Figura II.7	Antena Inteligente WIMAX.....	67
Figura II.8	Base o terminal de WIMAX.....	70
Figura II.9	Mejora de flexibilidad usando tecnología de canalización y de antenas Inteligentes.....	73
Figura III.10	Gráfica de las personas que han contesta en la primera pregunta que SI.....	88
Figura III.11	Gráfica de las personas que han contesta en la primera pregunta que NO.....	88
Figura III.12	Gráfica de las personas que han contesta en la segunda pregunta que SI.....	89
Figura III.13	Gráfica de las personas que han contesta en la segunda pregunta que NO.....	90
Figura III.14	Gráfica de las personas que han contesta en la tercera pregunta que SI.....	91
Figura III.15	Gráfica de las personas que han contesta en la tercera pregunta que NO.....	91
Figura III.16	Gráfica de las personas que han contesta en la cuarta pregunta que SI.....	92
Figura III.17	Gráfica de las personas que han contesta en la cuarta pregunta que NO.....	93
Figura III.18	Gráfica de las personas que han contesta en la quinta pregunta que SI.....	94
Figura III.19	Gráfica de las personas que han contesta en la quinta pregunta que NO.....	94
Figura III.20	Gráfica de las personas que han contesta en la sexta pregunta que SI.....	95
Figura III.21	Gráfica de las personas que han contesta en la sexta pregunta que NO.....	96
Figura III.22	Gráfica de las personas que han contesta en la séptima pregunta que SI.....	97
Figura III.23	Gráfica de las personas que han contesta en la séptima pregunta que NO.....	97
Figura III.24	Gráfica de las personas que han contestado la octava pregunta.....	98
Figura III.25	Gráfica de las personas que han contestado la novena pregunta.....	99
Figura IV.26	Modelo gráfico de la Zona de Fresnel.....	118
Figura IV.27	Propagación OLOS.....	119
Figura IV.28	Curvas de atenuación relativa Okumura.....	124
Figura IV.29	Estructura de símbolo TDD.....	130
Figura IV.30	Capacidad WIMAX.....	136

Figura IV.31	Capacidad máxima para cada permutación.....	137
Figura IV.32	Distancia máxima dependiendo de la modulación.....	141
Figura IV.33	Distancia y capacidad para las distintas modulaciones.....	141
Figura IV.34	Esquema actual de la empresa FASTNET Cía. Ltda.....	147
Figura IV.35	Posible esquema de conexión mediante tecnología WIMAX.....	148
Figura IV.36	Situación topográfica de la ciudad de Riobamba (Radio Mobile).....	149
Figura IV.37	Mapa visto desde el Google Earth con la ubicación de los puntos más relevantes del diseño .....	152
Figura IV.38	Equipo WAP 400 estación base.....	153
Figura IV.39	Esquemático del equipo WAP 400.....	155
Figura IV.40	Unidad de control de Base (BCU).....	159
Figura IV.41	Motorola CPEi 725.....	162
Figura IV.42	Motorola CPEi 600.....	164
Figura IV.43	Motorola CPEo 450.....	165
Figura IV.44	BreezeNet B100 para enlace punto a punto.....	167
Figura IV.45	Diagrama de instalación de equipo estación base.....	169
Figura IV.46	Esquemático de instalación de modulo suscriptor.....	169
Figura IV.47	Esquema del Diseño de Red con tecnología WIMAX.....	171
Figura IV.48	Mapa de la ciudad de Riobamba con los puntos para enlace Backhaul.....	174
Figura IV.49	Vista 3D de la topografía y los puntos para enlace backhaul para la ciudad de Riobamba.....	174
Figura IV.50	Gráfica de la simulación con los valores predeterminados para el enlace de radio punto a punto.....	175
Figura IV.51	Gráfica de los valores obtenidos por el simulador en el enlace backhaul.....	176
Figura IV.52	Estadística para umbral del receptor.....	176
Figura IV.53	Estadística de éxito para radioenlace en el backhaul.....	177
Figura IV.54	Cerro PUCHALIM visto desde FASTNET Cía. Ltda.....	177
Figura IV.55	Línea de vista real desde el Cerro Puchalim hacia el punto de acceso a internet en el hospital San Juan ubicación de la Empresa Fastnet Cía. Ltda.....	178
Figura IV.56	Cerro Puchalim lugar donde se ubicara la estación base.....	179
Figura IV.57	Ubicación geográfica de la ciudad de Riobamba.....	179
Figura IV.58	Ubicación de la estación base y puntos más sobresalientes en la cobertura.....	180
Figura IV.59	Vista 3D de la ubicación de la estación base y puntos más sobresalientes en la cobertura.....	180
Figura IV.60	Vista 3D de la ubicación de la estación base y puntos más sobresalientes en la cobertura.....	181
Figura IV.61	Gráfica de cobertura de la estación base (20km).....	182
Figura IV.62	Gráfica de cobertura de la estación base (10Km).....	182
Figura IV.63	Gráfica 3D de cobertura de la estación base (20Km).....	183

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA

RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

INDICE DE ABREVIATURAS

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

### **CAPITULO I: MARCO REFERENCIAL**

1.1. Planteamiento del Problema.....	17
1.2. Justificación.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. General.....	19
1.3.2. Específicos.....	19
1.4. Alcance.....	20
1.5. Hipótesis.....	20
1.6. Recursos de Proyecto.....	21
1.6.1. Recursos Humanos.....	21
1.6.2. Equipos a utilizar.....	21
1.6. 3. Materiales a utilizar.....	22
1.7. Métodos y técnicas.....	22

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1. Introducción.....	24
2.2. Introducción a la tecnología Inalámbrica WIMAX.....	26
2.2.1. ¿Qué es la tecnología Inalámbrica de Banda Ancha WIMAX?.....	26
2.2.2. ¿Tecnología Inalámbrica o Móvil? .....	28
2.2.3. Redes Inalámbricas .....	28
2.3. Características de WIMAX (Estándar IEEE 802.16x) .....	30
2.3.1. Comparación de la tecnología Inalámbrica WI-FI y WIMAX (Estándar 802.16).....	30
2.3.1.1. Backhaul Inalámbrico en una red WI-FI.....	32
2.3.2. Relación WI-FI y WIMAX.....	33
2.3.3. Tipos de Servicios de la Tecnología WIMAX.....	35
2.3.4. Topologías.....	35
2.3.4.1. Topología Punto a Punto.....	36
2.3.4.2. Topología Punto Multipunto .....	36
2.3.4.3. Topología en Nodos Multipunto.....	37
2.3.4.4. Topología en Nodos Metropolitanos.....	37
2.3.4.5. Topología en Nodos Mixtos.....	38
2.3.5. Cobertura.....	38
2.3.6. Bandas y Espectros de Frecuencia.....	39
2.3.6.1. Espectro sin Licencia.....	41
2.3.6.2. Espectro con Licencia.....	43
2.3.6. 2.1. 2.5 GHz.....	43
2.3.6. 2.2. 3.5 GHz.....	44
2.3.6. 2.3. 700 MHz.....	44
2.3.6. 2.4. 2.3 GHz.....	45
2.3.7. Espectro de Transmisión y Velocidad.....	46
2.3.7.1. Canal Flexible.....	46

2.3.8. Seguridad.....	47
2.3.9. Límites y Alcances.....	48
2.3.10. Modulación.....	49
2.3.10.1. Subcanalización.....	51
2.3.10.2. Duplexación.....	52
2.4. Estandarización.....	54
2.4.1. Historia de la estandarización de la Tecnología WIMAX.....	54
2.4.2. IEEE 802.16-2004.....	55
2.4.3. IEEE 802.16-e.....	57
2.4.4. WiBro.....	58
2.4.5. Ventajas.....	59
2.4.5.1. Ventajas Generales.....	59
2.4.5.2. Ventajas para los operadores.....	60
2.4.5.3. Ventaja clave para los mercados emergentes.....	61
2.4.5.4. Ventajas para grandes empresas.....	61
2.4.5.5. Ventajas para usuarios finales.....	62
2.4.6. Desventajas.....	63
2.4.7. Aspectos Económicos, técnicos de la tecnología WIMAX.....	63
2.4.7.1. Aspectos económicos.....	63
2.4.7.2. Aspectos Técnicos.....	64
2.4.7.3. Desafíos técnicos y comerciales.....	65
2.4.8. Hardware y Software que utiliza que utiliza WIMAX.....	65
2.4.8.1. Antenas Inteligentes (Smart Antenas).....	65
2.4.8.2. Redes Malladas.....	67
2.4.8.3. La interface de Banda Ancha Intel PRO/Wireless 5116 (rosedale).....	67
2.4.9. Medios de Acceso a la tecnología WIMAX.....	68
2.4.9.1. Tarjeta para numeración Base WIMAX.....	68
2.4.9.2. Tratamiento de los problemas de interferencia y calidad de servicio.....	70

2.4.10. El futuro de WIMAX.....	74
2.5. Aplicaciones de la tecnología WIMAX.....	75
2.5.1. Beneficio de WIMAX a los países en desarrollo.....	76

**CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE WIMAX EN EL ÁREA DE  
COBERTURA DE FASTNET Cía. Ltda.**

3.1. Situación Actual de la empresa FASTNET Cía. Ltda.....	78
3.1.1. Objetivos .....	79
3.1.2. Misión.....	79
3.1.3. Visión.....	79
3.1.4. Servicios.....	80
3.1.5. Cobertura.....	82
3.2. Introducción al Estudio de Mercado .....	83
3.3. Estudio de Factibilidad.....	84
3.3.1. Estudio de Mercado.....	84
3.3.1.1. Análisis histórico.....	84
3.3.1.2. Diseño estadístico de la Investigación .....	84
3.3.1.2.1. Definición de la población.....	84
3.3.1.2.2. Cálculo de la muestra.....	85
3.3.1.2.3. Marco Muestral.....	85
3.3.1.2.4. Aplicación del muestreo.....	86
3.3.1.2.5. Encuesta.....	87
3.3.1.2.5.1. Tabulación de la Encuesta.....	87
3.3.1.2.5.2. Interpretación de los Resultados Obtenidos en las Encuestas .....	100
3.3.1.2.5.2.1. Método Chi Cuadrado.....	100
3.3.1.2.5.2.2. Método ANOVA.....	107
3.4. Conclusión del Estudio.....	114

## **CAPITULO IV: DISEÑO DE LA RED WIMAX PARA LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

4.1. Introducción.....	117
4.2. Modelos de Propagación.....	120
4.2.1. Modelo de Propagación en el espacio Libre.....	121
4.2.2. Modelo de Propagación Okumura .....	122
4.2.3. Modelo de Propagación Okumura-Hata.....	124
4.2.4.4. Modelo COST 231.....	126
4.3. Modelo de cálculo de capacidad.....	127
4.3.1. Estructura OFDMA.....	128
4.3.2. OFDMA escalable (SOFDMA).....	131
4.3.3. Modelo de capacidad.....	133
4.4. Cálculo de capacidad y cobertura.....	135
4.4.1. Cálculo de capacidad e los sistemas WIMAX.....	135
4.4.2. Cálculo de cobertura de los sistemas WIMAX.....	137
4.5. Software de Simulación.....	142
4.5.1. Radio Mobile.....	142
4.5.2. Google Earth.....	143
4.6. Diseño de la Red.....	143
4.6.1. Evaluación técnica.....	143
4.6.1.1. Introducción.....	143
4.6.1.2. WIMAX IEEE 802.16.....	144
4.6.1.3. Estructura Actual de la empresa FASTNET Cía. Ltda.....	146
4.6.1.4. Diseño y aplicación de la tecnología WIMAX.....	148
4.6.1.5. Análisis topográfico.....	149
4.6.1.6. Criterios para la planificación de frecuencias.....	149
4.6.1.7. Diseño de Red Inalámbrica.....	150
4.6.1.8. Equipo Activo.....	153

4.6.1.8.1. Punto de Acceso.....	153
4.6.1.8.2. Módulo suscriptor.....	163
4.6.1.8.3. Backhaul.....	165
4.6.1.8.4. Diagramas de Instalación.....	171
4.6.2. Simulación de Enlaces.....	172
4.6.2.1. Enlace punto a punto.....	173
4.6.2.2. Cobertura Sistema Estación Base.....	178
4.7. Estudio Económico .....	183
4.7.1. Equipamiento Estación Base.....	183
4.7.2. Unidades Suscriptoras.....	184
4.7.3. Backhaul.....	184
4.7.4. Personal.....	184
4.7.5. Gastos de Instalación.....	185

BIBLIOGRAFIA

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

ANEXOS

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La banda ancha se ha convertido en la infraestructura clave para el impulso y desarrollo de la sociedad y la economía del conocimiento en el siglo XXI. Cada vez más se hace necesario el buscar nuevas soluciones de acceso a la banda ancha de internet; la evolución a mediano y a largo plazo de las infraestructuras y los servicios de banda ancha fijos y móviles se ha convertido en el debate central para todos los agentes presentes en la cadena de valor.

Se debe considerar que muchas de las soluciones actuales de acceso a la banda ancha de internet y desplegadas en nuestro país son obsoletas o no brindan las prestaciones necesarias para satisfacer las necesidades de los usuarios que en la actualidad buscan un servicio de acceso a internet de con mayores prestaciones y alta calidad de servicio.

Con lo antes mencionado se puede decir que el objetivo principal de esta tesis es el de dar a conocer una posible solución a los problemas de acceso antes citados para eso se plantea la tecnología WIMAX como medio de acceso a la banda ancha que en su exposición pretende ser la revolución para servicios de banda ancha con altas prestaciones y calidad de servicio; cabe recalcar que la tesis busca profundizar en el tema dando a conocer los diferentes estamentos que la caracterizan además de una posible solución mediante el diseño de la red con esta tecnología para una cobertura en la ciudad de Riobamba.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente el acceso a internet se hace muy necesario para el desarrollo de nuestra sociedad puesto que este tipo de servicio enriquece el conocimiento de los mismos ponderando que cada una de las personas debe tener acceso a internet en la proximidad del tiempo.

Una de las tecnologías que actualmente está en auge son las redes WWAN que permite el acceso a internet principalmente por el hecho de que esta se lo hace en forma inalámbrica permitiendo mayor movilidad dentro de una posible área de cobertura.

Los WISP han batallado por mucho tiempo por tecnologías inalámbricas que permitan el acceso inalámbrico en áreas metropolitanas. Además del acceso a áreas muy alejadas, difíciles o demasiado caras para llegar con las infraestructuras cableadas para lo cual se requiere nuevas tecnologías y un enfoque diferente, parte de eso el estudio de nuevas tecnologías se hace necesario; para eso esta tesis busca ser una solución a este tipo de problemas antes descritos y muy comunes en la actualidad.

Esta tesis busca enfocarse en la tecnología WIMAX como solución a problemas de acceso a internet para lo cual se despliega un estudio completo sobre este tema dando a conocer algunas de sus características, funcionalidades y demás que comprenden la misma. Un alcance del mismo conlleva a desarrollar un estudio y diseño de la red WIMAX que proyecta cubrir toda la ciudad de Riobamba como parte de una futura implementación por parte de la empresa FASTNET Cía. Ltda. que ha brindado el apoyo para el desarrollo de esta tesis.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. General**

Estudiar y diseñar una red inalámbrica con tecnología WIMAX para la ciudad de Riobamba.

#### **1.3.2. Especificos**

- Investigar sobre las tecnologías WIMAX y diseñar la red que cubra la ciudad de Riobamba.
- Determinar la factibilidad de la posible implementación de este tipo de red.

- Evaluar características cualitativas y cuantitativas de la tecnología Inalámbrica de banda ancha con alta velocidad WIMAX referenciando estándares y demás conceptos de este tema.
- Analizar, comparar y proponer equipos adecuados para su implementación referida a costos versus rendimiento.
- Realizar una simulación de cobertura y alcances mediante software de cobertura basándonos en el diseño previamente establecido.

#### **1.4. ALCANCE**

La propuesta tiene como finalidad evaluar la posible implementación de la tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha 802.16- 2004 (WIMAX) en la ciudad de Riobamba, que permita a FASTNET Cía. Ltda. ampliar su red de telecomunicaciones donde el acceso a los diferentes lugares es difícil, además de brindar mayores velocidades de acceso a internet y de esta manera ofrecer servicios a los clientes corporativos y residencial.

Además busca dar a conocer este tipo de tecnologías que actualmente se abren camino en el desarrollo de las telecomunicaciones, al igual que permitir mostrar un documento esto en el marco de material de consulta a los estudiantes que buscan conocer acerca de este tema y demás personas interesadas en el mismo.

#### **1.5. HIPÓTESIS**

El diseño de una red WIMAX para la ciudad de Riobamba representará una alternativa tecnológica para mejorar el servicio ofrecido por la empresa FASTNET Cía. Ltda. en la ciudad.

## 1.6. RECURSOS DEL PROYECTO

### 1.6.1. Recursos Humanos

Contaremos con la colaboración de las siguientes personas

- Los Investigadores
- El tutor
- Colaboradores

### 1.6.2. Equipos a Utilizar

#### Hardware Existente

Tabla I. Hardware existente

CANTIDAD	NOMBRE	ESTADO
1	Computadora Pentium 4	Óptimo
1	Impresora Canon IP1700	Óptimo

#### Software Existente

Tabla II. Software existente

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	ESTADO
Windows XP	Sistema Operativo	No Legal
Microsoft Word	Procesador de Texto	No Legal
Microsoft Visio	Diseño de diagramas	No legal

**Software**

**Requerido**

**Tabla III.** Software requerido

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>ESTADO</b>
Radio Mobile	Simulador de Enlaces	Software libre

### 1.6.3. Materiales a utilizar

**Tabla IV.** Lista de materiales a utilizar

<b>MATERIAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TÉCNICAS</b>
Direcciones URL	Foros, tutoriales, otros	
Artículos Técnicos	Información actualidad	
Libros	Información	
Revistas	Información	
Memoria Flash	Almacenamiento de información	
Cartuchos de tinta	Impresiones	
CD, DVD	Almacenamiento de información	
Hojas	Impresión	
Copias, impresiones	Sustento de información	
Por la naturaleza	GPS	Equipo de posicionamiento global del proyecto

se considera que el tipo de estudio que se va a realizar es una investigación experimental sobre la implementación de una red inalámbrica WIMAX; es decir analizar y diseñar una solución para el diseño de una red WIMAX para la ciudad de Riobamba basado en los diferentes estándares que rigen el diseño y estudio de este tipo

Se utilizará para este proyecto los siguientes métodos de investigación:

### **Método Científico**

El método científico es el conjunto de procedimientos lógicos que sigue la investigación para descubrir las relaciones internas y externas de los procesos de la realidad natural y social.

- **Método de Observación:** ya que se tendrá que detectar ciertos rasgos de los estándares propuestos para las tecnologías de redes inalámbricas.
- **Método Inductivo:** Debido que al observar particularmente los estándares de las tecnologías WIMAX se va a llegar a una propuesta que permita solucionar problemas causados por la interferencia.
- **Método de Análisis:** solo usa puesto que se necesita debatir los diferentes componentes dentro del diseño de este tipo de red.
- **Métodos Empírico, Comparativo y Estadístico:** Para complementar procesos que se ejecutarán dentro de la investigación.

También se utilizará ciertas técnicas para la recolección de información como las siguientes:

- Observación
- Encuestas
- Sondeos
- Simulaciones

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

La conectividad es vital para las empresas y la sociedad, por lo que la globalización y el Internet han creado un rápido crecimiento en las empresas relacionadas con la tecnología informática (cableada e inalámbrica), estos servicios como el Internet, redes virtuales privadas, etc. proporcionan un medio para que las personas estén en contacto a nivel empresarial así como también entre amigos y familia por medio de correo electrónico, charlas de vídeo o sonido, y para navegar en Internet en busca de empleo y oportunidades académicas y de negocios.

Para lograr esta conectividad o comunicación óptima, segura y sobretodo más ergonómica y cómoda, sin tanto cableado se han creado diversas tecnologías inalámbricas, para satisfacer estos requerimientos, dentro de las mismas se puede mencionar a la tecnología WIMAX, la cual sigue obteniendo más apoyo de la industria, ya que provee acceso de banda ancha en regiones

alejadas y partes del mundo en desarrollo donde el acceso básico de voz o banda ancha mediante un servicio de línea fija no es económicamente viable.

Además, WIMAX potencialmente puede usarse para proveer backhaul a redes celulares o puede usarse para mejorar en forma significativa el rendimiento de los puntos de acceso con redes inalámbricas locales con tecnología WIFI (Wireless Fidelity), aumentando el rendimiento de la red de backhaul y haciendo más fácil y económico desplegar WIFI.

Entre las ventajas competitivas que posee WIMAX, con respecto a las tecnologías inalámbricas existentes como WIFI y 3G, es que no solo las puede sustituir sino que también complementar, por ejemplo: se puede optimizar una red LAN (red de área local) con tecnología WIFI con una velocidad aproximada de 54 Mbps a 75 Mbps y una cobertura promedio de 350 metros a una cobertura hasta 50 kilómetros entre emisor y receptor, en pocas palabras con WIMAX, podemos convertir una red de área local a una red WAN( red de área metropolitana).

Con respecto a la tecnología 3G, actualmente posee una velocidad aproximada de 2 Mbps con una cobertura aproximada de 30 kilómetros entre emisor y receptor, por lo que WIMAX puede complementar en ambas características, ya que WIMAX proporciona una mayor velocidad y cobertura, pero lo más importante es que debido a su diversidad de estándares WIMAX crea una ventaja competitiva a nivel de costo/beneficio, por tal motivo, operadores o empresas pueden migrar a esta tecnología.

La tecnología WIMAX se puede implementar con licencia y sin licencia, las cuales dependerá del país en que se desee implantar, por lo general, la licencia más común es la que se encuentra en

un ancho de banda de 3.5 GHz, por medio de la cual se puede agregar otros servicios como VoIP, datos, etc. Debido al crecimiento, a través del apoyo de muchas empresas de tecnología y sobretodo el fabricante Intel, esta tecnología puede llegar a hacer el líder en la industria de las telecomunicaciones, ya que por medio de su ancho de banda, con esta se puede transmitir VoIP, video y datos, y su gran velocidad, cobertura y sobretodo bajos costos, toda empresa que opte por la misma tiene que invertir, analizar y evaluar todas las variables presentes en esta nueva tecnología.

## **2.2. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA INALÁMBRICA WIMAX**

### **2.2.1. Qué es la tecnología inalámbrica de banda ancha WIMAX (Estándar IEEE 802.16)**

Abreviatura de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas), que describe una tecnología de conexión a banda ancha a través de ondas de radio con mayor alcance y confiabilidad que las actuales posibilidades.

Es una tecnología inalámbrica basada en estándares que ofrece conectividad de banda ancha de alta velocidad de última milla para hogares y empresas y para redes inalámbricas móviles. Esta tecnología está diseñada para redes de banda ancha WMAN (redes metropolitanas inalámbricas), y es promovida por todos los proveedores que forman parte de la industria inalámbrica WIMAX.

Esta tecnología contiene o está basada por un conjunto de estándares los cuales son identificados con el estándar general 802.16x, esta tecnología comienza desde los estándares de sistemas de banda ancha de acceso inalámbrico fijo, hasta los estándares móviles. WIMAX es similar a WIFI pero con mayor ancho de banda y cobertura. Esta tecnología puede sustituir a

WIFI, pero lo que se pretende es que WIMAX sea el complemento de esta, así como para otras tecnologías como la 3G.

Fue diseñado como una solución de última milla en redes metropolitanas (MAN) para prestar servicios a nivel comercial. Puede entregar todos los niveles de servicio necesarios para un carrier dependiendo del contrato con el suscriptor, distintos servicios paquetizados como IP y Voz sobre IP (VoIP), así como servicios conmutados (TDM), E1s/T1s, voz tradicional, interconexiones ATM y Frame Relay [1].

Uno de los propósitos de WIMAX, es competir directamente con el ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), especialmente en el mercado de el Internet por cable, a través de una sola torre de distribución ubicada a kilómetros del usuario final (hasta 50 kilómetros). WIMAX, pretende introducir servicios de acceso inalámbrico de banda ancha, de manera eficiente y a bajo costo. Proporcionará acceso a miles de usuarios en áreas rurales o metropolitanas con alta densidad demográfica. No requiere línea de vista, maneja tasas de transmisión de hasta 75 Mbps, cuenta con calidad de servicio, ofrece seguridad y opera en bandas con y sin licencia [1].

Una de las ventajas de esta tecnología inalámbrica es que está respalda por más de 130 organizaciones, así como también: fabricantes de equipo y componentes, proveedores de servicio, desarrolladores de software, etc.

---

[1] Fuente: <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=31>

WIMAX está orientado tanto a los proveedores de servicio de Internet (ISP), como a los proveedores de servicio de Internet inalámbrico (WISP) y especialmente a los suscriptores finales.

Los proveedores de esta tecnología, pretenden como negocio principal, proporcionar acceso a los ISP's, WISP's y operadoras telefónicas, para que éstos ofrezcan, alta velocidad con banda ancha a los clientes sin necesidad de tender cableado en la última milla.

### **2.2.2. ¿Tecnología Inalámbrica o Móvil?**

La definición a veces se presta a confusión. WIMAX no es exactamente una tecnología móvil de acceso a Internet, sino un reemplazo inalámbrico para los actuales sistemas de cable y suscriptores de líneas asimétricas digitales en sus siglas ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). O sea, no está pensada únicamente para computadores portátiles (notebooks) o dispositivos móviles, sino que la idea es que, en vez de seguir cableando las ciudades con todos los costos que ello involucra, se provea a los usuarios con un sistema de banda ancha más económico que la actual Internet satelital. WIMAX está considerada como una amenaza potencial para las redes celulares.

### **2.2.3. Redes inalámbricas**

Son conexiones de computadoras mediante ondas de radio o luz Infrarroja, las redes Inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar. Se pueden mezclar las redes inalámbricas y cableadas, de esta manera generar una "Red Híbrida", existen dos amplias categorías de redes Inalámbricas:

- **De larga distancia:** estas son utilizadas para transmitir la información en espacios que pueden variar desde una misma ciudad (mejor conocido como Redes de Área Metropolitana MAN) o hasta varios países circunvecinos; sus velocidades de transmisión son relativamente bajas, de 4.8 a 19.2 Kbps. Existen dos tipos de redes de larga distancia: Redes de Conmutación de Paquetes (públicas y privadas) y Redes Telefónicas Celulares.
- **De corta distancia:** estas son utilizadas principalmente en redes corporativas cuyas oficinas se encuentran en uno o varios edificios que no se encuentran muy retirados entre si, con velocidades del orden de 280 Kbps hasta los 2 Mbps.

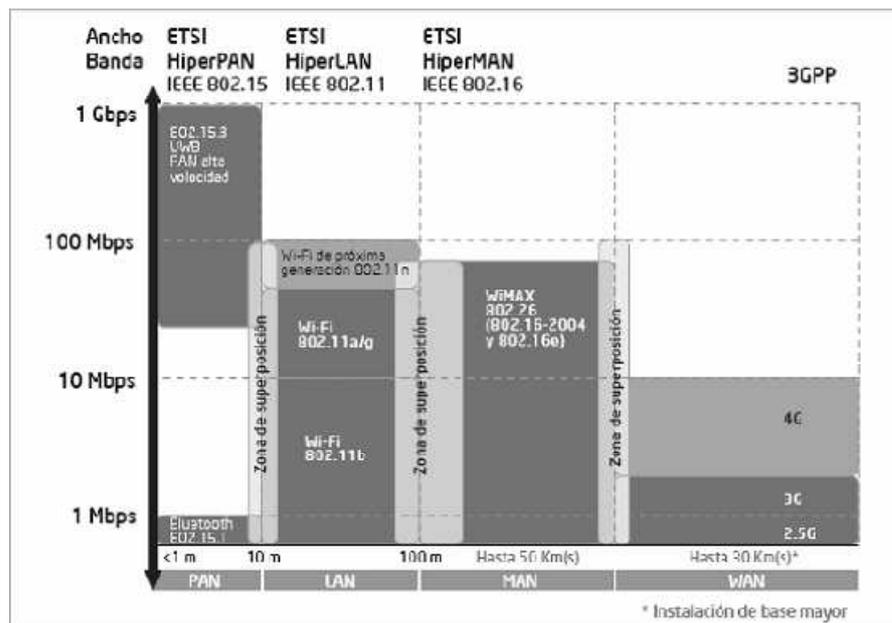


Figura 1. Segmentos objetivo de tecnología inalámbrica

Las tres organizaciones de estándares en la Figura 1 son:

- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
- Third Generation Partnership Project (3GPP).

Los estándares IEEE y ETSI son interoperables y su enfoque primario son las redes inalámbricas basadas en paquetes. El estándar de 3GPP se enfoca en sistemas móviles celulares y de tercera generación.

### **2.3. CARACTERÍSTICAS DE WIMAX (ESTANDAR IEEE 802.16X)**

#### **2.3.1. Comparación de la tecnología inalámbrica WI-FI y WIMAX (Estándar 802.16)**

La diferencia entre estas dos tecnologías inalámbricas, es su alcance y ancho de banda. Mientras que WI-FI es una red inalámbrica de área local (WLAN), está pensado para oficinas o dar cobertura a zonas relativamente pequeñas, WIMAX es una red sin cables de área extensa y metropolitana (WMAN) que ofrece tasas de transferencia de 75 Mbps a distancias de hasta 50 kilómetros de una estación base. Por comparación, la tasa de transferencia de WI-FI es de 11Mbps y la distancia de hasta 350 metros en zonas abiertas.

La tecnología WIMAX, está optimizada para trabajar sin línea de vista, es decir no hay necesidad de ver la red para poder comunicarse. De este modo la señal podrá pasar edificios completos sin necesidad de contar con radio base y sin ningún problema, cosa que hoy no ocurre con WI-FI.

La tecnología de comunicación inalámbrica conocida como IEEE 802.16-2004 + ETSI HyperMAN (conocida popularmente como WIMAX), es una tecnología de conexión a banda ancha a través

de ondas de radio con mayor alcance y confiabilidad que las actuales posibilidades. A diferencia de WI-FI, cuya red puede ser establecida para un oficina, un comercio o para conectar la casa con la oficina, WIMAX está diseñado para cubrir prácticamente una ciudad entera, a través de estaciones base dispersas alrededor del área metropolitana.

Su alcance, por supuesto, es mucho mayor, ya que brinda una conexión inalámbrica de banda ancha a un radio de 50 kilómetros a la redonda. La señal de radio WI-FI comienza a degradarse cuando trabajan más de 20 personas de forma concurrente; por el contrario, su hermano mayor (WIMAX) permite que una misma estación tenga cientos e incluso miles de personas trabajando a la vez.

Sin embargo, WIMAX no compite con WI-FI, sino que ambas son tecnologías complementarias: la primera conectará los puntos de acceso (hots post) de WI-FI, con el consiguiente aumento de la cobertura. En la tabla V se muestra la comparación de sus características entre las dos tecnologías.

**Tabla V.** Tabla de comparación WIMAX vs. WI-FI

	<b>WIMAX</b>	<b>WIFI</b>
	<b>802.16</b>	<b>802.11</b>
<b>VELOCIDAD</b>	75 -100 Mbit/s	11-54 Mbit/s
<b>COBERTURA</b>	40-50 Km. (MAN)	300 m
<b>LICENCIA</b>	Si/No	No
<b>VENTAJAS</b>	Velocidad y alcance y movilidad total	Velocidad, precio y movilidad Parcial
<b>DESVENTAJAS</b>	Interferencias	Bajo alcance

### **2.3.1.1 Backhaul inalámbrico en una red WI-FI**

Un escenario más probable es que WIMAX sea usado para proveer backhaul a una red WI-FI, ya que una de las mayores limitaciones con el servicio WI-FI público es la restricción del backhaul en que una interfaz aérea de 11Mbps o 54Mbps es alimentada en una línea T-1(Estándar Europeo E1) de 500kbps o 1.5Mbps.

En este caso, la frase “una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil” se aplica aquí, ya que una conexión de banda ancha de otra manera impresionante en la interfaz de aire se reduce drásticamente una vez que alcanza el punto estrecho del backhaul. Vale la pena destacar que las velocidades de datos de WI-FI antes mencionadas son velocidades de datos máximas teóricas y que una vez que desaparece el overhead, las velocidades de datos reales se reducen aproximadamente a la mitad. Además, la interfaz aérea y el backhaul podrían ser compartidos por múltiples usuarios, disminuyendo así la velocidad de datos de los usuarios.

Otra limitación con el acceso WI-FI público es el costo y la inconveniencia asociada con el backhaul de wireline. Actualmente, un punto de acceso WI-FI sólo puede ser localizado donde ya hay acceso wireline, o donde se puede instalar el acceso wireline. Además a pesar de que el servicio DSL o banda ancha por cable es relativamente económico, no lo es alquilar una línea T-1.

Dependiendo del modelo de negocio del operador, el uso de WIMAX puede ser apropiado y el rendimiento de la red podría aumentar drásticamente con un costo mucho menor de lo que sería posible con cobre o fibra.

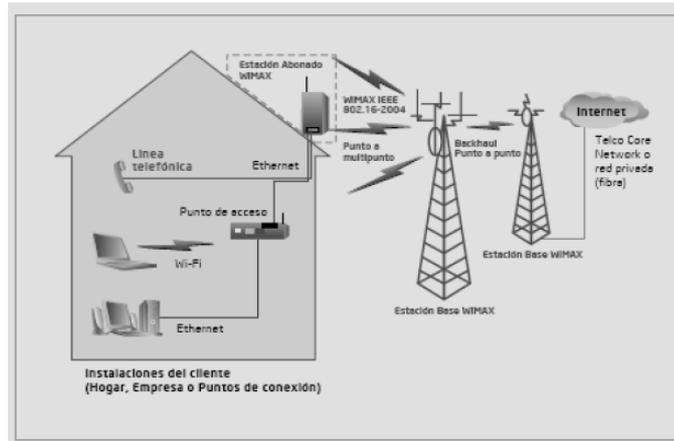
### **2.3.2. Relación WI-FI y WIMAX**

WI-FI y WIMAX son en realidad tecnologías complementarias. WIMAX es una tecnología de última milla o de bucle de abonado, lo cual significa que conecta empresas y hogares con la red Internet de alta velocidad. WI-FI proporciona la conectividad de red local inalámbrica en un edificio o un hogar.

Con los ordenadores portátiles del futuro, los usuarios podrán disponer de ambas tecnologías, WIMAX y WI-FI, para conectarse a la red Internet de banda ancha. Estas dos tecnologías se han diseñado para que sean complementarias y funcionarán juntas para ofrecer la mejor conexión en función de las necesidades del usuario. Está basada en el estándar IEEE 802.16 y es compatible con WIFI (802.11b y 802.11g).

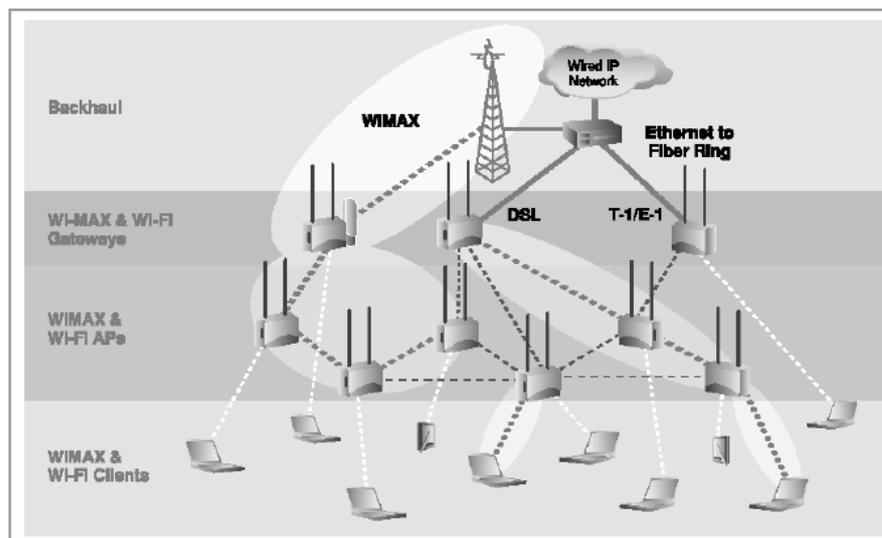
La tecnología WIMAX 802.16X, genera una cola de mensajes y al mismo tiempo enruta y certifica la integridad de los suscriptores, lográndose así mayor confidencialidad y seguridad. Esta tecnología se puede utilizar con o sin licencia, por lo general utiliza TDD (duplicación por división de tiempo) cuando es implementada sin licencia y utiliza FDD (duplicación por división de frecuencia) con licencia.

En la figura 2 se muestra la arquitectura o topología de una red WIMAX, utilizando la tecnología WI-FI.



**Figura 2.** Arquitectura de WIMAX con WI-FI

En la figura 3 se muestra la extensión o expansión de la tecnología WI-FI, por medio de las aplicaciones de la tecnología WIMAX, actualmente para la conectividad intra-malla, WI-FI ofrece ventajas. Los dispositivos de hardware de WI-FI, aprobados por la industria inalámbrica, están al alcance de todos por lo que se pueden obtener fácilmente a precio accesible, por lo que la tecnología WIMAX puede generar conjuntamente con WI-FI una tecnología intra-malla que ofrece gran desempeño a nivel costo/beneficio.



**Figura 3.** Extensión de WI-FI por medio de WIMAX

### **2.3.3. Tipos de servicios de la Tecnología WIMAX**

WIMAX incentivaré el uso de otro tipo de servicios, como la transmisión de contenido multimedia de alta calidad (películas, juegos en línea, aplicaciones empresariales, etc.), gracias a su ancho de banda permite transmitir señales de voz, datos por ondas, Internet, telefonía móvil, DSL con una cobertura de hasta 50 kilómetros.

### **2.3.4. Topologías**

Mientras WI-FI ya lleva años en el mercado, WIMAX aún está haciendo el desembarco. Por ello, la tecnología WI-FI se ha ido adaptando en cuanto a las topologías de desempeño a las diferentes funcionalidades que se le han asignado. Así, desde acceso fijo, última milla o hot-spots han desarrollado diferentes arquitecturas.

Se puede hablar de cuatro tipos de topologías de red basadas en nodos:

- Punto a punto
- Punto a multipunto
- Multipunto a multipunto
- Metropolitanas

Estas se complementan con las redes mesh, estas redes se caracterizan porque cada nodo de usuario está conectado y las comunicaciones se realizan a través de los nodos. Estas redes aprenden automáticamente y mantienen configuraciones en caminos dinámicos.

Este tipo de redes están siendo utilizadas en tecnologías WI-FI, estando contempladas en el estándar 802.11s. Este tipo de redes recibe también el nombre de multi-salto.

En las redes mesh, los nodos actúan como routers, que se instalan sobre una superficie extensa. Cada nodo transmite una señal de baja potencia, para alcanzar a los nodos vecinos, que a su vez reenvían la señal. Estas redes permiten adaptarse a los cambios de topología, ya que se pueden incorporar nodos o eliminar. Dentro de WIMAX, a día de hoy, se contemplan infraestructuras punto a punto (para backhauls o radioenlaces) y punto a multipunto (acceso a última milla). Aunque se contempla la posibilidad de una vez aprobado el estándar ampliarlo para recoger las ventajas de las mesh networks.

#### **2.3.4.1. Topología Punto a Punto**

Una red punto a punto es el modelo más simple de red inalámbrica, compuesta por dos radios y dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ambas. Este tipo de enlaces se utilizan habitualmente conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad. Este tipo de enlaces son fáciles de instalar, pero difíciles de crear con ellos una red grande. Es habitual su uso para enlaces punto a punto en cliente finales o para realizar el backhaul de redes.

#### **2.3.4.2. Topología Punto a Multipunto**

Un enlace punto a multipunto, comparte un determinado nodo (en el lado uplink), que se caracteriza por tener una antena omnidireccional (o con varios sectores) y puntos de terminación (o repetidores) con antenas direccionales con una ganancia elevada. Este tipo de red es más sencillo de implementar que las redes punto a punto, ya que el hecho de añadir un suscriptor sólo requiere incorporar equipamiento del lado del cliente, no teniendo que variar nada en la

estación base. Aunque, cada sitio remoto debe encontrarse dentro del radio de cobertura de la señal, que en el caso de WIMAX (a diferencia de la tecnología LMDS) no requerirá que se sitúe en puntos con visión directa. Además, será posible utilizar esta topología para backhaul de la red de operadores, o para clientes que no deseen disponer de capacidad dedicada, al compartir los recursos con todos los terminales. El problema de este tipo de topología es que el diseño direccional de las antenas de los usuarios hace que no pueda conectar con otras redes (meshing).

#### **2.3.4.3. Topología en Nodos Multipunto**

Las redes multipunto a multipunto crean una topología entrelazada enrutada que replica la estructura de la red Internet. Para construir una red de este tipo se comienza por un punto de conexión a internet. Una serie de puntos de acceso se despliegan por toda la red hasta alcanzar una densidad máxima. Estos puntos no sólo conectan a los terminales que tengan asociados, sino que enrutan tráfico de otras estaciones (con sus respectivos usuarios) creando redes con varios saltos. Esto permite garantizar una cobertura global de la red.

#### **2.3.4.4. Topología en Nodos Metropolitanos**

Las redes de nodos metropolitanos se basan en utilizar dos tipos de redes: **backhaul** y **última milla**.

**Backhaul** puede ser una red punto a punto o una red punto a multipunto. Su diseño sirve para proporcionar un backbone en los nodos uplink. Los nodos usan por lo general antenas duales, una direccional hacia el uplink y la otra proporcionando la conectividad de última milla, que será por lo general omnidireccional. La función principal del backhaul será proporcionar ancho de banda a la última milla.

Estos nodos pueden ofrecer conexiones redundantes. En función del área cubierta serán necesarios más o menos enlaces de este tipo.

**Última milla** es una topología multipunto a multipunto, con antenas omnidireccionales que están asociados a un determinado backhaul. La diferencia respecto a la topología en nodos multipunto es que la salida se realiza a través de un backhaul, no directamente.

#### **2.3.4.5. Topología en Nodos Mixtos**

Una red con nodos mixtos es la forma más compleja de red inalámbrica, compuesta por dos estaciones radio con dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ellas y, por último, un repetidor inalámbrico. Este tipo de enlaces son fáciles de instalar pero difíciles de escalar para crear una red amplia. Típicamente el repetidor se utiliza en un entorno interior.

La topología interior en nodos mixtos es similar a la topología anterior. Se compone de dos estaciones radio y sus antenas directivas conectadas entre si, junto a un conjunto de repetidores inalámbricos que forman una red escalable interior. Como el caso anterior tiene la ventaja del bajo coste en las unidades interiores.

#### **2.3.5. Cobertura**

Proporciona un radio de cobertura de 30 a 50 kilómetros, todo dependerá de los obstáculos existentes entre el emisor y receptor, por lo que se puede optimizar con la utilización de los diferentes estándares o aplicaciones de software de WIMAX, así como también a nivel de hardware como la buena utilización de antenas inteligentes.

### 2.3.6. Bandas y Espectro de Frecuencias

WIMAX opera en la banda de 10 a 66 GHz y de los 2-11GHz y en frecuencia libre (5,8 GHz) y en otras bandas actualmente de sistemas de distribución local de multipuntos en sus siglas LMDS (Local Multipoint Distribution System) de 3,5 GHz. Utiliza también un rango de frecuencias 2-11 GHz, la cual requiere línea de vista entre el emisor y el receptor, ésta es utilizada para la transmisión entre antenas, también utiliza la banda entre 2-6 GHz para la distribución directa hacia los abonados(usuarios finales).

Se tiene que tomar en cuenta que a frecuencias altas, la transmisión es de menor calidad ya que es más vulnerable al tipo de clima, pero se logra mayor velocidad de comunicación. En la tabla VI se muestra la asignación mundial de bandas autorizadas para la tecnología WIMAX.

**Tabla VI.** Tabla de asignación mundial de bandas autorizadas, con licencia y exentas de licencia

<b>CIUDAD Y ÁREA GEOGRÁFICA</b>	<b>BANDAS UTILIZADAS</b>
Norte América y México	2.5 GHz y 5.8 GHz
Central y América del Sur	2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.8 GHz
Europa occidental y Oriental	3.5 GHz y 5.8 GHz
Medio Este y África	3.5 GHz y 5.8 GHz
Pacífico Asiático	3.5 GHz y 5.8 GHz

Existen operadoras que utilizan frecuencias menores a 700 MHz, lo cual les permite mayor cobertura, pero les reduce la velocidad de transmisión, ya que para la utilización de estas bandas tienen que incorporar protocolos de detección y corrección de errores. La banda ancha extiende el alcance y variedad de la comunicación personal a fin de incluir VoIP eficiente, videoconferencias, mensajería instantánea y rápido acceso a correo electrónico, el ancho de banda de 3.5 GHz, es la considerada la de mayor calidad y mejor desempeño para WIMAX.

En la tabla VII se muestra las bandas y espectros de frecuencia disponibles para la tecnología WIMAX.

**Tabla VII.** Bandas y frecuencias disponibles para WIMAX

BANDA	FRECUENCIA	¿REQUIERE LICENCIA?	DISPONIBILIDAD
2.5 GHz	2.5 a 2.69 GHz	si	Asignado en Brasil, México, algunos países asiáticos y en U. S. (El Foro de WIMAX también incluye 2.3 GHz en esta categoría de banda y espera cubrir [2.3 GHz] con los 2.5 radio de GHz.) La propiedad varía por país.
3.5 GHz	3.3 a 3.8 GHz, pero principalmente 3.4 a 3.6 GHz	Sí, en algunos países	En la mayoría de los países, los 3.4-GHz a 3.6 GHz se asigna para banda ancha inalámbrico.
5 GHz	5.25 a 5.85 GHz	No	En los 5.725 GHz a 5.85 GHz, muchos países permiten rendimiento de poder más alto (4 vatios) que puede mejorar.

Dentro de este rango de frecuencias, el espectro más probable está disponible en 2.3GHz, 2.4GHz, 2.5GHz, 3.5GHz, 5.8GHz y, potencialmente, en 700MHz. Por consiguiente, para asegurar la interoperabilidad mundial, los CPE, tarjetas de datos o soluciones con chips incorporados de WIMAX deberían soportar hasta 5 bandas de frecuencia. Es esto, o la industria inicialmente se concentra en sólo un par de bandas del espectro, en cuyo caso es probable que 3.5GHz reciba parte de la atención inicial.

El espectro disponible se divide en dos categorías distintivas:

### **2.3.6.1 Espectro sin licencia**

En la mayoría de los mercados, el espectro que no requiere licencia y que podría emplearse para WIMAX es 2.4GHz y 5.8GHz. Debido a que el espectro no requiere licencia, la barrera para

ingresar es baja, por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando el espectro. En algunos casos, esto puede ser ventajoso por razones obvias, desafortunadamente, también existen varias desventajas.

En ciertos países, en particular en Europa, rige el concepto de espectro “con licencia light”, lo que significa que el usuario tiene que presentar su intención de usar el espectro que no requiere licencia. De esta forma, los entes reguladores tienen una mejor noción de quién está empleando el espectro, y controlan la cantidad de licenciatarios y minimizan potencialmente el impacto de interferencias.

Existen cuatro desventajas principales relacionadas con el uso del espectro que no requiere licencia:

**a) Interferencias:**

Debido a que el espectro que no requiere licencia puede ser utilizado por varios sistemas diferentes de RF, hay altas probabilidades de que ocurran interferencias. Los sistemas de RF que no requieren licencia pueden incluir desde las redes rivales de WIMAX o los puntos de acceso de WI-FI.

Los teléfonos inalámbricos y Bluetooth (sólo 2.4GHz) también usan este espectro. Tanto WIMAX como WI-FI soportan la DFS (Dynamic Frequency Selection - Selección Dinámica de Frecuencia) que permite que se utilice un nuevo canal si fuera necesario (por ejemplo, cuando se detectan interferencias).

No obstante, DFS también puede introducir una mayor latencia que, a su vez, afecta las aplicaciones en tiempo real como VoIP.

**b) Mayor competencia:**

Los operadores que utilizan el espectro que no requiere licencia tienen que asumir que otro operador fácilmente podría ingresar en el mercado empleando el mismo espectro. En gran medida, el número relativamente alto de puntos de acceso públicos WI-FI se debe a este hecho. No obstante, los gastos de capital relacionados con la instalación de un punto de acceso WI-FI de carácter comercial son relativamente triviales (cientos de dólares, cuanto mucho) en comparación con el costo relacionado con desplegar una red WIMAX, que podría ser equivalente al costo de desplegar una red celular.

**c) Potencia limitada:**

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

**d) Disponibilidad:**

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

Dadas estas desventajas, los operadores evaluarán cuidadosamente el uso potencial del espectro que no requiere licencia, en particular 2.4GHz, antes de instalar una red. Hay

excepciones, entre las que se incluyen las regiones rurales o remotas, donde hay menos probabilidades de interferencia y competencia.

### **2.3.6.2 Espectro con licencia**

El espectro que requiere licencia tiene un precio potencialmente alto, pero bien lo vale, en especial cuando la oferta del servicio requiere una alta calidad de servicio. La mayor ventaja de tener el espectro que requiere licencia es que el licenciatario tiene uso exclusivo del espectro.

Está protegido de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen o tienen un permiso para arrendar el espectro. El espectro que requiere licencia se encuentra en 700MHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz; de éstas, las últimas dos bandas de frecuencia son las que en la actualidad reciben mayor atención.

#### **2.3.6.2.1. 2.5GHz**

Está disponible para uso terrestre en América del Norte, América Latina y eventualmente, en Europa cuando la banda de extensión 3G salga a licitación en los próximos años. Algunos potenciales operadores de WIMAX en Europa están haciendo campaña para que los entes reguladores de Gran Bretaña les permitan desplegar WIMAX en 2.5GHz. Si este escenario tuviera lugar, el licenciatario de la 2.5GHz aún tendría que decidir usar el espectro para WIMAX y no para su oferta de servicio celular 3G.

#### **2.3.6.2.2. 3.5GHz**

La banda de frecuencia 3.5GHz en la actualidad está disponible en casi todos los países. Además de los desafíos de propagación RF inherentes a esta banda muchas licencias europeas

restringen la manera en que se puede usar el espectro, dado que en esta banda particular en la actualidad no se permiten handoffs entre celdas, lo que no resulta ideal cuando se intenta ofrecer un servicio móvil de voz y de datos que requiere un servicio ininterrumpido para las llamadas de voz. El Foro WIMAX en la actualidad está solicitando a los entes reguladores que modifiquen esta política. Además, en algunas regiones del mundo como en Japón y Corea, se están usando porciones del espectro para ofrecer servicios satelitales.

#### **2.3.6.2.3. 700MHz**

En este momento, no hay un perfil WIMAX para el espectro 700MHz, sin embargo, al menos hay cierto interés dentro de la comunidad de WIMAX de introducir WIMAX en esta banda de frecuencia. La banda del espectro 700MHz es muy utilizada en muchas regiones del mundo, entre ellas América del Norte y la mayor parte de Europa.

En la actualidad, este espectro está siendo utilizado por emisoras análogas de TV lo que significa que la capacidad de desplegar WIMAX o cualquier otra tecnología inalámbrica en esta banda del espectro está limitada debido a las preocupaciones acerca de la posibilidad de que haya interferencias entre los servicios.

Con la transición a la TV digital, las emisoras de América del Norte finalmente vaciarán este espectro y lo liberarán para otros posibles usos. 700MHz es una banda del espectro muy atractiva en regiones remotas debido a las condiciones de propagación favorables que existen en esta frecuencia más baja (cuanto más baja es la frecuencia, más lejos se puede propagar la señal).

El radio efectivo de la celda en 700/800MHz es el doble de lo que sería en 1.9GHz, lo que significa que se necesitan cuatro veces más estaciones base en 1.9GHz respecto de 700/800MHz. Entre 1.9GHz y 2.5GHz se aplican los mismos múltiplos, y lo mismo sucede entre 2.5GHz y 3.5GHz. Interpolando estos números, una red desplegada en 3.5GHz podría requerir casi entre sesenta y ochenta por ciento más sitios de celda de lo que requeriría en 2.1GHz (espectro UMTS), si el resto de las condiciones fueran las mismas. WIMAX podría incluir el uso de tecnologías de antenas inteligentes.

#### **2.3.6.2.4. 2.3GHz**

El empleo de la banda del espectro 2.3GHz está muy limitado en este momento a ciertas aplicaciones de Corea del Sur (WiBro), Australia, Nueva Zelanda y los Estados Unidos. En los Estados Unidos, TeraBeam Verizon y Bellsouth son algunos de los mayores tenedores del espectro mientras que en Nueva Zelanda Woosh Wireless posee una huella en 2.3GHz en toda la nación, aunque en la actualidad está desplegando TD-CDMA en el espectro 2.1GHz. Si bien hay un espectro 2.3GHz disponible en los Estados Unidos, no es atractivo para WIMAX, en especial porque el uso en los canales adyacentes limita el ancho de banda disponible.

#### **2.3.7. Espectro de Transmisión y Velocidad**

Ocupa un espectro de transmisión de 2 a 11 GHz, en las cuales no se necesita línea de vista y son frecuencias no licenciadas o reguladas y de 10 a 60 GHz, para comunicación entre antenas proveedoras del servicio. WIMAX ofrece, a través de un gigantesco "Hot Spot" (punto de acceso), transferencias con una velocidad de hasta 75 Mbps. Se tiene que tomar en cuenta que la velocidad real dependerá del total de abonados conectados en forma paralela y los diferentes tipos de ancho de banda requeridos.

Como se analizó anteriormente, WIMAX abarca un rango de espectro debajo de 11GHz. Así mismo, existe la posibilidad de desplegar WIMAX en las bandas del servicio celular (si estuviera permitido) y en las bandas de 700MHz. A pesar de la supuesta abundancia de espectros, algunos de estos espectros disponibles presentan sus propios problemas. Además, una amplia variedad de opciones de espectros también tiene como resultado la incompatibilidad o la necesidad de dispositivos multibanda.

#### **2.3.7.1 Canal Flexible**

A medida que aumenta la distancia entre el abonado y la estación base(AP), o a medida que el abonado empieza a moverse, caminando o manejando, se convierte en más que un desafío que el abonado transmita con éxito a la estación base a un cierto nivel de energía. Cuando el ancho de banda es demasiado grande, dificulta la transmisión entre algunos dispositivos con las estaciones bases como por ejemplo: dispositivos sensibles a la energía como: computadoras portátiles, handheld, etc.

Los estándares IEEE 802.16-2004 e IEEE 802.16e tienen anchos de banda de canal flexibles entre 1.5 y 20 MHz para facilitar la transmisión de gran alcance y a diferentes tipos de plataformas de abonados. La flexibilidad de ancho de banda que proporcionan estos estándares, ayuda en la utilización y distribución de celdas en un territorio determinado, especialmente dentro de un espectro sin licencia.

Para escalabilidad, un operador con 14 MHz de espectro disponible, por ejemplo, puede dividirlo en cuatro sectores de 3.5 MHz para tener sectores múltiples (pares de transmisión/ recepción)

en la misma estación base. El ancho de banda de canal flexible de red a red es imperativo para la planificación de celdas. Es más óptima la utilización de una antena dedicada, con un haz bien direccionada y configurada hacia un punto o segmento de abonados de mayor productividad, que la utilización de una antena omnidireccional. Con la utilización de esta antena dedicada se utiliza eficazmente la banda de canal flexible de red a red, ya que se puede distribuir en forma óptima la utilización de las celdas.

### **2.3.8. Seguridad**

En cuanto a seguridad, por el momento WIMAX incorpora el estándar de encriptación triple de información por sus siglas 3DES (Triple Data Encryption Standard), pero se prevee que se incorpore el estándar de encriptación avanzada por sus siglas AES (Advanced Encryption Standard) cuando comience su comercialización a gran escala e incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES.(128 bits) y RSA (1.024 bits).

### **2.3.9. Límites y Alcances**

En los mercados emergentes, donde la infraestructura cableada puede ser limitada actualmente, esta tecnología inalámbrica, resulta positiva ya que se puede instalar una antena y ofrecer acceso de alta velocidad a Internet a miles de clientes que actualmente apenas tienen acceso a Internet o ni siquiera disponen de servicios de telefonía fija.

Una de las más serias limitaciones de las tecnologías inalámbricas es el costo, ya que las mismas solo han sido más implementadas en países que no presentan crisis económicas, situación que será solventada por WIMAX.

Esta tecnología está basada en estándares por lo que permitirá que los fabricantes puedan armar las redes de conectividad inalámbrica de banda ancha. Lográndose así una mejor compatibilidad de los dispositivos, la conectividad WIMAX será de suma utilidad para conectar áreas remotas a las que no pueden llegar ni el cable, ni las conexiones de suscriptores de líneas asimétricas digitales en sus siglas ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

Esta tecnología, que se espera que revolucione las telecomunicaciones en el mundo, funciona de manera similar a las actuales redes inalámbricas de tecnología WI-FI, en donde una estación base con una antena (access point) controla el acceso inalámbrico de los equipos a la red.

WIMAX entrará de lleno en el mercado de los operadores celulares, posiblemente también colaborando, para que los usuarios dispongan de la mejor tecnología al mejor precio en sus accesos privados y corporativos.

Posibilitará la generación de apuestas empresariales alternativas a las dominantes en la actualidad (servicios xDSL) y permitirá, si no bajar los precios, o mejorar sustancialmente la calidad del acceso. WIMAX será una tecnología complementaria de las actuales WI-FI y 3G, ya que permitirá el acceso de datos a grandes velocidades y posibilitará su uso para terminales de la previsiblemente robusta infraestructura de VoIP.

### **2.3.10. Modulación**

La modulación es el proceso de que una onda del portador puede llevar el mensaje o el signo digital (serie de unos y ceros), mejora el problema de la interferencia multicamino, aumentando la eficiencia y el aprovechamiento del ancho de banda disponible.

Hay tres métodos básicos para esto:

1. Amplitud (Usa transmisión de radio AM)
2. Frecuencia (Usa transmisión de radio FM)
3. Fase (Cambio de mensajes digitales)

WIMAX con la utilización de la tecnología de Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), puede diferenciarse prestando un mejor servicio, logrando así una ventaja competitiva con respecto a su competencia, ya que esta tecnología utiliza 256 subportadoras. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la TV digital, sobre cable o satélite, lo que permite a WIMAX alcanzar una velocidad hasta 75 Mbit/s, También soporta los modos FDD (Frequency Division Duplexing) y TDD (Time Division Duplexing) para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.

En la tabla VIII se muestra la diferencia de las características de modulación entre las tecnologías WIMAX y WI-FI.

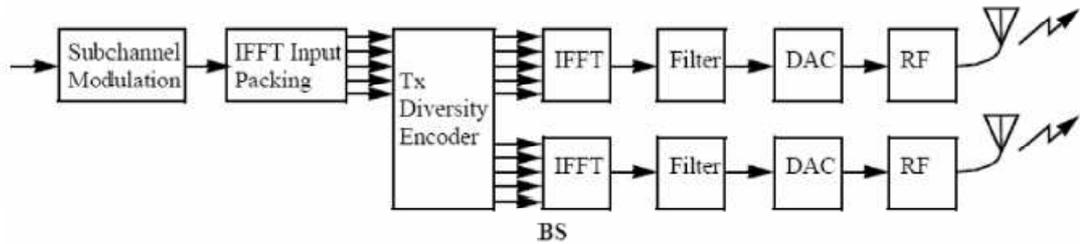
**Tabla VIII.** Diferencias OFDM WIMAX Vs. WIFI

Wimax y WiFi (OFDM) Comparativa		
Parameter	WIMAX	WIFI
Nº de portadoras totales	256/2048	64
Nº de portadoras de datos	200/-1700	52
Nº de portad.piloto	8	4
Duplex	FDD/TDD	TDD
Ancho de banda	Escalable desde 1.5 MHz hasta 28 MHz	Fijo 20 MHz Modo turbo 40 MHz
Formatos de Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Periodo de Guarda	Configurable	Fijo
MiMo	Yes	No
Sistema antena adaptivo		programado en 802.11n
Sub-canalización	Yes	No

El proyecto general de WIMAX actualmente incluye al 802.16-2004 y al 802.16e. El 802.16-2004 utiliza Multiplexado por División de Frecuencia de Vector Ortogonal (OFDM), para servir a múltiples usuarios en una forma de división temporal en una especie de técnica circular, pero llevada a cabo extremadamente rápido de modo que los usuarios tienen la sensación de que siempre están transmitiendo o recibiendo.

El 802.16e utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Vector Ortogonal (OFDMA) y puede servir a múltiples usuarios en forma simultánea asignando grupos de “tonos” a cada usuario. Para mejorar condiciones de fading (debilitamiento progresivo de una señal) y aumentar las capacidades del sistema, se requieren dos antenas transmisoras y al menos una receptora,

el transmisor genera dos señales diferentes que se transmiten sincronizadamente, en la figura 4 se muestra dicha señales.



**Figura 4.** Diversidad de Transmisión en OFDM

#### 2.3.10.1. Subcanalización

Es la forma de utilización de las portadoras en la modulación, por ejemplo: si sólo se transfieren una cantidad pequeña de datos se incrementa la eficiencia y si se conoce el perfil del debilitamiento progresivo de la señal, las portadoras se pueden colocar para mejorar un mejor funcionamiento, entonces el ancho de banda se puede compartir por varios usuarios.

#### 2.3.10.2. Duplexación

Se refiere al proceso de crear canales bi-direccionales para transmisión de datos de uplink (enlace de carga) y de downlink (enlace de descarga). Dúplex por divisiones de tiempo (TDD) y dúplex de división de frecuencia (FDD) son soportadas por el estándar 802.16-2004. Las soluciones con licencia usan dúplex de división de frecuencia (FDD) mientras que las soluciones exentas de licencia usan dúplex por división de tiempo (TDD).

### **FDD (dúplex de división de frecuencia)**

Requiere dos canales que son separados para minimizar la interferencia, uno para transmisión y otro para recepción. La mayoría de las bandas FDD son asignadas a voz porque la arquitectura bi-direccional de FDD permite manejar la voz con demoras mínimas. Sin embargo, FDD tiene componentes adicionales al sistema y esto eleva los costos.

Se usa FDD en redes inalámbricas de tercera generación (3G), que operan en una frecuencia conocida y son proyectadas para aplicaciones de voz. La mayoría de los esquemas de codificación usados en redes 3G tienen limitaciones para producción de datos. A medida que el tráfico de la red aumenta o disminuye, la región geográfica cubierta por el transmisor puede encogerse o crecer, fenómeno denominado “respiración de la celda”. Además, cuando un usuario que comparte un canal deja de transmitir, la velocidad de transmisión se reduce de forma proporcional al número de usuarios para minimizar la interferencia y resulta en un nivel de potencia de transmisión menor. Las variaciones de alcance y del nivel de poder de transmisión pueden ser aceptables para aplicaciones de voz pero ofrecen desafíos para las redes de datos.

### **TDD (Dúplex por divisiones de tiempo)**

Es útil en ambientes donde los pares de canales no están disponibles debido a restricciones legales, o donde pueden usarse frecuencias exentas de licencia. TDD ofrece un único canal para transmisiones upstream (de carga) y downstream (de descarga). Un sistema TDD puede asignar dinámicamente ancho de banda upstream y downstream, según su tráfico. La transferencia asimétrica es apropiada para el tráfico de Internet en el que hay grandes volúmenes de datos en downstream. Un sistema TDD funciona transmitiendo primero upstream de una estación base a

la estación del abonado. Después de poco tiempo de guarda, generalmente un milisegundo, la estación del abonado transmite en la misma frecuencia en la dirección upstream.

### **Comparación entre TDD y FDD**

Las soluciones TDD y FDD no son interoperables porque usan diferentes bandas y técnicas de duplexación

FDD y TDD sirven para diferentes propósitos. FDD opera en dos canales separados, uno para recibir tráfico y otro para transmitirlo. El espectro otorgado para tecnologías FDD es licenciado en bandas de igual tamaño. No se requieren tiempos de guarda entre upstream y downstream, lo que permite una implementación dúplex completa. FDD no soporta una solución de Malla WI-FI.

En una solución TDD, un canal se usa tanto para transmitir como para recibir tráfico. Se requieren tiempos de guarda entre upstream y downstream. TDD puede soportar Malla WI-FI. TDD usa dos juegos distintos de time slots (ranuras de tiempo) en la misma frecuencia para el uplink y para el downlink, mientras que FDD usa dos frecuencias diferentes, una para el uplink y otra para el downlink.

Una solución FDD cuesta más porque requiere más hardware para soportar a los canales del uplink y del downlink. El costo se justifica por el uso más eficiente del ancho de banda y la QoS mejorada. Las soluciones con licencia usan FDD debido a su naturaleza dúplex robusta y al espectro modulado por frecuencia. Esto permite a la portadora QoS de calidad, la que no se puede alcanzar totalmente en soluciones sin licencia.

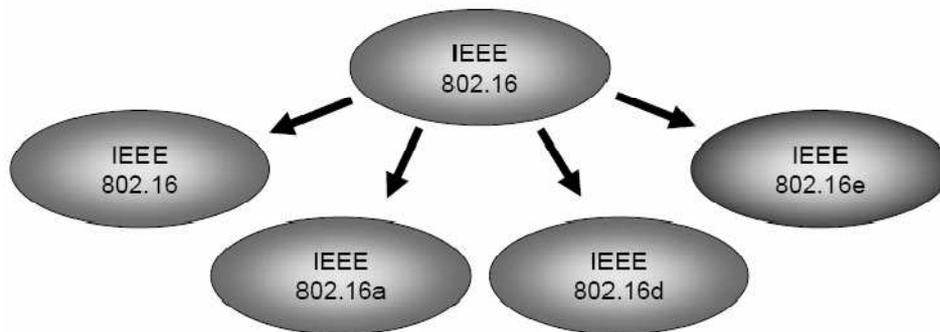
## **2.4. ESTANDARIZACIÓN**

### **2.4.1. Historia de la Estandarización de la tecnología WIMAX**

Este conjunto de estándares, empezaron a evolucionar a partir de la versión 802.16, implementada en abril del 2002, la cual se caracterizaba por sus enlaces fijos, con visión directa denominada con hilos (LoS), lo que significa que tenía tanto del transmisor como el receptor, las antenas de los mismos se tenían que ver, para que existiese comunicación, por ejemplo entre dos edificios.

Esta versión utiliza la banda de 10 a 66 GHz, capa normal de acceso a los medios (MAC), multiplexación (TDD o FDD), desarrolla hasta una velocidad de 134 Mbps. Al quererle hacer mejoras a esta versión, dio como origen a la versión 802.16a, pero con mayor ancho de banda y cobertura de hasta 50 kilómetros entre el emisor y el receptor, utilizando la banda de 2 a 1 GHz, se implementó en esta versión la arquitectura punto a multipunto, en redes de malla y lo que la caracterizó principalmente fue que no requiere de visión directa (NLoS) y desarrolla una velocidad hasta 75 Mbps.

El IEEE 802.16a fue prácticamente olvidado, ya que recientemente el foco de atención fue el IEEE 802.16-2004, que también es conocido como 802.16REVd o 802.16-2004. El cual es una mejora del estándar IEEE 802.16a que fue certificado en octubre de 2004. Por otra parte, también está el IEEE 802.16e, otra variación de WIMAX que le sigue al estándar 802.16-2004, lo único que estos dos estándares propuestos tienen en común es que emplean el mismo rango de frecuencia (sub 11GHz). En la figura 5 se muestra las diferentes versiones del estándar WIMAX.



**Figura 5.** Versiones de WIMAX

#### **2.4.2. IEEE 802.16-2004**

Conocido también como IEEE 802.16d o 802.16REVd, se caracteriza, de las versiones anteriores, porque va más orientado a la implementación y colocación por parte de los suscriptores, en pocas palabras que todo le sea más práctico para los abonados o suscriptores, ya que le permite al abonado, que el mismo pueda colocar su equipo, como si fuera una antena de televisión, pero en el exterior de su inmueble, al mismo tiempo este pueda acceder de forma inalámbrica en el interior de su casa, esta versión utiliza comúnmente la banda 2.5GHz con licencia y sin licencia las bandas 3.5 y 5.8 GHz (estas bandas dependerán de las políticas de acceso inalámbrico del país o región). Esta tecnología mejora los servicios de última milla en los diferentes aspectos:

- Disminuye la interferencia.
- El retraso difundido.
- Mayor robustez.

Es una tecnología reciente de acceso inalámbrico fijo, lo que significa que está diseñada para servir como una tecnología de reemplazo del DSL inalámbrico, para competir con los proveedores de cable de banda ancha o DSL, o para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en áreas sub-abastecidas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso; los ejemplos incluyen a países en desarrollo y áreas rurales en países desarrollados donde el cable de cobre no tiene un sentido económico.

El 802.16-2004 posee las siguientes características: Cambios en la parte de OFDM, mejor soporte de múltiple entrada múltiple salida (MiMo), cambios en preámbulo (preamble), cambios en portadoras piloto, cambios en el formato de modulación para FCH (Frame control header), cambios en la sub-canalización, también es una solución viable para el backhaul inalámbrico para puntos de acceso WI-FI o potencialmente para redes celulares, en particular si se usa el espectro que requiere licencia. Finalmente, en ciertas configuraciones, WIMAX Fijo puede usarse para proveer mayores velocidades de datos y, por lo tanto, puede usarse como una opción de reemplazo de T-1 para abonados corporativos de alto valor.

#### **2.4.3. IEEE 802.16-e**

Es una mejora del estándar 802.16-2004 y lo que lo caracteriza es que está orientado al mercado móvil y con la utilización del acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia (OFDMA), pretende dar mejores servicios y beneficios, y sobretodo mejor señal, ya que esta utiliza y agrupa subportadoras múltiples en subcanales, lo que crea mayores ventajas, por ejemplo: un abonado dentro de un enlace de transmisión, puede utilizar todos los subcanales o

viceversa un conjunto de abonados pueden seleccionar uno o muchos subcanales en forma paralela.

Es una banda ancha móvil y está diseñado para ofrecer una característica clave de la que carece el 802.16-2004: portabilidad y con el tiempo, movilidad a toda escala. Este estándar requiere una nueva solución de hardware/software de adaptación con el anterior 802.16-2004, el estándar 802.16e, trata de incorporar una amplia variedad de tecnologías propuestas, algunas más comprobadas que las otras.

Utiliza S-OFDMA (scalable-OFDMA) tanto en el enlace ascendente como en el descendente.

S-OFDMA significa que el número de tonos OFDM aumenta, o escala (de 128 tonos hasta 2.048 tonos), basándose en la calidad de la señal de RF para un usuario en particular, los requerimientos del usuario y el ancho de canal de radio que se usa. S-OFDMA permite a múltiples usuarios transmitir al mismo tiempo dando como resultado una eficiencia mejorada de red y una mejor experiencia del usuario.

Como se observar a lo largo de la evolución de estos estándares es que pueden ser implementados en diferentes segmentos de mercado, dependiendo de los limitantes de cada operadora, pero lo principal es que cada vez que surge una nueva versión, esta posee las mismas características que la anterior, pero con valores agregados, en este caso la versión 802.16e, lo que lo hace diferente de la anterior versión, es que se puede utilizar enlaces físicos múltiples, pero sobre todo la portabilidad y movilidad, esto genera una gran ventaja, especialmente para los proveedores que apoyan esta nueva tecnología, ya que esta permite

tener así misma escalabilidad e interoperabilidad, como por ejemplo la implementación con otras tecnologías como WI-FI o 3G.

#### **2.4.4. WiBro**

Otra sigla que vale la pena mencionar es WiBro (Wireless Broadband – Banda Ancha Inalámbrica). WiBro es una iniciativa de Corea del Sur y una oportunidad para que el país establezca una tecnología inalámbrica local, algo parecido a lo que los chinos están haciendo con TD-SCDMA. WiBro ahora probablemente será incluido en el proyecto general del 802.16e, haciendo así otro perfil potencial de WIMAX.

Específicamente, WiBro es un sistema basado en TDD que opera en un canal de radio de 9MHz a 2.3GHz con OFDMA como su tecnología de acceso. De acuerdo a quienes lo proponen, WiBro soporta usuarios viajando a velocidades de hasta 120km/h (anteriormente se publicitó que estaba limitado a 60km/h) y velocidades máximas de usuario de 3Mbps en el downlink (enlace 50 descendente), 1Mbps en uplink (enlace ascendente) y 18Mbps de rendimiento máximo del sector en el downlink y 6Mbps en uplink.

Las velocidades de datos de usuarios promedio se publicitan como superiores a 512kbps, y con el radio de la celda limitado a 1km, será ampliamente desplegado en áreas densamente pobladas. Inicialmente, WiBro fue percibido como una solución portátil, aún cuando no podía soportar usuarios móviles, ya que la tecnología no soportaba handoffs de celdas ininterrumpidos. Con su potencial futura adopción dentro de la familia de perfiles de WIMAX, podría existir un deseo de introducir movilidad vehicular, o handoffs casi ininterrumpidos.

## **2.4.5. Ventajas**

### **2.4.5.1. Ventajas generales**

Permite conexiones de alta velocidad en un radio de hasta 50 kilómetros a la redonda. Puede alcanzar una velocidad de transferencia de datos de entre 10 a 75 Mbps. WIMAX cuenta con el respaldo de gran parte de la industria. Cisco, AT&T, Sprint, Nortel Networks, Fujitsu Microelectronics, Samsung y Motorola son algunos de los fabricantes y operadoras que soportan el estándar 802.16.

El posicionamiento de WIMAX (802.16) como el protocolo de acceso inalámbrico para redes metropolitanas (WMAN) completa el de Bluetooth (802.15) para la PAN (Personal Area Networks) y el de WIFI (802.11) para las redes LAN.

Otra ventaja es que las estaciones base de WIMAX no son caras. Mediante antenas externas y "routers" la señal llega finalmente a las oficinas y casas y da conexiones de Internet tanto a ordenadores como a los móviles.

Lo que buscan los proveedores de WIMAX, es la construcción de diferentes dispositivos que permitan una fácil instalación y una mejora a nivel costo/beneficio tanto para ellos mismos, como para el mercado, como por ejemplo: cualquier abonado o cliente final puede colocarlo en su casa el mismo, buscándose así en un futuro a corto plazo, la expansión de redes, con dispositivos estándares que implementen esta tecnología y que esta a su vez sea compatible u operable con otras tecnologías ya sea alámbricas, como inalámbricas.

Con tecnología WIMAX, Internet llegará a través de señales de radio esa es la ventaja que tiene frente a los servicios basados en cables (como los de cable y DSL). Podría permitir la creación de una Internet paralela, ciudadana, a espaldas del mundo empresarial actual.

#### **2.4.5.2. Ventajas para los operadores**

Si se eligen equipos interoperables y basados en estándares, los operadores disfrutarán de nuevas ventajas a la hora de implementar sus sistemas inalámbricos, como: Las economías de escala que hace posible el estándar en costes de equipos inferiores. Los operadores no se convierten en cautivos de un único proveedor, ya que las estaciones base funcionarán con las estaciones de abonado de diferentes fabricantes.

Por último, los operadores se beneficiarán de equipos de menor costo y mayor rendimiento, puesto que los fabricantes de equipos desarrollarán rápidamente innovaciones sobre una plataforma común basada en estándares.

#### **2.4.5.3. Ventaja clave para los mercados emergentes**

En los mercados emergentes, donde la infraestructura cableada puede ser limitada actualmente, esta tecnología resulta muy atractiva; ya que al poder instalar una antena y ofrecer acceso de alta velocidad a Internet a miles de clientes que actualmente apenas tienen acceso a Internet o ni siquiera disponen de servicios de telefonía fija. El potencial es enorme en países como India, México y China, donde el "cableado" de los países encarecería excesivamente el acceso de banda ancha a Internet.

#### **2.4.5.4. Ventajas para grandes empresas**

La solución WIMAX no sólo permite conexiones a Internet mediante IP y TDM, sino también voz sobre IP, así como transmisión de video en tiempo real y a altas velocidades. Transmite y recibe datos a una velocidad máxima de 75 Mbps por segundo, 35 veces la velocidad del ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), en un área de hasta 50 kilómetros.

Eso permitirá ofrecer servicio de Internet a alta velocidad en toda una ciudad, de manera inalámbrica (competirá con los servicios basados en cables, y suscriptores de líneas asimétricas digitales en sus siglas ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)).

Las grandes empresas de telecomunicaciones podrían usarla para la creación de una plataforma común para sus distintos clientes, definiendo perfiles para las grandes empresas, los usuarios, hogar, pymes, etcétera, dejando de depender de las líneas telefónicas o redes de TV cable, actualmente en manos de unas pocas compañías.

Las compañías se beneficiarán en su modelo de negocios con el acceso sin cables a los datos: la telefonía móvil ampliará su capacidad de servicios al combinar tecnologías para la transmisión de información; la industria de entretenimiento llevará a los hogares contenidos de multimedia (gracias a la banda ancha) y los operadores de telecomunicaciones tendrán la opción de aumentar su portafolio de productos y servicios.

#### 2.4.5.5. Ventajas para usuarios finales

Otra gracia de esta plataforma o tecnología, será la posibilidad de auto instalación donde sólo habrá que conectar los computadores a una caja módem, e ingresar un password para la facturación por el uso, para conectarse a través de las antenas que llevarán el servicio al área.

Para los usuarios representaría mayor cobertura, más ancho de banda y menor precio. Plataformas comunes, estándar de conexión, multilocalización de la señal de radio, anchos de banda parejos al cable, telefonía fija y móvil y televisión bajo demanda unificados en un mismo servicio y factura. En la figura 6 se muestra la topología de una red WIMAX y todos los servicios que proporciona al usuario final.

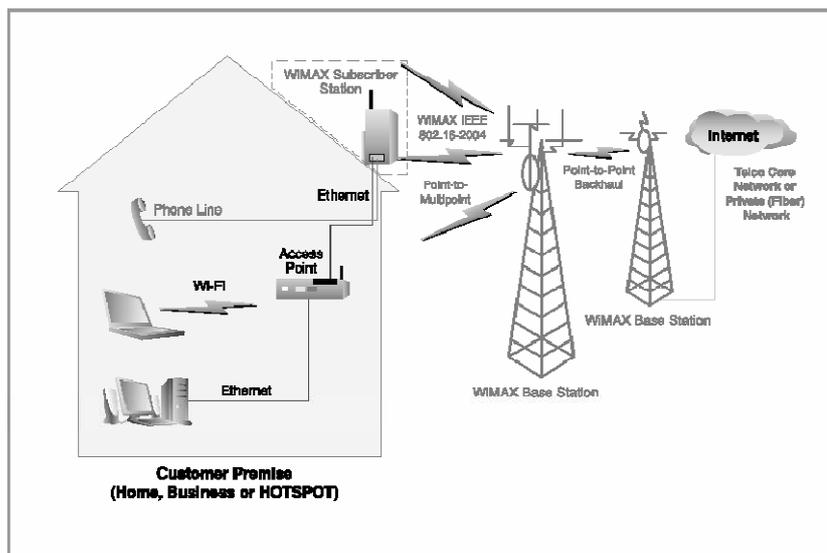


Figura 6. Topología de la red de WIMAX de los servicios para el usuario

#### 2.4.6. Desventajas

A mayor distancia de la estación proveedora, menor velocidad a partir de los kilómetros de cobertura de un determinado estándar de la tecnología WIMAX (802.16, 802.16a, 802.16x, etc.).

Otra desventaja de WIMAX es la lucha contra los grandes operadores celulares ya que está llegando más tarde al mercado.

## **2.4.7. Aspectos Económicos, Técnicos de la tecnología WIMAX**

### **2.4.7.1. Aspectos Económicos**

WIMAX está considerada como una alternativa más barata a las líneas de suscripción digital y a los accesos de cable de banda ancha, ya que los costes de instalación de una infraestructura inalámbrica son mínimos si se comparan con las versiones alámbricas. Además, permitirá llevar la banda ancha a zonas remotas en las que no existe cable ni ADSL.

El costo-beneficio de una red WIMAX es mucho mejor, ya que con menos equipos se alcanza una mayor área, es por eso que también es una alternativa muy viable a lo que es la fibra óptica.

Su bajo precio estaría relacionado con que los fabricantes no tendrían que producir para un solo cliente. Esta es una oportunidad de volumen para ellos. De este modo, ese ahorro se traspasaría a los usuarios a través de un descenso de las tarifas, que también estaría relacionado en la competencia que esto generaría entre ellos.

Dicho esto, es probable que WIMAX tenga una estructura de menor costo respecto de la red núcleo o la porción de la red que se encuentra “detrás” de las estaciones base. Específicamente, WIMAX utiliza un núcleo todo IP lo que significa que es escalable y, por tanto, puede soportar un mayor nivel de tráfico de usuarios para una cantidad dada de recursos de la red.

Además, WIMAX usa routers comerciales por oposición a una combinación de interruptores de circuitos y otros componentes de la red que, aunque son similares a los routers comerciales, han sido diseñados especialmente para que se empleen en una red celular.

Puede deducirse que la mejor alternativa es la implementación de WIMAX con WI-FI, por medio de redes de malla, ya que se disminuyen costos, sobre redes ya existentes de WI-FI, que quisieran expandirse o cubrir la última milla y diseñar e implementar una red de área metropolitana, ya que con la utilización de una antena inteligente, administrada por WIMAX, se puede cubrir la última milla y expandir la red de malla.

Esto indica que WIMAX, puede servir como backhaul o red de retorno, la cual puede expandir a cualquier LAN ya se cableada, como inalámbrica, y con la inversión en algunas antenas inteligentes y la configuración de las mismas, se puede cubrir a toda una ciudad o pueblo, a menor costo y con mejores servicios.

#### **2.4.7.2. Aspectos Técnicos**

Las consecuencias económicas y técnicas que acarrearía WIMAX en el mediano plazo son:

1. Mejorar, simplificar y abaratar el acceso a la Internet.
2. Crear una red de comunicación inalámbrica alternativa a las redes de telefonía celular.

Una vez que la conexión a una red WIMAX se haya realizado, se podría hacer llamadas utilizando VoIP, a cualquier lugar del mundo, chatear vía un servicio de mensajería instantánea, enviar mensajes SMS, acceder a cursos interactivos y muchas cosas más sin pagar cantidades exorbitadas por dichos servicios.

Las redes WIMAX competirán con las redes celulares. La competencia siempre es buena porque obliga a que las compañías se esfuercen en ofrecer un valor agregado a los clientes, reduce los precios y va rompiendo poco a poco la brecha digital.

#### **2.4.7.3. Desafíos técnicos y comerciales**

Todas las tecnologías emergentes hacen frente a sus propios desafíos que deben superar para convertirse en un éxito técnico y comercial. Sucede lo mismo con WIMAX ya que los desafíos incluyen una propagación de frecuencia radial (RF) desfavorable en el espectro relativamente alto que se está considerando en algunas situaciones, la cantidad de trabajo sin terminar que debe realizarse fuera de la estandarización del IEEE para que los equipos tengan la certificación WIMAX, así como sus méritos económicos en relación con 3G y otros servicios inalámbricos de banda ancha que existen en la actualidad.

#### **2.4.8. Hardware y software que utiliza WIMAX**

##### **2.4.8.1. Antenas Inteligentes (Smart Antenas)**

Estas antenas son similares a las utilizadas por operadoras que prestan el servicio de 3G o de telecomunicaciones, la ventaja de estas es la utilización del espectro ya que se puede alcanzar hasta 5 bps/Hz, comparada aproximadamente con 2 bps/Hz de WI-FI, se debe de tomar en cuenta que la calidad del espectro dependerá de la configuración y posición de las mismas.

Debido al desempeño y a la tecnología, algunos estándares de WIMAX soporta varios tipos de antenas inteligentes adaptables, tales como:

➤ Antenas receptoras de diversidad espacial.

Implica más de una antena receptora de la señal. Por lo que se debe tener cuidado en la colocación o instalación de las mismas, ya que estas entre sí pueden generar interferencia entre ellas. Todo dependerá de las especificaciones especiales de cada antena y sobre todo implica la realización de pruebas

➤ Antenas de diversidad simple.

Estas son conocidas como antenas receptoras, ya que detectan a las antenas múltiples. Cuanto más incoherentes sean las antenas entre las que se pueda elegir, mayor será la probabilidad de conseguir una señal fuerte.

➤ Antenas orientadoras de haces.

Forman el diagrama de la red de antenas para producir grandes amplificaciones en la dirección de la señal útil o lengüetas que rechazan la interferencia.

➤ Antenas formadoras de haces.

Estas optimizan la frecuencia, ya que dividen el área donde se encuentra la antena en sectores y sobre los mismos distribuye la frecuencia.

Una sola antena WIMAX daría cobertura a 1.000 usuarios con una ADSL de 1 Mbit. Intel y los fabricantes de teléfonos móviles, como Nokia o Siemens, están fabricando diseños de terminales capaces de conectarse a estas nuevas redes. Mientras se desarrollan estos nuevos dispositivos, WIMAX funcionará con una pequeña antena receptora, que se instala en el exterior de los edificios.

En una segunda fase, los creadores de esta tecnología confían en desarrollar receptores que funcionen desde el interior del edificio hasta que el estándar consiga llegar a los portátiles y móviles sin que sea necesaria más instalación que la que hoy supone enchufar una tarjeta WI-FI al ordenador. En la figura 7 se muestra un modelo de una antena inteligente WIMAX.



**Figura 7.** Antena Inteligente WIMAX

#### **2.4.8.2. Redes malladas (Mesh Networks)**

Estas permiten alta disponibilidad de comunicación entre los abonados o usuarios de la red, por medio de un enrutamiento óptimo, lográndose así que no exista visión directa entre los mismos.

#### **2.4.8.3. La interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116 (Rosedale)**

Es el primer sistema sobre chip 802.16-2004 optimizado para su empleo en módems WIMAX rentables y en pasarelas residenciales para acceso a la red. Estas unidades se pueden instalar en hogares o empresas para recibir y transmitir una señal inalámbrica de banda ancha. El producto ha sido diseñado con un alto nivel de integración para facilitar el proceso de desarrollo y reducir los costes a los fabricantes de equipos. También ofrece una arquitectura programable para simplificar a los fabricantes de equipos la incorporación de aplicaciones únicas e innovadoras en la solución de Intel basada en estándares.

Para llevar la conectividad WIMAX a la mayor cantidad de personas, la interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116 permite la creación de productos WIMAX para el exterior, además del desarrollo de nuevas soluciones para interiores como, por ejemplo, los módems WIMAX auto instalables y las pasarelas residenciales para acceso a la red.

Asimismo, los principales fabricantes de equipos han anunciado el desarrollo de sus propios productos basados en la interfaz de banda ancha Intel PRO/Wireless 5116, incluyendo Airspan, Alvarion, Aperto Networks, Axxcelera Broadband Wireless, Gemtek, Huawei, Proxim Corporation, Redline Communications, Siemens Mobile, SR Telecom y ZTE.

Las soluciones WIMAX basadas en el estándar 802.16-2004 permiten la creación de redes inalámbricas fijas y de alta velocidad mediante banda ancha para proporcionar conectividad a Internet, prestaciones IP, capacidad TDM Voice y video en tiempo real basado en IP a altas velocidades.

## **2.4.9. Medios de Acceso de la tecnología WIMAX**

### **2.4.9.1. Tarjeta para estaciones base WIMAX**

Denominada como el diseño de Glenfield es la primera tarjeta o placa de Intel para infraestructuras WIMAX, la placa está basada en un procesador de red Intel con funciones MAC (Control de Acceso a Medios) y en un componente de nivel físico de PicoChip Designs, y es adaptada por los fabricantes de estaciones base para cubrir sus necesidades.

Glenfield se construyó utilizando ATCA (Advanced Telecom Computing Architecture), promocionado por Intel como el diseño estándar para los equipos de red. La compañía considera que la adopción de ATCA en los equipos de operadores permitirá dar el salto de las arquitecturas propietarias actuales a sistemas modulares que puedan desplegarse rápidamente y a un menor coste utilizando componentes de diversos fabricantes.

Los fabricantes de sistemas podrían utilizar la tecnología de Glenfield tanto en equipos basados en ATCA como en sistemas propietarios. Además, la adopción de esta placa permitiría construir dos tipos de estaciones base WIMAX. Glenfield está en principio diseñada para estaciones base de alta calidad, similares a los actuales equipos celulares, con cajas de procesamiento independientes y antenas, y que puede instalarse en las torres de móviles.

Otro tipo de estaciones base serían más pequeñas y menos costosas y podrían situarse en los edificios o en los postes eléctricos; este tipo podría utilizarse tanto para frecuencias con o sin licencia. En la figura 8 se muestra un modelo de una antena base WIMAX.



**Figura 8.** Base o Terminal de WIMAX

### **2.4.9.2. Tratamiento de los Problemas de Interferencia y Calidad de Servicio**

La interferencia es la interrupción o degradación de una señal transmitida por energía RF ajena.

La interferencia impide que un receptor RF distinga entre la señal transmitida y la energía RF de fondo que existe en ese punto específico de tiempo. Las causas de energía RF ajenas pueden ser:

➤ **Ruido**

Las fuentes de energía que no están en el mismo espectro RF pero que aún así afectan al receptor RF debido a la armonía o bleed-over en bandas de frecuencia RF o canales adyacentes. Un sistema de teléfono celular, por ejemplo, puede generar este tipo de ruido.

➤ **Superposición directa por fuentes no identificadas**

Fuentes de energía RF que están en el mismo espectro RF pero que no pueden ser identificadas por el receptor RF porque usan un protocolo RF o esquema de codificación/modulación diferentes.

➤ **Superposición directa por fuentes identificadas**

Fuentes de energía RF que están en el mismo espectro RF pero que pueden ser identificadas por el receptor RF porque usan el mismo protocolo y esquema de codificación/modulación que el receptor RF. Por ejemplo: dos instalaciones de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS) 802.11b\* DSSS pueden "oírse", estando o no en la misma estructura física.

**La energía RF ajena puede ser tratada por:**

➤ **Estándares**

El estándar IEEE 802.16-2004 implementa la subcanalización OFDM y soporta modulación adaptable, lo que permite que la velocidad de datos y la calidad del enlace se equilibren dinámicamente, basándose en la calidad del enlace y las condiciones del canal. Por lo general se pasa por alto al enfoque del proyecto tomado en la capa MAC del 802.16-2004, a pesar de ser esencial para eliminar la interferencia RF indeseada. La naturaleza multipunto de la capa MAC permite que cientos de sitios fijos compartan una misma estación base en un radio de muchos kilómetros.

La capa MAC del 802.16-2004 asigna ancho de onda a dispositivos móviles dinámicamente usando acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Por el contrario, la capa de Control de Acceso a Medios (MAC) usa mecanismos de detección de la portadora y de contención para ofrecer control de ancho de banda.

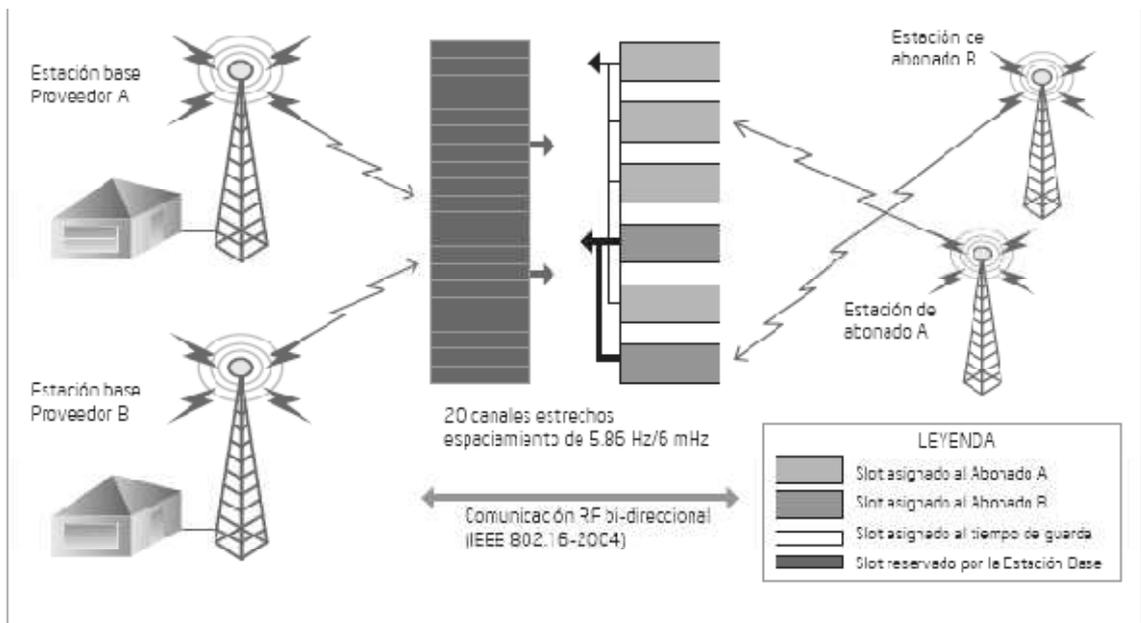
➤ **Proyecto de red correcto**

Incluye implementar una medición del sitio y acceso 24 horas por día, los 7 días de la semana, a estructuras y estaciones base. La interferencia causada por la mayoría de fuentes de energía RF (efecto de campo lejano) pueden reducirse y mejorarse la QoS al localizar puntos de conectividad de la red inalámbrica, tales como torres y puntos de acceso cercanos a los clientes y ofrecer múltiples opciones para que el cliente seleccione la “mejor” conexión RF en un determinado momento.

La baja latencia soporta aplicaciones sensibles a la demora tales como video o voz sobre IP (VoIP) y asignación de prioridad al tráfico de datos. Al implementar Sistemas de Posicionamiento Global (GPSs) dentro de estaciones base y usar sincronización basada en GPS se pueden evitar problemas a nivel intersectorial y entre estaciones base al identificar la localización de la estación base y la localización de la posible interferencia entre estaciones, así como sincronizar horarios de transmisión RF.

➤ **Amplificadores de potencia y tecnologías de antena**

Implementación de la sectorización y polarización de antenas para ayudar a minimizar los efectos de las fuentes de interferencia de energía RF a una distancia del receptor. Controlar la dirección de la antena y de la potencia puede ayudar a disminuir la interferencia pero pueden aumentar los costos. La canalización OFDM controla el ruido y ayuda a administrar el espectro como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Mejora de la flexibilidad usando tecnología de canalización y de antenas inteligentes

➤ **Filtración**

Implementación de filtros de paso de banda para minimizar los efectos de fuentes de energía RF que están fuera del espectro operativo del receptor o dentro de un canal específico del espectro operativo (tanto efectos locales como de campo lejano).

➤ **Protección**

Implementación de una protección de RF dentro de un contenedor del receptor para asegurarse de que las fuentes de energía RF localizadas no estén penetrando en el equipo de modo diferente que por antena o coaxial (efectos de campo local).

➤ **Reuso**

Implementación del esquema de reuso de canal o frecuencia para que el receptor no cree su propia fuente de energía RF ajena (efecto de campo local).

#### **2.4.10. El futuro de WIMAX**

El fuerte impulso que ha tenido la tecnología de redes sin cables a escala mundial ha permitido que grandes investigadoras de mercado como IDC, Forrester y Jupiter, hagan prometedoras proyecciones respecto a su uso e implementación. Al mismo tiempo, la inversión de compañías como Intel en tecnologías como UWB (Ultra Wide Band) y WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), con las que disponer de conectividad de banda ancha para señales de voz y datos capaces incluso de cubrir grandes zonas metropolitanas, han impulsado las previsiones en diferentes áreas de uso.

La firma de investigación de mercado TelecomView ha llevado a cabo un estudio cuya conclusión es que la tecnología inalámbrica WIMAX podría acaparar parte de la cuota de mercado de la tercera generación de telefonía móvil y DSL, destacando que si bien en algunos casos podría complementarlas, en otros podría sustituirlas.

En un escenario totalmente en movimiento, los usuarios podrán desplazarse mientras tienen acceso de datos de banda ancha o a una sesión de transmisión en tiempo real de multimedia. Todas estas mejoras ayudarán a hacer que WIMAX sea una solución aún mejor para el acceso inalámbrico y el acceso de Internet para economías en crecimiento.

En lo que respecta a tecnología celular, como los operadores celulares cambian a sistemas basados en IP de cuarta generación, se sostendrán de WIMAX tanto como lo están haciendo con el más limitado WI-FI. Para países en desarrollo como China, el mercado potencial más grande para usuarios de banda ancha, WIMAX se convertirá en la solución dominante.

Si WIMAX sigue obteniendo más apoyo de la industria, también puede proveer acceso de banda ancha en regiones alejadas y partes del mundo en desarrollo donde el acceso básico de voz o banda ancha mediante un servicio de línea fija no es económicamente viable.

Además, WIMAX potencialmente puede usarse para proveer backhaul a redes celulares o puede usarse para mejorar en forma significativa el rendimiento de los puntos de acceso con redes inalámbricas WI-FI (Wireless Fidelity), aumentando el rendimiento de la red de backhaul y haciendo más fácil y económico desplegar WI-FI.

Además, para cuando la versión móvil de WIMAX esté disponible con una gran cantidad de terminales ofrecidas por una gran variedad de proveedores, las redes de datos 3G avanzadas que usan 1xEV-DO y HSDPA estarán extensamente disponibles en un ecosistema bien establecido.

## **2.5. APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA WIMAX**

La tecnología WIMAX permite realizar comunicaciones punto a punto o punto a multipunto y ofrece de acuerdo a sus diferentes estándares, servicio inalámbrico desde bases fijas hasta el servicio inalámbrico móvil, por lo que está entrando a la competencia contra redes celulares (E1, T1), ya que la implementación de WIMAX, es mucho más barata que éstas.

Esta tecnología, funciona de manera similar a las actuales redes inalámbricas de tecnología WI-FI, en donde una estación base con una antena o un punto de acceso, controla el acceso inalámbrico de los equipos a la red.

De esa manera, los empleados de una compañía puede utilizar desde su portátil o computador de mano todos los recursos de la red, sin necesidad de una conexión por medio de un cable y poder navegar por Internet, leer el correo interno, imprimir documentos, acceder a las bases de datos, etc.

WIMAX puede implementarse en forma individual, ya que está capacitada para mantenerse dentro de la industria inalámbrica, pero también puede utilizarse o complementar las tecnologías

existentes, como WI-FI y 3G, ya que puede unificar los puntos de conexiones en zonas públicas de las tecnologías inalámbricas existentes a un menor costo operativo y con la alternativa de no crear enlaces fijos.

#### **2.5.1. Beneficios de WIMAX a los países en desarrollo**

1. Costos de despliegue de red sensiblemente inferior a los de cualquier otra tecnología inalámbrica o de comunicaciones.
2. La posibilidad de introducir a su población en el universo de las nuevas tecnologías, permitirá conectar a Internet más de mil millones de personas en todo el mundo, que están alejados de las redes de cobre, cable o fibra.
3. Plataformas comunes, estándar de conexión, multilocalización de la señal de radio, ancho de banda pareja al cable, telefonía fija y móvil y televisión bajo demanda unificada en un mismo servicio.
4. En mercados en desarrollo, tales como los Estados Unidos y Canadá, hay regiones del país en donde la economía de instalar cables o poner DSLAM no tiene sentido. En estos casos, una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha fija podría ser más apropiada. Ya hay una serie de WISP (Wireless Internet Service Providers- Proveedores de Servicio de Internet Inalámbrico) en el centro de la nación, y aun en áreas muy urbanas, usando una de las tecnologías patentadas antes mencionadas.

No todos estos WISP han sido exitosos; los costos de infraestructura total y los números de abonados han sido muy modestos. Sin embargo, la disponibilidad de equipos WIMAX en grandes volúmenes de una cierta cantidad de proveedores podría ayudar a mejorar la economía y, a su vez, aumentar el tamaño del mercado.

## **CAPÍTULO III**

### **EVALUACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE WIMAX EN EL ÁREA DE COBERTURA DE FASTNET Cía. Ltda.**

#### **3.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA FASTNET Cía. Ltda.**

**FASTNET Cía. Ltda.** es una empresa de Telecomunicaciones y Proveedor de Servicios Internet (ISP) para empresas, cybers, hogares, etc. con presencia en la ciudad de Riobamba.

FASTNET se constituye a partir de un grupo de profesionales altamente calificados, con suficiente experiencia en las áreas de Sistemas, Electrónica, Redes y Telecomunicaciones, permitiendo de esta forma crear soluciones y productos integrados capaces de satisfacer las necesidades de conectividad de sus clientes yendo más allá de la mera implantación de soluciones estándar o de desarrollos tradicionales.

FASTNET tiene una infraestructura autónoma capaz de proporcionar un servicio de alta calidad adaptándose a las necesidades de sus clientes.

### **3.1.1 Objetivos**

- Proveer soluciones de conectividad a Internet, de la más alta calidad y a precios extremadamente competitivos.
- Tener una infraestructura capaz de proporcionar un servicio de alta calidad adaptándose a las necesidades de sus clientes.
- Investigación constante para el desarrollo de nuevos proyectos relacionados al mercado tecnológico.

### **3.1.2. Misión**

**FASTNET Cía. Ltda.** tiene como misión brindar servicios tecnológicos de alta calidad para que nuestros clientes se sientan respaldados logrando el desarrollo personal y de sus negocios por medio de nuestros productos y servicios como son Internet, correo electrónico y, desarrollo de páginas web, etc.

### **3.1.3. Visión**

**FASTNET Cía. Ltda.** tiene como visión llegar a ser el mejor proveedor de servicios de Internet del país usando tecnología de punta con recursos técnicos, económicos, eco-ambientales, financieros y humanos calificados.

### **3.1.4. Servicios**

Actualmente la empresa FASTNET Cía. Ltda. presta servicios de acceso a Internet a toda la provincia de Chimborazo; los servicios que se prestan en cada cantón de la provincia depende del área de cobertura que tiene cada tecnología, la empresa FASTNET actualmente presta

servicios de acceso conmutado y no conmutado en Chimborazo usando medios como acceso inalámbrico, mediante fibra óptica y cobre tendido.

**FASTNET brinda innumerables ventajas:**

- Mayor velocidad, estabilidad y calidad de servicio.
- Soporte técnico especializado las 24 horas todos los días del año.
- Nunca los clientes pagarán cargos de mantenimiento.
- Internet sin límite de tiempo.
- Asesoría en la implantación de soluciones tecnológicas.
- Continuo crecimiento tecnológico.

La empresa FASTNET Cía. Ltda. tiene definido dos tipos de usuarios los cuales son:

- Corporativos: define el acceso a este tipo de usuarios de línea dedicada donde no tienen que compartir con otros usuarios el acceso a Internet.

Para usuarios que deseen obtener el servicio de Banda Ancha en su negocio, pequeña empresa y que necesiten un acceso a Internet continuo, de gran velocidad y económico.

Con compartición 4 a 1

- Plan 224x128Kbps
- Plan 256 x 128Kbps
- Plan 512 x 256Kbps

- Residencial: comprende el acceso de línea compartida, pero diferenciando que existen usuarios que prefieren tener en su hogar un servicio personalizado y no compartido.

La Banda Ancha que FASTNET brinda para el hogar, le permite acceder a Internet las 24 horas del día de manera ilimitada a altas velocidades, sin necesidad de ocupar su línea telefónica, con un costo fijo mensual, con una compartición de 8 a 1.

#### **Planes tiempo Ilimitado**

- **Standard** : 192x128kbps
- **Premium** : 256x128kbps
- **Premium Plus** : 512x128kbps

Dada las características del presente trabajo se ha decidido analizar solo el servicio inalámbrico que la empresa ha brindado desde su legal constitución hasta la presente fecha en la ciudad de Riobamba; para lo cual se muestra la tabla V con el virtual crecimiento de usuarios de los distintos servicios que brinda la empresa.

**Tabla IX.** Número de usuarios con acceso inalámbrico en Riobamba

<b>TIPO DE SERVICIO</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Cantidad Abonados plan A	30	72	106
Cantidad Abonados plan B	25	48	94
Cantidad Abonados plan C	25	57	71
Cantidad de Abonados	80	177	271

Como se detalla en la tabla anterior la empresa clasifica sus servicios inalámbricos en tres tipos de planes:

- **Plan A:** Canal No conmutado Compartido
- **Plan B:** Canal No conmutado No Compartido
- **Plan C:** Canal No conmutado Compartido

### **3.1.5. Cobertura**

El área de cobertura de FASTNET Cía. Ltda. Comprende todo la provincia de Chimborazo, la cobertura principal lo tiene en la ciudad de Riobamba llegando así a todos los puntos dentro de la ciudad urbana como también algunas de sus parroquias rurales:

- San Andrés
- Calpi
- Licán

Para la cobertura de toda la ciudad de Riobamba y sus alrededores la empresa FASTNET tiene definido su punto de acceso en el cerro Cacha mediante fibra óptica, permitiendo así la cobertura en la ciudad.

## **3.2. INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE MERCADO**

En una época de globalización y de alta competitividad de productos o servicios, como lo es en el cambiante mundo actual es necesario estar alerta a las exigencias y expectativas del mercado, para ello es de vital importancia para asegurar el éxito de las empresas hacer uso de técnicas y herramientas, una de ellas es llevar a cabo un estudio de mercado, en conjunto con una serie de investigaciones como lo son, competencia, los canales de distribución, lugares de venta del producto, que tanta publicidad existe en el mercado, precios, etc.

La frase clave es conocer el mercado. Las necesidades del mercado, es decir de los consumidores son los que dan la pauta para poder definir mejor que es lo que se va a vender o cual es el servicio que se pretende ofrecer y a quienes así como dónde y cómo se lo puede realizar.

Como parte del desarrollo de esta tesis se cree conveniente el desarrollo de un estudio de mercado el que busca dar como resultado el impacto que tendría dentro de nuestra ciudad implementar un servicio de internet mediante el lanzamiento de una nueva tecnología no muy bien conocida al momento en nuestro país y ciudad.

Esto como parte para poder dar soluciones a problemas comunes de nuestra ciudad como es el acceso al internet tan involucrado en el adelanto mismo de la sociedad y parte de eso se busca realizarlo mediante el desarrollo de esta tesis que se enfoca en un nuevo servicio de acceso a internet de forma inalámbrica.

### **3.3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

#### **3.3.1. ESTUDIO DE MERCADO**

##### **3.3.1.1. Análisis Histórico**

Los datos necesarios para poder realizar el análisis de la variable para el presente estudio se encuentran en el Anexo 1, con el número de predios existentes en la ciudad de Riobamba.

La variable de comportamiento para nuestro caso va a ser el número de predios existentes en la ciudad de Riobamba es por eso que haremos el análisis del mismo.

### 3.3.1.2. Diseño estadístico de la Investigación

#### 3.3.1.2.1 Definición de la población

Se ha decidido que la población a estudiar es toda la ciudad de Riobamba puesto que el proyecto está enfocado al acceso a internet en forma inalámbrica, se puede decir que únicamente el acceso se lo realizara exclusivamente por cada familia; además que el manejo de la información se lo haga por el número de predios con que cuenta la ciudad para lo cual estos datos se los ha obtenido del Ilustre Municipio de Riobamba a la vez estos datos han sido definidos en zonas y sectores como se muestra en el Anexo 2.

#### 3.3.1.2.2. Cálculo de la muestra

$$Nc=95\%$$

$$P=0.5$$

$$1-P=0.5$$

**Tabla X .** Cálculo de la desviación típica

<b>Z</b>	...	6
1,96		0.475

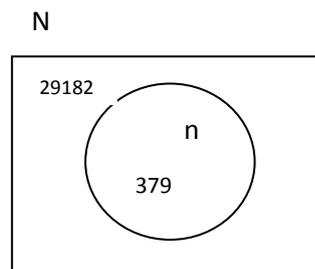
$$n = \frac{P(1 - P)}{\frac{\varepsilon^2}{z^2} + \frac{P(1 - P)}{N}}$$

$$n = \frac{(0.5)(0.5)}{\frac{(0.025)}{(1.96)^2} + \frac{(0.5)(0.5)}{29182}}$$

$n = 379$  Tamaño de la muestra

### 3.3.1.2.3. Marco muestral

Puesto que se conoce la población siendo estos el numero de predios existentes en la ciudad de Riobamba esta entra en un marco muestral optimo.



### 3.3.1.2.4. Aplicación de muestreo

Con la ayuda del Ilustre Municipio de Riobamba del Departamento de Sistemas se pudo obtener el número de predios reales que existen en la Ciudad de Riobamba en la zona urbana, cabe indicar que la ciudad de Riobamba se encuentra dividida en 9 zonas por su ubicación y las mismas se dividen en sectores, es necesario indicar que para la aplicación de la encuesta para determinar la factibilidad del proyecto se realizó un análisis muestral aleatorio estratificado para determinar los predios y hogares a los cuales se debía aplicar la encuesta dado que el número de predios y casas es muy grande 29182 en total en la zona urbana de la ciudad (ANEXO 2).

Se calculó la muestra poblacional mediante la cual se realizó el proceso respectivo para realizar el análisis de muestreo aleatorio ya que como se puede observar en el Anexo 1 todas las manzanas que forman los sectores de cada zona se encuentran enumerados facilitándose de

esta manera la aplicación de este método para que de forma aleatoria se proceda a efectuar la selección de la población a ser encuestada (ANEXO 3)

### 3.3.1.2.5. ENCUESTA

Se ha planteado una encuesta en base a preguntas concretas sobre la utilización del servicio, la preferencia del usuario y la comodidad del mismo, en el ANEXO 4 se muestra detalladamente la misma.

Una vez que se ha realizado la encuesta se ha procedido a la tabulación de las preguntas de la misma, para proceder a su análisis y determinar así la factibilidad de la aplicación del proyecto

#### 3.3.1.2.5.1. TABULACION DE ENCUESTAS

1. ¿Considera usted que un servicio de internet se aplica a su labor y necesidad?

**Tabla XI.** Resultados obtenidos de la primera pregunta

<b>ZONAS</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Z1	44	1
Z2	80	9
Z3	52	6
Z4	50	1
Z5	24	5
Z6	43	7
Z7	43	1
Z8	7	2
Z9	4	0
<b>TOTALES</b>	<b>347</b>	<b>32</b>
<b>MEDIAS</b>	<b>38.5555556</b>	<b>6.4</b>
<b>VARIANZA</b>	<b>562.527778</b>	<b>10.5277778</b>
<b>DESVIACION TIPICA</b>	<b>23.7176681</b>	<b>3.24465372</b>

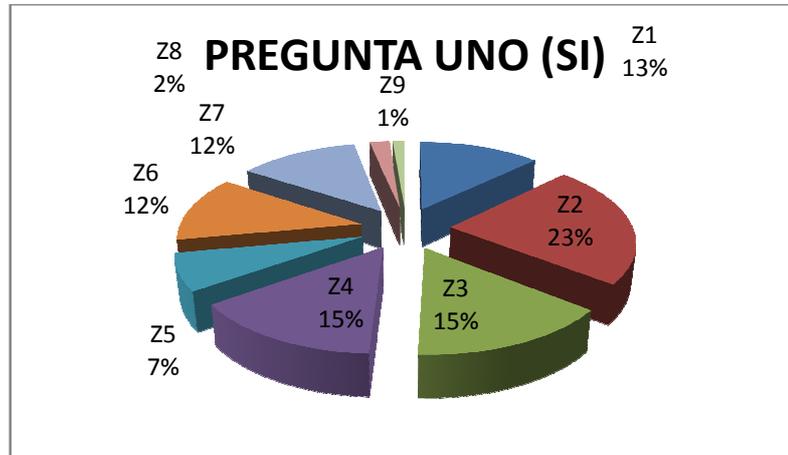


Figura 10. Gráfica de personas que han contestado en la primera pregunta que SI

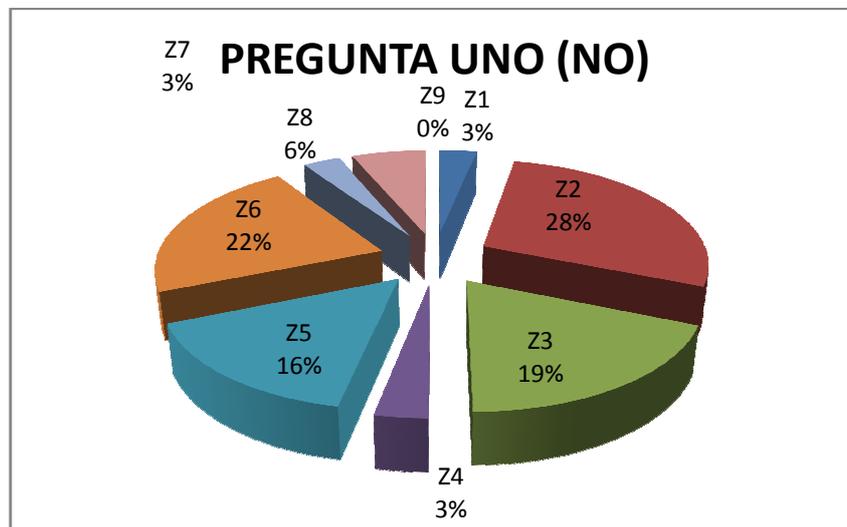
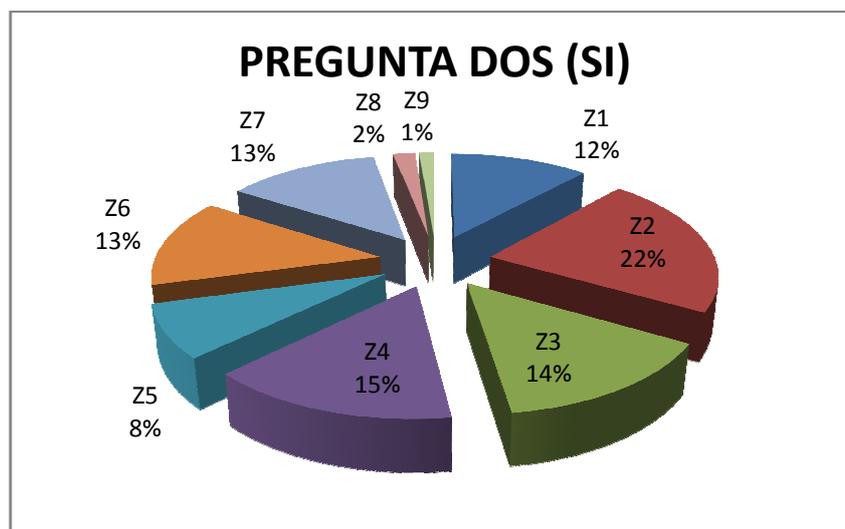


Figura 11. Gráfica de personas que han contestado en la primera pregunta que NO

2. ¿Está usted en la capacidad de acoplarse a este tipo de servicio?

**Tabla XII.** Resultados obtenidos en la segunda pregunta

ZONAS	SI	NO
Z1	39	6
Z2	73	16
Z3	48	10
Z4	50	1
Z5	27	2
Z6	45	5
Z7	43	1
Z8	6	3
Z9	4	0
<b>TOTALES</b>	<b>335</b>	<b>44</b>
<b>MEDIAS</b>	37.2222222	4.88888889
<b>VARIANZA</b>	479.944444	27.1111111
<b>DESVIACION TIPICA</b>	21.9076344	5.20683312



**Figura 12.** Gráfica de personas que han contestado en la segunda pregunta que SI

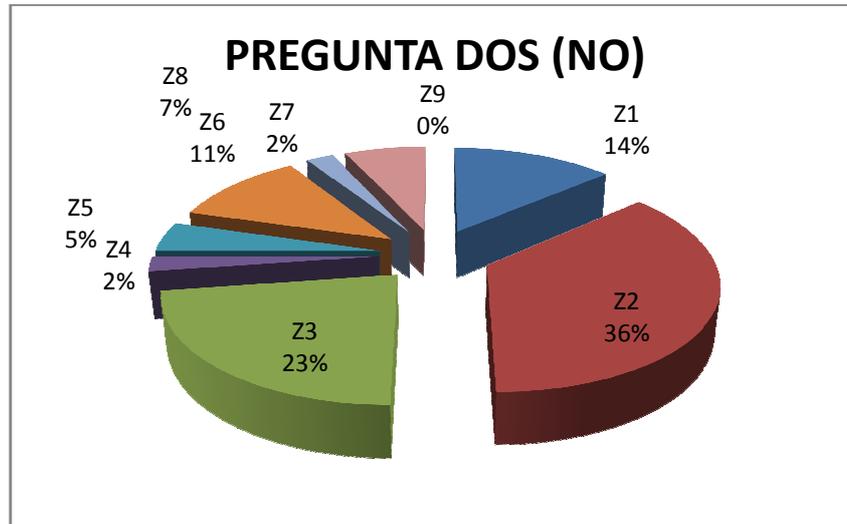


Figura 13. Gráfica de personas que han contestado en la segunda pregunta que NO

3. ¿Actualmente utiliza un servicio de acceso a internet?

Tabla XIII. Resultados obtenidos en la tercera pregunta

ZONA	SI	NO
Z1	31	14
Z2	67	22
Z3	49	9
Z4	35	16
Z5	24	5
Z6	33	17
Z7	42	2
Z8	7	2
Z9	4	0
<b>TOTALES</b>	<b>292</b>	<b>87</b>
<b>MEDIAS</b>	32.4444444	9.66666667
<b>VARIANZA</b>	387.027778	62.25
<b>DESVIACION TIPICA</b>	19.6730216	7.88986692

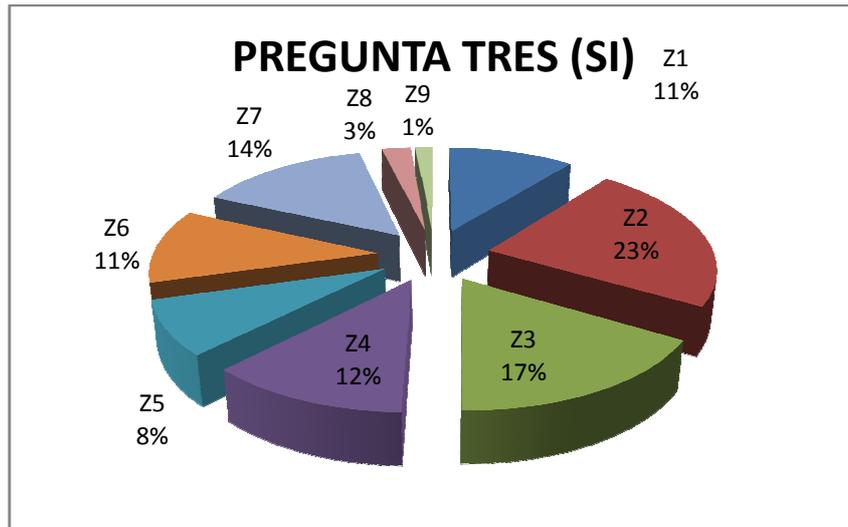


Figura 14. Gráfica de personas que han contestado en la tercera pregunta que SI

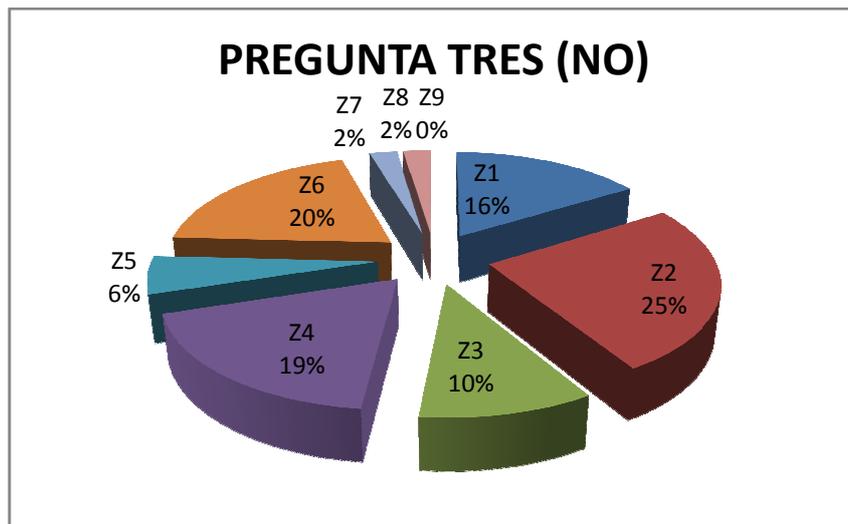
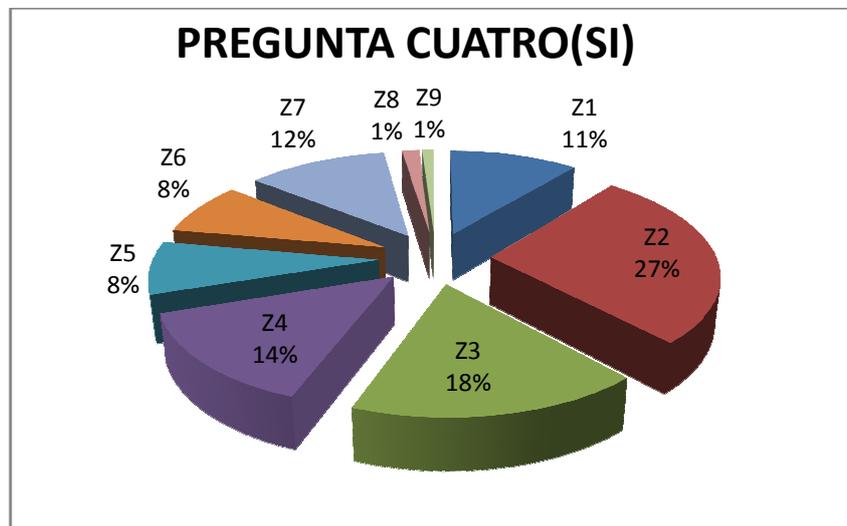


Figura 15. Gráfica de personas que han contestado en la tercera pregunta que NO

4. ¿Su servicio de internet actual es seguro y confiable?

**Tabla XIV.** Resultados obtenidos en la cuarta pregunta

ZONAS	SI	NO
Z1	23	22
Z2	58	31
Z3	37	21
Z4	30	21
Z5	17	12
Z6	17	33
Z7	25	19
Z8	3	6
Z9	2	2
<b>TOTALES</b>	<b>212</b>	<b>167</b>
<b>MEDIAS</b>	<b>23.5555556</b>	<b>18.5555556</b>
<b>VARIANZA</b>	<b>298.027778</b>	<b>107.777778</b>
<b>DESVIACION TIPICA</b>	<b>17.263481</b>	<b>10.3816077</b>



**Figura 16.** Gráfica de personas que han contestado en la cuarta pregunta que SI

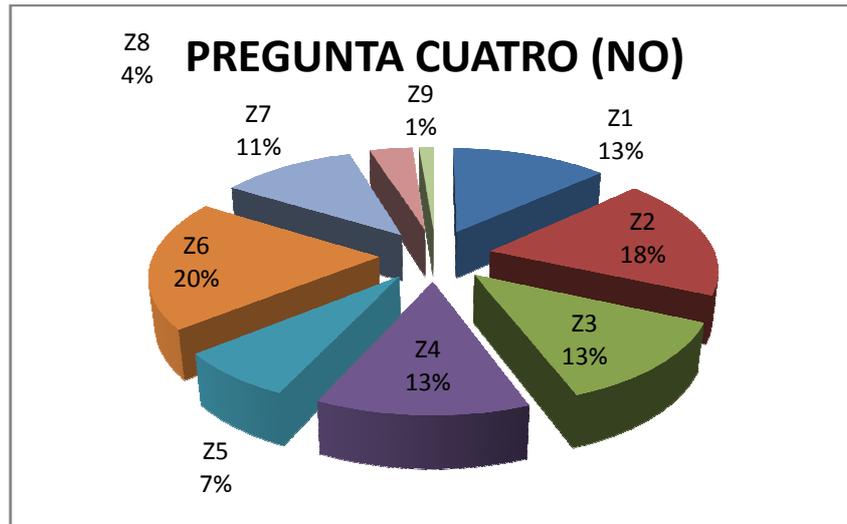


Figura 17. Gráfica de personas que han contestado en la cuarta pregunta que NO

5. ¿Usted estaría dispuesto a cambiar su servicio de internet actual por un servicio inalámbrico?

Tabla XV. Resultados obtenidos en la quinta pregunta

ZONAS	SI	NO
Z1	23	22
Z2	65	24
Z3	43	15
Z4	45	6
Z5	23	6
Z6	38	12
Z7	34	10
Z8	6	3
Z9	4	0
<b>TOTALES</b>	281	98
<b>MEDIAS</b>	31.2222222	10.8888889
<b>VARIANZA</b>	379.444444	67.8611111
<b>DESVIACION TIPICA</b>	19.4793338	8.23778557

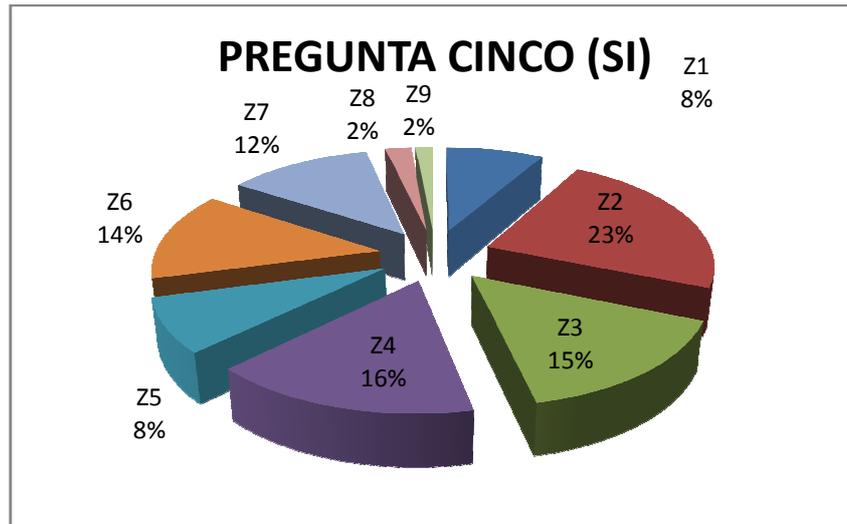


Figura 18. Gráfica de personas que han contestado en la quinta pregunta que SI

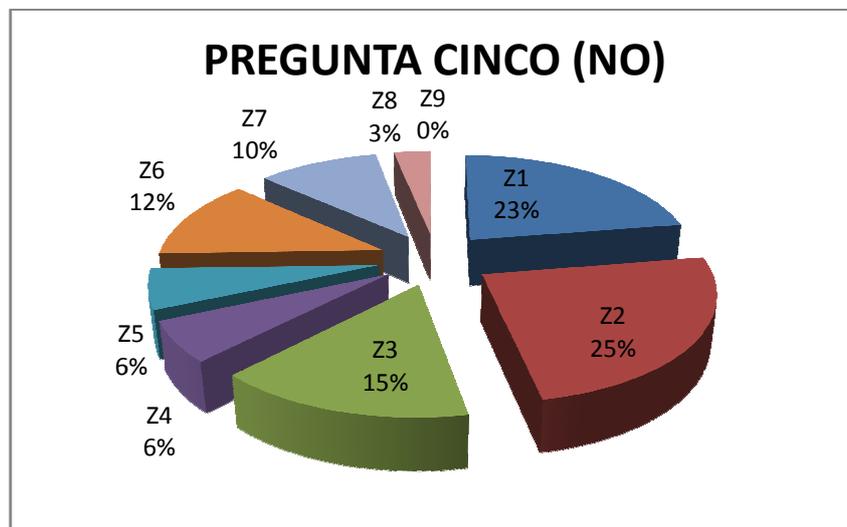
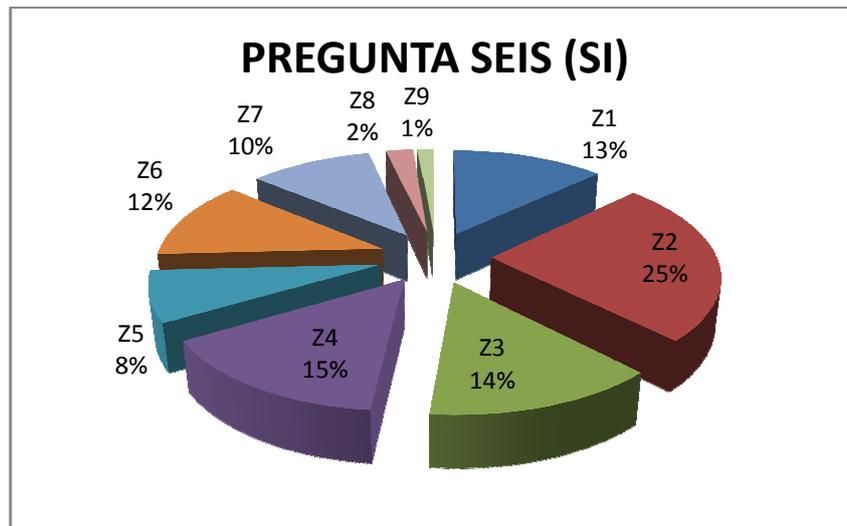


Figura 19. Gráfica de personas que han contestado en la quinta pregunta que NO

6. ¿Estaría dispuesto a comprar un equipo único que le permita obtener un servicio de internet garantizado y confiable?

**Tabla XVI.** Resultados obtenidos en la sexta pregunta

ZONAS	SI	NO
Z1	40	5
Z2	77	12
Z3	43	15
Z4	46	5
Z5	24	5
Z6	37	13
Z7	32	12
Z8	7	2
Z9	4	0
<b>TOTALES</b>	310	69
<b>MEDIAS</b>	34.4444444	7.66666667
<b>VARIANZA</b>	481.277778	29
<b>DESVIACION TIPICA</b>	21.9380441	5.38516481



**Figura 20.** Gráfica de personas que han contestado en la sexta pregunta que SI

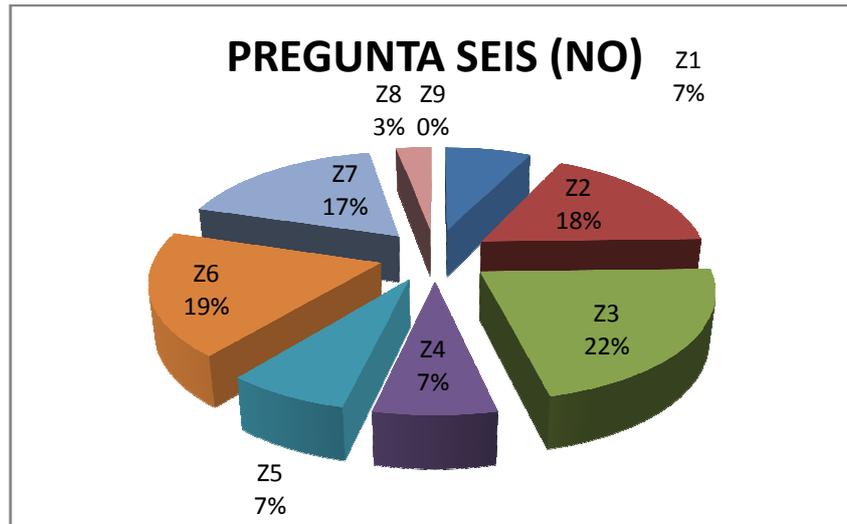


Figura 21. Gráfica de personas que han contestado en la sexta pregunta que NO

7. ¿Satisface sus necesidades de acceso a internet su actual proveedor?

Tabla XVII. Resultados obtenidos en la séptima pregunta

ZONAS	SI	NO
Z1	20	25
Z2	56	33
Z3	37	21
Z4	21	30
Z5	14	15
Z6	21	29
Z7	24	20
Z8	3	6
Z9	3	1
<b>TOTALES</b>	199	180
<b>MEDIAS</b>	22.1111111	20
<b>VARIANZA</b>	272.111111	119.75
<b>DESVIACION TIPICA</b>	16.4957907	10.9430343

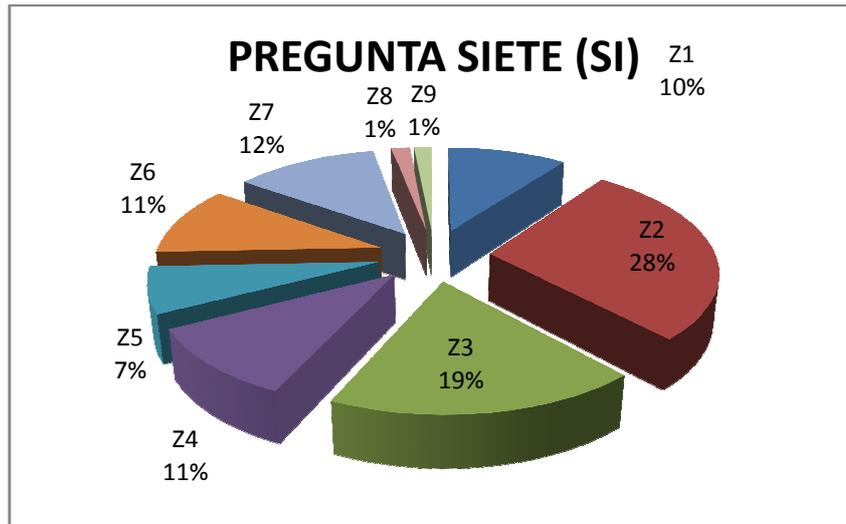


Figura 22. Gráfica de personas que han contestado en la séptima pregunta que SI

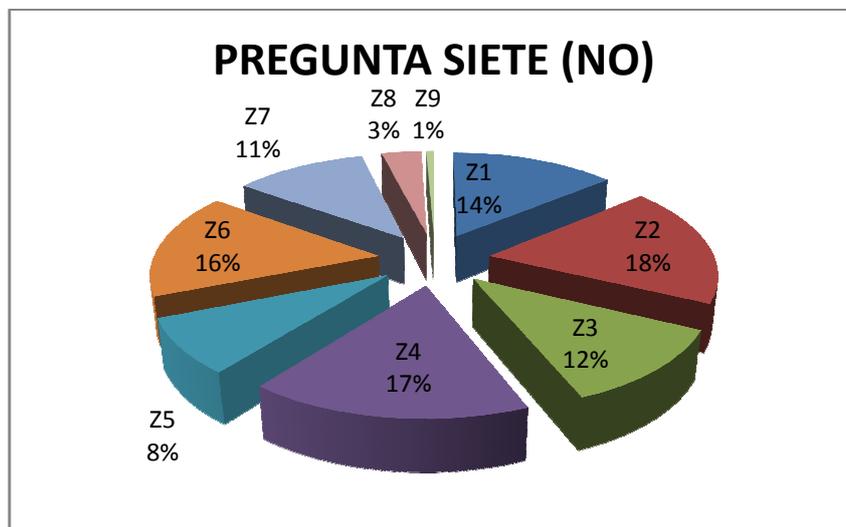


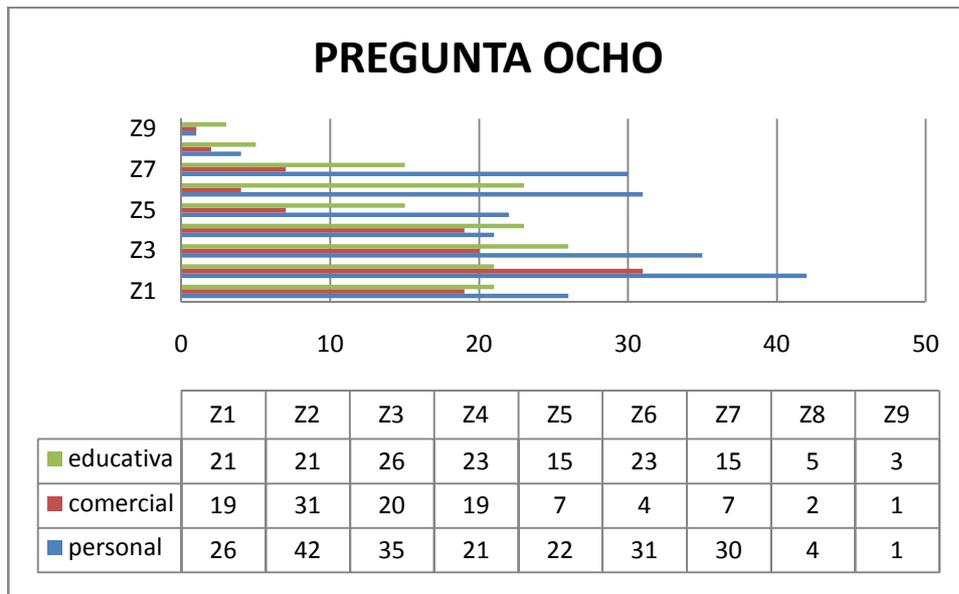
Figura 23. Gráfica de personas que han contestado en la séptima pregunta que NO

8. Su acceso a internet es de uso:

**PERSONAL                      COMERCIAL                      EDUCATIVO**

**Tabla XVIII.** Resultados obtenidos en la octava pregunta

ZONAS	PERSONAL	COMERCIAL	EDUCATIVA
Z1	26	19	21
Z2	42	31	21
Z3	35	20	26
Z4	21	19	23
Z5	22	7	15
Z6	31	4	23
Z7	30	7	15
Z8	4	2	5
Z9	1	1	3
<b>TOTALES</b>	<b>212</b>	<b>110</b>	<b>152</b>
<b>MEDIAS</b>	<b>23.5555556</b>	<b>12.2222222</b>	<b>16.8888889</b>
<b>VARIANZA</b>	<b>184.277778</b>	<b>107.194444</b>	<b>66.6111111</b>
<b>DESVIACION TIPICA</b>	<b>13.5748951</b>	<b>10.353475</b>	<b>8.16156303</b>

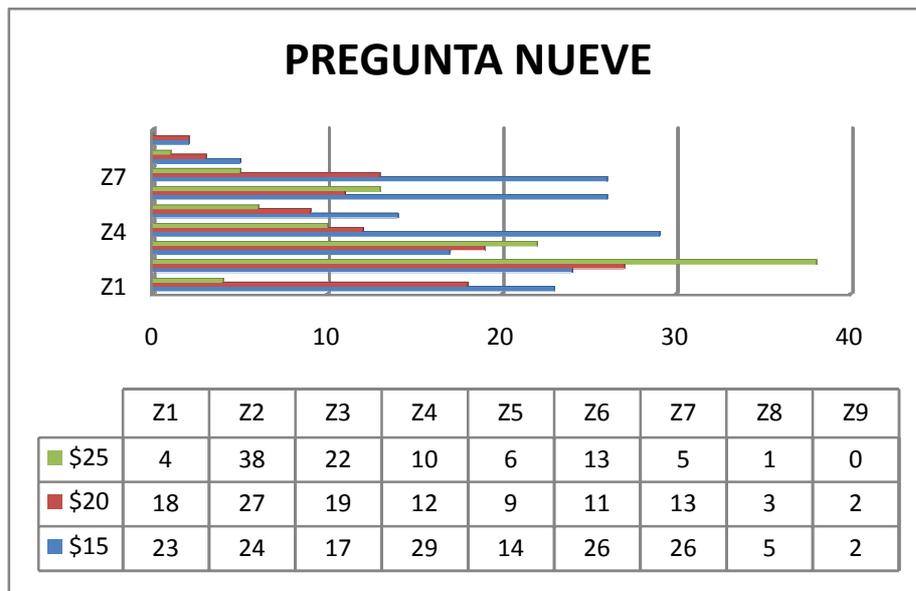


**Figura 24.** Gráfica de personas que han contestado la octava pregunta

9. ¿Cuánto estaría usted en la capacidad de pagar por este tipo de servicio mensualmente?

**Tabla XIX.** Resultados obtenidos en la novena pregunta

ZONAS	\$15	\$20	\$25
Z1	23	18	4
Z2	24	27	38
Z3	17	19	22
Z4	29	12	10
Z5	14	9	6
Z6	26	11	13
Z7	26	13	5
Z8	5	3	1
Z9	2	2	0
<b>TOTALES</b>	166	114	99
<b>MEDIAS</b>	18.4444444	12.6666667	11
<b>VARIANZA</b>	93.7777778	62.25	148.25
<b>DESVIACION TIPICA</b>	9.6838927	7.88986692	12.1757957



**Figura 25.** Gráfica de personas que han contestado en la novena pregunta

### 3.3.1.2.5.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ENCUESTAS

#### 3.3.1.2.5.2.1. MÉTODO CHI CUADRADO

La prueba de ajuste de CHI Cuadrado se emplea para decidir cuando un conjunto de datos se apega a una distribución de probabilidad dada.

La tabla Chi- Cuadrado ( $\chi^2$ ) se utiliza principalmente:

- Para probar si una serie de datos observados, concuerdan con el modelo (serie esperada) de la información.
- Para probar las diferencias entre las proporciones de varios grupos (tabla de contingencia).

#### Pasos para realizar la tabla de contingencias $\chi^2$

- 1) Plantear las hipótesis:

$$H_0 = p_1 = p_2 = p_3 \dots = p_k$$

- 2) Construir una tabla que contenga los valores observados.
- 3) Sumar los totales de los renglones y columnas de los valores observados.
- 4) Debajo de cada valor observado poner el valor esperado utilizando la fórmula:

$$E_{ij} = \frac{(\text{total de } i - \text{ésimo renglón} \times \text{total de } j - \text{ésima columna})}{n}$$

- 4) Calcular el valor del estadístico de prueba  $\chi^2$  usando la fórmula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

donde:

$O_{ij}$  = Valor observado de la celda  $i,j$ .

$E_{ij}$  = Valor esperado de la celda  $i,j$

5) Determinar los grados de libertad mediante:

$$gl = (r - 1)(c - 1)$$

donde

$r$  = número de renglones

$c$  = número de columnas

6) Calcular el valor crítico en la tabla  $\chi^2$

7) Criterio de decisión: si el valor crítico < valor del estadístico de prueba rechazamos  $H_0$

## **APLICACIÓN DEL METODO**

1.- Formular la hipótesis estadística y la hipótesis alternativa; utilizando  $H_0$  para denotar hipótesis.

H. estadística:  $X^2 = 0$

Esto quiere decir que no existe una relación entre el tipo de internet utilizado y el porcentaje de preferencia a un determinado servicio.

H. alternativa:  $X^2 > 0$

Es decir, existe una relación entre el tipo de internet ofertado y el porcentaje de preferencia a un determinado servicio.

## 2.- Distribución muestral

$$X^2 = \sum (O-E)^2/E$$

$$gl = (f-1)(c-1)$$

$$gl = (6-1)(9-1)$$

$$gl = 40$$

## 3.- Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05 \text{ (no direccinal)}$$

$$gl = 40$$

Valor critico de la prueba:

$$X^2 = 66,80$$

Según la tabla de valores cuantiles de la distribución chi-cuadrado (ANEXO 5 )

## 4.- Observaciones

Efectos de la prueba y estadístico de la prueba

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

donde:

O<sub>ij</sub> = Valor observado de la celda i,j.

E<sub>ij</sub> = Valor esperado de la celda i,j

**Tabla XX.** Datos obtenidos en la encuesta

		<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>	<b>Z5</b>	<b>Z6</b>	<b>Z7</b>	<b>Z8</b>	<b>Z9</b>	<b>Total</b>
<b>Pregunta 7</b>	<b>SI</b>	20	56	37	21	14	21	24	3	3	<b>199</b>
	<b>NO</b>	25	33	21	30	15	29	20	6	1	<b>180</b>
<b>Pregunta 4</b>	<b>SI</b>	23	65	43	45	23	38	34	6	4	<b>281</b>
	<b>NO</b>	22	24	15	6	6	12	10	3	0	<b>98</b>
<b>Pregunta 3</b>	<b>SI</b>	31	67	49	35	24	33	42	7	4	<b>292</b>
	<b>NO</b>	14	22	9	16	5	17	2	2	0	<b>87</b>
<b>Total</b>		<b>135</b>	<b>267</b>	<b>174</b>	<b>153</b>	<b>87</b>	<b>150</b>	<b>132</b>	<b>27</b>	<b>12</b>	<b>1137</b>

**Tabla XXI.** Aplicación del método Chi cuadrado

23.6279683	46.7308707	30.4538259	26.7783641	15.2269129	26.2532982	23.1029024	4.72559367	2.10026385	127.591029
21.3720317	42.2691293	27.5461741	24.2216359	13.7730871	23.7467018	20.8970976	4.27440633	1.89973615	115.408971
33.3641161	65.9868074	43.0026385	37.8126649	21.5013193	37.0712401	32.6226913	6.67282322	2.96569921	180.166227
11.6358839	23.0131926	14.9973615	13.1873351	7.49868074	12.9287599	11.3773087	2.32717678	1.03430079	62.8337731
34.6701847	68.5699208	44.6860158	39.292876	22.3430079	38.5224274	33.8997361	6.93403694	3.0817942	187.218997
10.3298153	20.4300792	13.3139842	11.707124	6.65699208	11.4775726	10.1002639	2.06596306	0.9182058	55.7810026
135	267	174	153	87	150	132	27	12	729

Tabla XXII. Resultado para aplicación método Chi-cuadrado

Observado (O)	Esperado ( E )	(O-E)	(O-E) <sup>2</sup>	{(O-E) <sup>2</sup> /E}
20	23.62	-3.62	13.10	0.55
56	46.73	9.27	85.93	1.84
37	30.45	6.55	42.90	1.41
21	26.77	-5.77	33.29	1.24
14	15.22	-1.22	1.49	0.10
21	26.25	-5.25	27.56	1.05
24	23.1	0.9	0.81	0.04
3	4.72	-1.72	2.96	0.63
3	2.1	0.9	0.81	0.39
25	21.37	3.63	13.18	0.62
33	42.26	-9.26	85.75	2.03
21	27.54	-6.54	42.77	1.55
30	24.22	5.78	33.41	1.38
15	13.77	1.23	1.51	0.11
29	23.74	5.26	27.67	1.17
20	20.89	-0.89	0.79	0.04
6	4.27	1.73	2.99	0.70
1	1.9	-0.9	0.81	0.43
23	33.36	-10.36	107.33	3.22
65	65.89	-0.89	0.79	0.01
43	43	0	0.00	0.00
45	37.81	7.19	51.70	1.37
23	21.5	1.5	2.25	0.10
38	37.07	0.93	0.86	0.02
34	32.62	1.38	1.90	0.06
6	6.67	-0.67	0.45	0.07
4	2.95	1.05	1.10	0.37
22	11.63	10.37	107.54	9.25
24	23.01	0.99	0.98	0.04
15	14.99	0.01	0.00	0.00
6	13.18	-7.18	51.55	3.91
6	7.49	-1.49	2.22	0.30
12	12.92	-0.92	0.85	0.07
10	11.37	-1.37	1.88	0.17
3	2.32	0.68	0.46	0.20
0	1.03	-1.03	1.06	1.03
31	39.77	-8.77	76.91	1.93
67	78.66	-11.66	135.96	1.73
49	51.26	-2.26	5.11	0.10
35	45.07	-10.07	101.40	2.25

24	25.63	-1.63	2.66	0.10
33	44.19	-11.19	125.22	2.83
42	38.89	3.11	9.67	0.25
7	7.95	-0.95	0.90	0.11
4	3.53	0.47	0.22	0.06
14	5.22	8.78	77.09	14.77
22	10.33	11.67	136.19	13.18
9	6.7	2.3	5.29	0.79
16	5.92	10.08	101.61	17.16
5	3.36	1.64	2.69	0.80
17	5.8	11.2	125.44	21.63
2	5.11	-3.11	9.67	1.89
2	1.04	0.96	0.92	0.89
0	0.46	-0.46	0.21	0.46
			$\chi^2 =$	116.39

#### 5.- Decisión de rechazo

Chi-cuadrada cuadrado observado es mayor a chi-cuadrado de la tabla, es decir:

$$116,39 > 66,80$$

Por tal razón se rechaza la hipótesis estadística y se acepta la hipótesis alternativa al nivel de confianza del 95 por ciento

#### 6.- Interpretación

Es decir no existe relación entre las preguntas y la elección del cliente es en términos de su economía principalmente.

### 3.3.1.2.5.2.2. MÉTODO ANOVA

#### Los seis pasos para el ANOVA de un factor

Cuando utilizar el análisis de varianza de un factor (ANOVA) para probar diferencias de medias entre tres o más grupos (distribución F).

En general para comprobar una hipótesis entre una variable independiente nominal/ordinal con tres o más categorías y una variable dependiente de intervalo/razón u ordinal de tipo intervalo.

1. Número de variables, muestras y poblaciones
  - a. Una población con una sola variable dependiente de intervalo/razón, comparando medias para tres o más grupos de una sola variable independiente nominal/ordinal. La muestra de cada grupo debe ser representativa de su subpoblación.
  - b. Una sola variable dependiente de intervalo/razón cuya media es comparada entre tres o más poblaciones utilizando muestras representativas.
2. Tamaño de la muestra generalmente no implica ningún requisito. Sin embargo la variable dependiente de intervalo/razón no debería estar muy sesgada dentro de cualquier muestra grupal. Es más, las pruebas de rango no son confiables a menos que los tamaños muestrales de los grupos sean aproximadamente iguales. Estas restricciones son menos importantes cuando los tamaños muestrales de los grupos son grandes.

3. Las varianzas (y desviaciones estándar) de los grupos son iguales. Esta es la misma limitación empleada para la prueba t.

**Primera pregunta de investigación**

**Su acceso a internet es de uso:**

**PERSONAL                      COMERCIAL                      EDUCATIVO**

**Tabla XXIII.** Aplicación de ANOVA en la octava pregunta

ZONAS	PERSONAL	COMERCIAL	EDUCATIVA	MEDIAS TOTALES
Z1	26	19	21	$\bar{Y}_{(zona\ 1)}$
Z2	42	31	21	$\bar{Y}_{(zona\ 2)}$
Z3	35	20	26	$\bar{Y}_{(zona\ 3)}$
Z4	21	19	23	$\bar{Y}_{(zona\ 4)}$
Z5	22	7	15	$\bar{Y}_{(zona\ 5)}$
Z6	31	4	23	$\bar{Y}_{(zona\ 6)}$
Z7	30	7	15	$\bar{Y}_{(zona\ 7)}$
Z8	4	2	5	$\bar{Y}_{(zona\ 8)}$
Z9	1	1	3	$\bar{Y}_{(zona\ 9)}$
<b>TOTALES</b>	212	110	152	
<b>MEDIAS</b>	23.5555556	12.2222222	16.8888889	$\bar{Y}_{(total)} = 17.5555556$
<b>VARIANZA</b>	184.277778	107.194444	66.611111	
<b>DESVIACION TIPICA</b>	13.5748951	10.353475	8.16156303	

Usando el símbolo H para hipótesis

1. Se declara la H estadística y la H alternativa y se estipula la dirección de la prueba

La interrogante está planteada como si existe relación entre la zona en que vive un usuario y el tipo de uso que se da al acceso a internet a partir de la cual definimos las hipótesis:

H. estadística

$$\begin{aligned}\mu_{\gamma(\text{zona } 1)} &= \mu_{\gamma(\text{zona } 2)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 3)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 4)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 5)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 6)} \\ &= \mu_{\gamma(\text{zona } 7)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 8)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 9)}\end{aligned}$$

Por consiguiente, los efectos principales = 0

Es decir no existe relación entre la zona en que vive las personas y el tipo de uso del servicio de internet que realiza el usuario.

H alternativa

$$\begin{aligned}\mu_{\gamma(\text{zona } 1)} &\neq \mu_{\gamma(\text{zona } 2)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 3)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 4)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 5)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 6)} \\ &\neq \mu_{\gamma(\text{zona } 7)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 8)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 9)}\end{aligned}$$

Por consiguiente; los efectos principales  $\neq 0$

Es decir, existe una relación entre las zonas en que vive y el tipo de uso del servicio del internet que realiza el usuario.

2. Se describe la distribución muestral calculando los efectos principales

Dado por la formula siguiente

$$\bar{Y}_{(\text{zona } n)} - \bar{Y}_{(\text{total})}$$

efecto principal para zona 1	<b>4.444444444</b>
efecto principal para zona 2	13.77777778
efecto principal para zona 3	9.444444444
efecto principal para zona 4	3.444444444
efecto principal para zona 5	-2.888888889
efecto principal para zona 6	1.777777778
efecto principal para zona 7	-0.222222222
efecto principal para zona 8	-13.88888889
efecto principal para zona 9	-15.88888889

3. Se determina el nivel de significancia ( $\alpha$ ) y se especifica el valor crítico de la prueba.

$$\text{Variación total} = SC_T = \sum (Y_{cada\ caso} - \bar{Y}_{(total)})^2$$

$$SC_T = 3448.66667$$

Se calcula la suma de cuadrados entre los grupos y dentro de los grupos

Suma de cuadrados entre grupos

$$SC_E = \sum (Y_{zonas} - \bar{Y}_{(total)})^2$$

$$SC_E = 1411.85185$$

Suma de cuadrados dentro de los grupos

$$SC_D = SC_T - SC_E$$

$$SC_D = 2036.81481$$

4. Se observa los resultados de la muestra en cuestión y se calcula los efectos de la prueba, el estadístico de la prueba y el valor p

Se calcula las varianzas de los cuadrados medios

Varianza del cuadrado medio entre grupos

$$VCM_E = \frac{SC_E}{K - 1} = \frac{1411.85185}{8} = 176.481481$$

Varianza del cuadrado medio dentro de los grupos

$$VCM_D = \frac{SC_D}{n - K} = \frac{2036.81481}{18} = 113.156379$$

**Tabla XXIV.** Resultados de método ANOVA en octava pregunta

<b>ORIGEN DE LA VARIACIONES</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>VARIACIONES DE LOS CUADRADOS MEDIOS</b>
Entre grupos (SCe)	1411.851852	8	176.481481
Dentro de grupos (SCd)	2036.814815	18	113.156379
TOTAL (SCt)	3448.666667	26	132.641026

5. Se toma la decisión de rechazo

Se calcula el estadístico de la prueba F

$$F = VCM_e/VCM_d$$

$$F = \frac{VCM_E}{VCM_D} = \frac{176,481481}{113,156379}$$
$$F = 1,55962469$$

$$|F_{OBSERVADA}| > |F_{\alpha}|$$

El cálculo del valor de  $F_{\alpha}$  se realiza mediante los valores de gl que para el caso son de entre grupos 8 y dentro de grupos es 18 pudiendo obtener el valor localizando estos valores en la tabla estadística D donde se encuentran los valores críticos de la distribución de la razón F a nivel de la significancia 0.01 significando que se tiene un nivel de confianza de al menos el 99% donde obtuvimos el siguiente valor 3,71

$$1.5596 > 3.71$$

6. Se interpreta y se aplica las mejores estimaciones en términos cotidiano

A partir del anterior paso se observa que la hipótesis estadística será aceptada concluyendo que no existe relación entre la zona en que vive y el tipo de uso que el usuario realiza para el acceso a internet

## Segunda pregunta de investigación

**¿Cuánto estaría usted en la capacidad de pagar por este tipo de servicio mensualmente?**

**\$15**

**\$20**

**25**

Esta pregunta será planteada y resuelta a través del método de ANOVA presentada anteriormente para lo cual se utilizara los datos obtenidos en la tabla XIX que muestra los resultados más relevantes del análisis.

Por la pregunta antes planteada se define la hipótesis, primero se establece la interrogante que se quiere comprobar que es: existe una relación entre la zona en que las personas viven y el costo de de servicio de acceso a internet.

H. estadística

$$\begin{aligned} \mu_{\gamma(\text{zona } 1)} &= \mu_{\gamma(\text{zona } 2)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 3)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 4)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 5)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 6)} \\ &= \mu_{\gamma(\text{zona } 7)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 8)} = \mu_{\gamma(\text{zona } 9)} \end{aligned}$$

Por consiguientes los efectos principales =0

Es decir, no existe relación entre la zona en que viven y el costo de acceso a internet

H. alternativa

$$\begin{aligned} \mu_{\gamma(\text{zona } 1)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 2)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 3)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 4)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 5)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 6)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 7)} \\ \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 8)} \neq \mu_{\gamma(\text{zona } 9)} \end{aligned}$$

Por consiguiente los efectos principales  $\neq 0$

Es decir, existe relación entre la zona en que viven y el costo de acceso a internet

$$\text{Media Total} = \bar{\gamma}_{(\text{total})} = 14.037037$$

$$\text{Variación Total} = SC_T = 2708.96296$$

A continuación se presenta los datos obtenidos a través de ANOVA

**Tabla XXV.** Resultados de método ANOVA en novena pregunta

ORIGEN DE LA VARIACIÓN	SC	gl	VARIANZA DE LOS CUADRADOS MEDIOS VCM=SC/gl	$F = \frac{VCM_E}{VCM_D}$
ENTRE GRUPOS (SCE)	1207.76955	8	150.971193	1.8102141
DENTRO DE GRUPOS (SCD)	1501.19342	18	83.3996342	
TOTAL (SCt)	2708.96296	26	104.190883	

De donde observado el valor de  $F_{\alpha} = 3.71$  con un nivel de confianza del 99%

$$F_{OBSERVADA} < F_{\alpha}$$

$$1.81 < 3.71$$

Por lo que se puede concluir que se va a aceptar la hipótesis estadística de donde se dice que no existe relación entre la zona en que vive el usuario y el costo de acceso a internet estimando que el valor de acceso a internet previsto no tiene relación con la zona en que la persona vive efecto de la encuesta realizada.

### **3.4 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO**

De la información obtenida podemos concluir que de 379 personas encuestadas 310 personas estarían dispuestas a adquirir este servicio de acceso a internet inalámbrico además de las encuestas se puede deducir de los datos obtenidos en la pregunta nueve y mediante cálculos previos realizados se ha obtenido lo siguiente:

Primero el 53% de las personas encuestadas opta por el uso de acceso a internet de forma personal

Segundo el 47 % de los encuestados se inclinan más por brindar un uso comercial o educativo al acceso a internet

En donde tenemos:

Demanda = 310 (82% de la muestra obtenida)

Uso Personal = 53%

Uso comercial o educativo = 47%

Mediante este análisis según los predios de la ciudad de Riobamba y al cálculo de la muestra a analizar, se ha procedido a proyectar los resultados de los datos obtenidos al aplicar la encuesta en la población para la ciudad de Riobamba donde:

Numero de predios: 29182

Muestra: 379

Demanda en muestra: 310 (82%)

Demanda en población: el 82% de 29182 sería: 23929

Uso personal: 53% (12682)

Uso comercial o educativo: 47% (11246)

Por lo antes analizado en los cálculos realizados se concluye que en si el servicio de internet tiene una alta demanda actualmente en la ciudad de Riobamba; se puede observar en los resultados obtenidos que el mayor uso para el acceso a internet es de tipo personal dado por un 53% de la demanda total calculada.

Se ha determinado mediante este estudio de mercado en base a los datos obtenidos en las encuestas realizadas en todos los sectores de cada una de las zonas que conforman la parte urbana de la ciudad de Riobamba que este tipo de estudios tiene una muy buena acogida y que es rentable implementarlo ya que brinda muchas ventajas con relación a los servicios que ya han sido implementados en la ciudad.

Luego de un amplio estudio se puede concluir que la ubicación de un posible usuario no tiene una relación relevante con respecto al tipo de uso que se le piensa brindar al acceso a Internet así como también al costo del servicio ya que depende de la necesidad y de la aplicación que cada usuario piensa brindar, así como también de la economía del mismo.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE LA RED WIMAX PARA LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

El camino que recorre la señal por el aire, desde la antena transmisora hasta la receptora, puede tener diversas características, desde una línea de vista, una línea obstruída por algún cerro o un camino interrumpido por árboles o edificios.

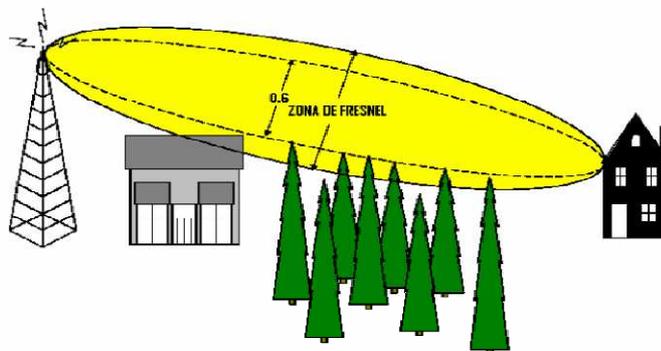
Dependiendo de las condiciones del medio se debe modelar el sistema. Para lograr estimar la cobertura de un sistema inalámbrico se deben implementar modelos, mediante los cuales se puede obtener una primera aproximación del alcance de un sistema de microondas. Los modelos de propagación buscan establecer de la manera más precisa posible el alcance de una señal según condiciones específicas.

El modelado de sistemas radioeléctricos es una de las partes más complicadas en la planificación de estos sistemas. Existen numerosos modelos, los cuales se deben revisar y

estimar cuales se amoldan mejor al entorno y las frecuencias que se quieren modelar. En este capítulo se mostrarán y se aplicarán algunos de los modelos de propagación para las frecuencias de 2.5 GHz y 3.5 GHz.

Aunque en el desarrollo de este proyecto se han manejado los términos LOS y NLOS con normalidad, para la comprensión de este capítulo se debe ser más estricto en sus definiciones:

- **LOS:** En los enlaces línea de vista, la señal viaja a través de un camino directo, sin obstáculos desde el transmisor hacia el receptor. Para esto se requiere que el 60% de la zona de Fresnel esté libre de cualquier tipo de obstáculos (aunque es recomendable que el 80% de la zona sea libre de obstáculos), lo cual evita el efecto de difracción de la señal.

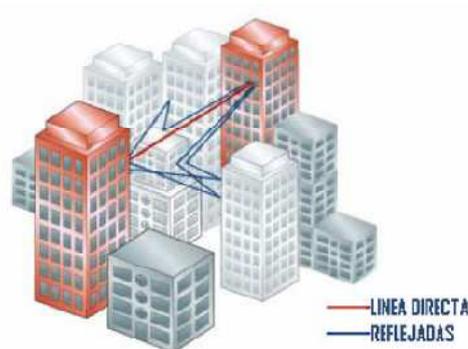


**Figura 26.** Modelo grafico de la zona de Fresnel

- **NLOS y OLOS:** Se conoce como no línea de vista cuando la señal esta obstruída. Dependiendo del nivel de obstrucción se puede considerar como NLOS (que esté interferida la línea directa entre el transmisor y receptor) u OLOS (línea de vista obstruída, la zona de Fresnel está interrumpida en algún porcentaje mayor al 40%)

pero aún la línea directa este despejada). En estos casos la señal que llega al receptor se compone de la señal directa más las múltiples señales reflejadas.

Estas señales tienen diferentes retardos, atenuación, polarización y estabilidad.



**Figura 27.** Propagación OLOS

Se incluirá, en este capítulo, un modelo de capacidades, el cual, tomando en cuenta las frecuencias, los anchos de banda del canal y las permutaciones soportadas, entregará las capacidades teóricas para sistemas SOFDM TDD. Teniendo una estimación de esta información se podrá determinar las capacidades del sistema, la distancia a la cual se puede dar dichas capacidades y con ello determinar las modulaciones que se usarán para las diferentes condiciones.

## **4.2. MODELOS DE PROPAGACIÓN**

Existen numerosos modelos de propagación. Para la correcta implementación del sistema se requiere revisar un modelo que interprete la mayor cantidad de variables posibles, y así poder configurarlo lo más posible a la situación real.

Los modelos seleccionados, son los más usados en la predicción de alcances máximos en redes móviles para ambientes urbanos y frecuencias mayores a los 2000 MHz, los modelos son los siguientes:

- **Modelo de propagación en el espacio libre:** Usado para línea de vista en espacios abiertos, sin mucha interferencia.
  
- **Modelo Okumura:** Usado para propagación en ambientes urbano, basado en pruebas empíricas.
  
- **Modelo Okumura-Hata:** Massaharu Hata alteró el modelo de Okumura para ambientes urbanos. Modelo válido para frecuencias de hasta 1500 MHz, por lo cual no será utilizado en este estudio, sólo es mencionado por ser la base del modelo COST 231.
  
- **Modelo COST 231:** Extensión de frecuencia del modelo Okumura-Hata. Este modelo es uno de los más ocupados para el cálculo de enlaces móviles. Todos los modelos de propagación tienen una alta tolerancia, lo que le resta cierta validez a los resultados entregados por dichos modelos. La forma más efectiva para estimar las distancias de los enlaces es mediante modelos de propagación y luego pruebas en terreno. En resumen, los modelos de propagación son la primera aproximación del resultado real.

A continuación se describirán estos modelos indicando las ecuaciones que se ocupan para el análisis.

#### 4.2.1 Modelo de propagación en el espacio libre

Son las pérdidas producidas sólo en el aire en condiciones de línea de vista y sin problemas producidos por el ambiente (multitrayectoria). Las pérdidas de espacio libres, serían como las pérdidas en veces que existirían entre dos antenas enfrentadas sin obstáculo alguno.

La ecuación que representa lo anterior es:

$$L_{fs} = \left[ \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} \right]^2 \quad \text{ec (1)}$$

Donde:

- **d**: Distancia entre antena transmisora y receptora, en metros.
- **f**: Frecuencia de la portadora, en Hz.
- **c**: Velocidad de la luz:

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad \text{ec (2)}$$

Si se convierten las pérdidas de veces en decibeles y dando valores a las constantes (c y f) se simplifican los cálculos, entonces la ecuación queda:

$$L_{fs}[\text{dB}] = 32,44 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad \text{ec (3)}$$

Con distancia en kilómetros y frecuencia en MHz.

En condiciones ideales se podría usar esta fórmula, pero las situaciones difícilmente son así.

#### 4.2.2 Modelo de propagación Okumura

Este es uno de los modelos más utilizados en la predicción de señales en ambientes urbanos, en sistemas móviles.

Se basa en unas curvas desarrolladas por Okumura, las cuales entregan la atenuación relativa al espacio libre. Estas curvas fueron obtenidas en base a numerosas pruebas de propagación hechas por Okumura en ambientes urbanos con un terreno casi plano.

Para frecuencias entre 100 MHz y 3000 MHz y distancias entre 1 km. y 100 km.

$$L[\text{dB}] = L_f + A_{\text{mu}}(f, d) - G(h_{\text{tx}}) - G(h_{\text{rx}}) - G_{\text{AREA}} \quad \text{ec (4)}$$

Donde:

- **L:** Atenuación por trayectoria.
- **L<sub>f</sub>:** Atenuación espacio libre.
- **A<sub>mu</sub>(f,d):** Atenuación relativa promedio (curvas).
- **G(h<sub>tx</sub>):** Ganancia de la antena de transmisión con altura h<sub>tx</sub>.
- **G(h<sub>rx</sub>):** Ganancia de la antena de recepción con altura h<sub>rx</sub>.
- **G<sub>AREA</sub>:** Ganancia debido al tipo de ambiente.

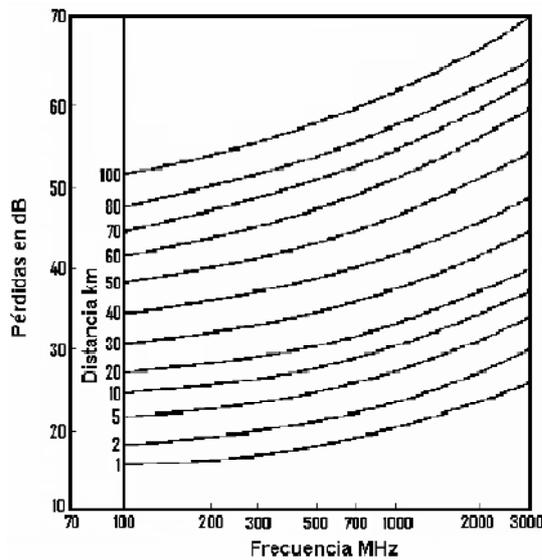
Las pruebas realizadas por Okumura demostraron que la ganancia de la altura de la antena de transmisión varía a un índice de 20 dB por década y la ganancia de la antena receptora varía a un índice de 10 dB por década para alturas menores a 3 m, por lo que queda:

$$G(h_{tx}) = 20 \cdot \log\left(\frac{h_{tx}}{200}\right), \text{ para } 30\text{m} < h_{tx} < 1000\text{m} \quad \text{ec (5)}$$

$$G(h_{tx}) = 10 \cdot \log\left(\frac{h_{rx}}{3}\right) \text{ para } h_{rx} < 3\text{m} \quad \text{ec (6)}$$

$$G(h_{tx}) = 20 \cdot \log\left(\frac{h_{rx}}{3}\right), \text{ para } 3\text{m} < h_{rx} < 10\text{m} \quad \text{ec (7)}$$

La atenuación relativa promedio es obtenida de las curvas diseñadas por Okumura, las curvas se muestran en la figura 28.



**Figura 28.** Curvas de atenuación relativa Okumura

Basándose en curvas de pérdidas obtenidas en pruebas, Okumura desarrolló el modelo, en el cual también consideró el tipo de terreno.

Pese a que es un modelo simple, es muy utilizado por su buenas predicciones en ambientes poblados. Este modelo no funciona bien para ambientes rurales.

En general las predicciones de este modelo presentan errores con una desviación estándar de entre un 7% a un 10%.

#### 4.2.3 Modelo de propagación Okumura-Hata

Modelo empírico, limitado en frecuencias, ya que es efectivo hasta 1500 MHz. Las pérdidas consideradas por este modelo están dadas por la siguiente ecuación:

$L(\text{urbano})[\text{dB}]$

$$= 69,55 + 26,16 \cdot \log(f_c) - 13,82 \cdot \log(h_{tx}) - a(h_{rx}) \\ + (44,9 - 6,55 \cdot \log[h_{tx}]) \cdot \log(d)$$

ec (8)

Donde:

- **fc**: Frecuencia de la portadora en MHz.
- **htx**: Altura de la antena transmisora en metros, válido para  $30 \text{ m} < h_{tx} < 200 \text{ m}$ .
- **hrx**: Altura antena receptora en metros, válido para  $1 \text{ m} < h_{rx} < 10 \text{ m}$ .
- **a(hrx)**: Factor de corrección ara la altura efectiva de la antena móvil, depende del tipo de ciudad.
- **d**: Distancia entre transmisor y receptor en km.

El factor de corrección de altura puede tomar distintos valores dependiendo del ambiente en el cual se desarrolle el estudio de propagación, entonces a (hrx) se define:

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$a(h_{rx})[dB] = (1,1 \cdot \log([f_c]) - 0,7) \cdot h_{rx} - (1,56 \cdot \log[fc] - 0,8) \quad \text{ec (9)}$$

Para ciudades grandes:

$$a(h_{rx})[dB] = 3,2 \cdot (\log[11,75 \cdot h_{rx}])^2 - 4,97 \quad \text{ec (10)}$$

Aunque el modelo está definido para ambientes urbanos, también existen correcciones para el cálculo de las pérdidas en ambientes suburbanos y rurales, los cuales se muestran en las siguientes ecuaciones:

Para áreas suburbanas:

$$L[dB] = L(\text{urbano}) - 2 \cdot \left(\log\left[\frac{f_c}{28}\right]\right)^2 - 5,4 \quad \text{ec (11)}$$

Para áreas rurales:

$$L[dB] = L(\text{urbano}) - 4,78 \cdot (\log[f_c])^2 + 18,33 \cdot \log(f_c) - 40,94 \quad \text{ec (12)}$$

Debido al creciente uso de mayores frecuencias para las comunicaciones móviles el modelo Okumura – Hata debió ser ampliado para frecuencias mayores. Entonces nace el modelo COST 231.

#### **4.2.4 Modelo COST 231**

Modelo desarrollado por la Cooperativa Europea para Investigación Científica y Técnica (COST viene de sus siglas en francés, Coopération Européenne dans le domaine de la Recherche Scientifique et Technique). Extensión en frecuencia del modelo de propagación Okumura – Hata. Modelo generalmente utilizado para frecuencias menores a 2000 MHz, aunque usado también

en predicciones para 2.5 GHz. Igualmente el modelo puede ser extrapolable a 3.5 GHz asumiendo una menor precisión de los resultados. Entonces este modelo puede ser usado para WIMAX en 2.3, 2.5, 3.3 y 3.5 GHz, tomando en cuenta las restricciones mencionadas.

El modelo indica las pérdidas con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} L(\text{urbano})[\text{dB}] &= 46,3 + 33,9 \cdot \log(f_c) - 13,82 \cdot \log(h_{\text{tx}}) - a(h_{\text{rx}}) \\ &+ (44,9 - 6,55 \cdot \log[h_{\text{tx}}]) \cdot \log(d) + C_m \end{aligned}$$

Ec.(13)

$C_m$  es un factor de corrección para adecuar el modelo extendiendo el rango de la frecuencia para el que opera el modelo. El factor de corrección se basa en pruebas empíricas, las cuales demuestran que para grandes ciudades es mayor que para áreas suburbanas. Entonces  $C_m$  puede tomar los siguientes valores:

- $C_m = 0$  dB para ciudades medianas y áreas suburbanas.
- $C_m = 3$  dB para centros metropolitanos.

EL valor de la ganancia  $a(h_{\text{rx}})$ , corresponde al resultado de las mismas ecuaciones descritas para el modelo Okumura-Hata.

Este modelo tiene el mejor desempeño (mayor precisión) en distancias entre 1 km y 20 km.

### 4.3 MODELO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD

El cálculo de capacidad en los sistemas WIMAX depende de los diferentes parámetros que componen el sistema. Primero se debe recordar que WIMAX funciona con el sistema de

multiplexión SOFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access), para reconocer sus parámetros se debe ahondar en la estructura SOFDMA TDD.

### 4.3.1 Estructura OFDMA

Los sistemas OFDMA en la frecuencia están basados en la cantidad variable de subportadoras, según el ancho de banda del canal. Un grupo de portadoras forman subcanales. Existen tres tipos de subportadoras o subcarriers: null subcarrier, pilots subcarriers y data subcarriers. Una breve explicación de cada una:

- **Pilot subcarriers:** Son las subportadoras encargadas de la sincronización.
- **Data subcarriers:** Son las subportadoras que portan la información.
- **Null subcarriers:** Son las subportadoras que proporcionan las bandas de guarda entre subcanales.

La distribución de portadoras (permutaciones) se puede hacer de variadas maneras siendo las más usadas las llamadas diversity permutation PUSC (Partially Used Sub-Carrier) y contiguos permutation AMC. Ambas permutaciones distribuyen las portadoras de diferentes maneras, las cuales se muestran en las tablas XXVI y XXVII. Las diferentes permutaciones están diseñadas para acomodar el sistema a las diferentes condiciones del servicio, entonces se puede dar mayor robustez al sistema en desmedro de la capacidad o viceversa.

**TABLA XXVI.** Distribución de las portadoras según ancho de banda del canal con la permutación PUSC

PUSC	1,25 MHz		5 Mhz		7 Mhz		8,75 Mhz		10Mhz		20Mhz	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
NULL SUB-CARRIERS	44	32	92	104	184	184	184	184	184	184	368	368
PILOTS SUB-CARRIERS	12	32	60	136	120	120	120	280	120	280	240	560
DATA SUB-CARRIERS	72	64	360	272	720	560	720	560	720	560	1440	1120
TOTAL SUB-CARRIERS	128	128	512	512	1024	1024	1024	1024	1024	1024	2048	2048
NUMERO DE SUBCANALES	3	4	15	17	30	35	30	35	30	35	60	70

**TABLA XXVII.** Distribución de las portadoras según ancho de banda del canal con la permutación AMC

AMC	1,25 MHZ		5 Mhz		7 Mhz		8,75 Mhz		10Mhz		20Mhz	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
NULL SUB-CARRIERS	20	20	80	80	160	160	160	160	160	160	320	320
PILOTS SUB-CARRIERS	12	12	48	48	96	96	96	96	96	96	192	192
DATA SUB-CARRIERS	96	96	384	384	768	768	768	768	768	768	1536	1536
TOTAL SUB-CARRIERS	128	128	512	512	1024	1024	1024	1024	1024	1024	2048	2048
NUMERO DE SUBCANALES	2	2	8	8	16	16	16	16	16	16	32	32

Tomando en cuenta las diferencias de calidad del enlace en la comunicación fija y móvil se debe elegir la permutación indicada.

Generalmente, para la comunicación móvil se usa permutación PUSC (tabla I), la cual sacrifica recursos (portadoras) de datos para darle más robustez al sistema, o sea, mayor cantidad de portadoras a la sincronización y bandas de guarda, logrando mejoras en la recepción de la señal.

Así mismo PUSC asume mayor cantidad de portadoras para el enlace de bajada que el de subida, dando la característica de asimetría en la transferencia de datos

En la tabla XXVIII se muestra el detalle de la distribución de portadoras PUSC y AMC para un canal de 5 MHz.

**TABLA XXVIII.** Distribución de portadoras para un canal de 5 MHz

BW DEL CANAL: 5Mhz	PUSC		AMC	
	DL	UL	DL	UL
NULL SUB-CARRIERS	92	104	80	80
PILOTS SUB-CARRIERS	60	136	48	48
DATA SUB-CARRIERS	360	272	384	384
TOTAL SUB-CARRIERS	512	512	512	512

Por otra parte, AMC fue orientado para enlaces fijos, los cuales, supuestamente, son de mejor calidad en comparación con los enlaces móviles. Por ello centra sus recursos en la capacidad, la mayor cantidad de portadoras son usadas como datos y sacrifica el sincronismo y las bandas de guardas de modo de privilegiar la alta tasa de transferencia. También AMC fue concebido para la transferencia de datos simétricos, orientado a hogares y pequeñas empresas con servicios de telefonía e Internet.

El conocer la correcta distribución de las portadoras es de vital importancia para el cálculo de capacidad del sistema, puesto que es directamente proporcional la cantidad de portadoras de datos a la capacidad de transferencia.

Así como en la frecuencia están las portadoras, en el dominio del tiempo la estructura OFDMA está conformada por símbolos. Los símbolos están divididos en dos partes de diferente duración: duración de datos útiles y duración de guarda, llamada Cyclic Prefix (CP). Mientras el CP reduce la eficiencia espectral elimina casi por completo la interferencia intersímbolo, otorgándole robustez al sistema.

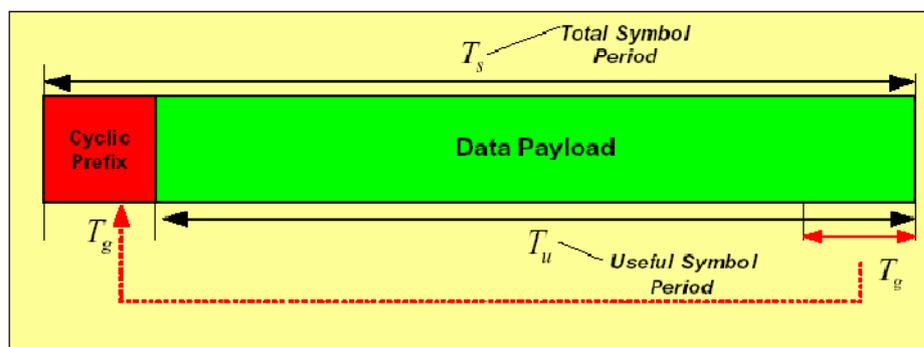


Figura 29. Estructura del símbolo TDD

### 4.3.2 OFDMA escalable (SOFDMA)

Mientras OFDM funciona con una cantidad fija de subportadoras, OFDM escalable o SOFDMA se puede adaptar al ancho de banda del canal de manera de acomodar las portadoras de manera de aprovechar mejor los recursos. Los parámetros SOFDMA, para los distintos anchos de bandas, se especifican en la siguiente tabla:

**TABLA XXIX. Parámetros SOFDMA**

<b>PARAMETROS</b>	<b>VALORES</b>					
<b>ANCHO DE BANDA DEL CANAL</b>	1,25 MHz	5,00 MHz	7,00 MHz	8,75 MHz	10,00 MHz	20,00 MHz
<b>FRECUENCIA DE SAMPLING</b>	1,43 MHz	5,71 MHz	8,00 MHz	10,00 MHz	11,43 MHz	22,86 MHz
<b>SAMPLE TIME</b>	700 ns	175 ns	125 ns	100 ns	88 ns	44 ns
<b>TAMAÑO DE LA FFT</b>	128	512	1024	1024	1024	2048
<b>SUB-CARRIER SEPARACION EN FRECUENCIA</b>	10,94 kHz	10,94 kHz	7,81 kHz	9,77 kHz	10,94 kHz	10,94 kHz
<b>TIEMPO UTIL DE SIMBOLO</b>	91,41 us	91,41 us	128,04 us	102,35 us	91,41 us	91,41 us
<b>TIEMPO DE CABECERA</b>	11,43 us	11,43 us	16,01 us	12,79 us	11,43 us	11,43 us
<b>DURACION DEL SIMBOLO OFDM</b>	102,83 us	102,83 us	144,05 us	115,15 us	102,83 us	102,83 us
<b>DURACION DEL FRAME</b>	5 ms	5 ms	5 ms	5 ms	5 ms	5 ms
<b>FRAMES POR SEGUNDO</b>	200	200	200	200	200	200
<b>Nº SIMBOLOS OFDM POR FRAME</b>	48	48	34	43	48	48
<b>SIMBOLOS DE DATA OFDM</b>	44	44	31	39	44	44

Donde:

- **Ancho de banda del canal:** Espacio que ocupa las portadoras en el dominio de la frecuencia (en MHz). En el WIMAX Forum se planeó operar con los anchos de banda de 1.25, 5, 10, 20 MHz para la primera versión de WIMAX, el resto de los anchos de banda (7 y 8.75 MHz) estarán disponibles para el primer release de la tecnología.
- **Frecuencia de sampling:** Corresponde a la velocidad de muestreo para la digitalización de la señal, o sea la cantidad de muestras por segundo. La frecuencia de muestreo corresponde al 8/7 del ancho de banda del canal.
- **Tiempo de sampling:** Es el tiempo entre muestras. Se calcula como el inverso de la frecuencia de sampling. Se mide en segundos.

$$\text{tiempo\_sampling[s]} = \frac{1}{\text{frecuencia\_sampling[Hz]}} \quad \text{ec (14)}$$

- **Tamaño de la Transformada Rápida de Fourier (FFT):** La cantidad de portadoras a utilizar en la transmisión definen el tamaño de la FFT. Cada portadora se procesa independientemente, entonces para 256 portadoras se utilizará 256 como tamaño de la FFT.
- **Separación de las sub portadoras:** Para la primera versión, se decidió dejar constante, para todos los anchos de banda, el espaciamiento en la frecuencia de los subcanales en 10.94 KHz.
- **Tiempo útil de símbolo:** Es el tiempo del símbolo que lleva la información, sin cabecera ni redundancia, sólo data.
- **Tiempo de cabecera:** Es el tiempo que se deja para separar un símbolo de otro en el tiempo. La cabecera de símbolo puede tomar distintos tiempos, pero se recomienda tomar un tiempo de 1/8 del tiempo total del símbolo, eliminándose gran parte del ISI (Intersymbol Interference).
- **Duración símbolo OFDM:** Corresponde a la duración total del símbolo, parte útil y cabecera.
- **Duración frame:** El frame es una estructura compuesta por los símbolos OFDM. El frame se divide en 2: subframe del enlace de subida y subframe del enlace de bajada,

los cuales están separados por una banda de guarda. La duración del frame OFDM TDD es de 5 milisegundos.

- **Frames por segundo:** Frecuencia de tramas o frames. Se calcula según la ec. (15):

$$\text{frecuencia\_frames} = \frac{1}{\text{duracion\_frame}} \quad \text{ec (15)}$$

- **Número de símbolos OFDM por trama o frame:** Es la cantidad de símbolos que tiene una trama. En este caso la trama tiene 48 símbolos (ec.16).

$$\text{simbolos}_{\text{por frame}} = \frac{\text{duracion\_frame}}{\text{duracion\_simbolo}} = \text{entero} \left[ \frac{5[\text{ms}]}{102,83[\mu\text{s}]} \right] = 48 \quad \text{ec (16)}$$

- **Símbolos de data OFDM:** En la trama algunos símbolos se destinan a sincronización e información de la configuración de la trama. Aproximadamente el 90% de los símbolos de la trama son exclusivos de datos.

### 4.3.3 Modelo de capacidad

La capacidad bruta del sistema está dada por la siguiente ecuación (17), la cual es ocupada para sistemas OFDM TDD, basándose en esta ecuación se hacen los cálculos de capacidad de la tabla XXIII.

$$\text{capacidad}[\text{bps}] = \left( \frac{\text{data\_subcarriers}[\text{sc}]}{\text{duracion\_simbolo} \left[ \frac{\text{s}}{\text{simb}} \right]} \right) \cdot \left( \frac{\text{datos}[\text{bits}]}{\text{simb}[\text{simb.sc}]} \right) \cdot \left( \frac{\text{simb\_utiles}}{\text{simb\_totales}} \right) \quad \text{ec (17)}$$

Donde:

- **Data subcarries o sub portadoras de datos:** Es la cantidad de subportadoras de datos en el sistema. La cantidad depende del ancho de banda usado y de la permutación usada.
- **Duración del símbolo:** Es el tiempo del símbolo incluyendo la cabecera, la duración depende de la separación en frecuencia de las subportadoras.

$$\text{duracion}_{\text{simbolo}} \left[ \frac{s}{\text{simb}} \right] = \text{duracion}_{\text{util}} + \text{duracion}_{\text{cabecera}} \quad \text{ec (18)}$$

$$\text{duracion}_{\text{simbolo}} \left[ \frac{s}{\text{simb}} \right] = \frac{1 \left[ \frac{1}{\text{simb}} \right]}{\text{frec\_spacing}[\text{Hz}]} \quad \text{ec (19)}$$

$$\text{duracion}_{\text{cabecera}}[\text{s}] = \frac{1}{8} \cdot \text{duracion}_{\text{util}} \quad \text{ec (20)}$$

- **Datos/simb:** Es la cantidad de datos por símbolo por subportadora, depende de la modulación ocupada y de la tasa de código (code rate). La cantidad de datos por portadora que aporta cada modulación se resume en la tabla XXV.

**TABLA XXX.** Modulaciones y tasa de información

<b>MODULACION</b>	<b>CANTIDAD DE INFORMACION</b>
QPSK 1/2	1,0 BIT/SIM/SC
QPSK 3/4	1,5 BIT/SIM/SC
16QAM 1/2	2,0 BIT/SIM/SC
16QAM 3/4	3,0 BIT/SIM/SC
64QAM 1/2	3,0 BIT/SIM/SC
64QAM 2/3	4,0 BIT/SIM/SC
64QAM 3/4	4,5 BIT/SIM/SC
64QAM 5/6	5,0 BIT/SIM/SC

- **Símbolos útiles/símbolos totales:** Se refiere a la tasa de símbolos útiles y los totales, está tasa depende de la cabecera de MAP (Media Access Protocol, protocolo de acceso al medio). La cabecera de MAP depende de los servicios y la calidad de servicio (QoS)

que se le quiera dar al sistema. Típicamente la cabecera es 10%, o sea, 1 de cada 10 símbolos son para cabecera y los otros 9 son destinados para datos.

#### **4.4 CÁLCULO DE CAPACIDAD Y COBERTURA**

Mediante las ecuaciones especificadas en los modelos de propagación y capacidad, en las siguientes secciones se ilustrarán los cálculos obtenidos, para establecer la cobertura y la capacidad de transferencia de datos de los sistemas WIMAX 802.16e TDD SOFDMA.

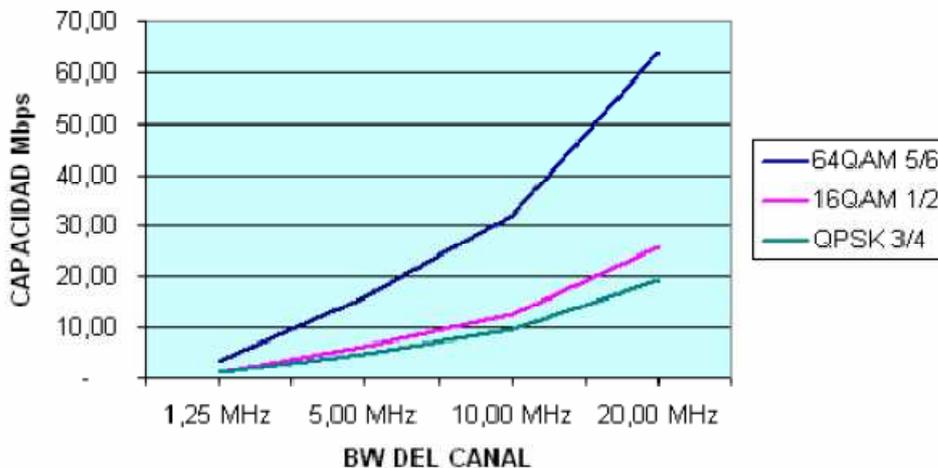
##### **4.4.1 Cálculo de capacidad de los sistemas WIMAX**

Para realizar los cálculos de capacidad para el modelo, se ocuparon los parámetros OFDMA explicados en el apartado 4.3.2, a partir de aquellos parámetros y con la ecuación 17 (explicada en la sección 4.3.3) se realizaron los cálculos de capacidad para todos los anchos de banda disponibles en la primera versión de WIMAX 802.16e. Los resultados se resumen en la tabla XXIV, dicha tabla se divide en dos partes, la superior muestra los cálculos para las diferentes modulaciones con la permutación PUSC y la parte inferior, los resultados con la permutación AMC. Los cálculos de las capacidades son exclusivos para el sistema WIMAX 802.16e SOFDMA TDD.

**TABLA XXXI. Cálculo de capacidad**

TABLA DE CAPACIDAD BRUTA TOMANDO TODA LA CAPACIDAD PARA DL O UL (1:0 O 1:1) en Mbps												
ANCHO DE BANDA DEL CANAL	1,25 MHz		5 MHz		7 MHz		8,75 MHz		10 MHz		20 MHz	
PUSC	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
QPSK 1/2	0,84	0,57	3,27	2,42	4,56	3,54	5,67	4,41	6,42	4,99	12,84	9,98
QPSK 3/4	0,93	0,86	4,87	3,64	6,84	5,32	8,51	6,62	9,63	7,49	13,25	14,98
16QAM 1/2	1,23	1,14	6,42	4,85	9,11	7,09	11,34	8,82	12,84	9,98	25,87	19,97
16QAM 3/4	1,93	1,71	9,63	7,27	13,67	10,63	17,01	13,23	19,25	14,98	33,51	29,95
64QAM 1/2	1,93	1,71	9,63	7,27	13,67	10,63	17,01	13,23	19,25	14,98	33,51	29,95
64QAM 2/3	2,57	2,28	12,84	9,70	18,22	14,18	22,68	17,64	25,67	19,97	51,35	39,94
64QAM 3/4	2,09	2,57	14,44	10,91	20,51	15,65	25,52	19,05	20,00	22,46	57,76	44,90
64QAM 5/6	3,21	2,85	16,05	12,12	22,78	17,72	28,36	22,05	32,09	24,96	64,18	49,92
AMC	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
QPSK 1/2	0,89	0,86	3,42	3,42	4,86	4,86	6,05	6,05	6,85	6,85	13,69	13,69
QPSK 3/4	1,23	1,28	5,13	5,13	7,29	7,29	9,07	9,07	10,27	10,27	20,54	20,54
16QAM 1/2	1,71	1,71	6,85	6,85	9,72	9,72	12,10	12,10	13,69	13,69	27,38	27,38
16QAM 3/4	2,57	2,57	10,27	10,27	14,58	14,58	18,15	18,15	20,54	20,54	41,08	41,08
64QAM 1/2	2,57	2,57	10,27	10,27	14,58	14,58	18,15	18,15	20,54	20,54	41,08	41,08
64QAM 2/3	3,42	3,42	13,69	13,69	19,44	19,44	24,20	24,20	27,38	27,38	54,77	54,77
64QAM 3/4	3,85	3,85	15,40	15,40	21,88	21,88	27,22	27,22	30,81	30,81	61,61	61,61
64QAM 5/6	4,23	4,26	17,12	17,12	24,31	24,31	30,25	30,25	34,23	34,23	68,46	68,46

Basándose en los resultados expuestos en la tabla VI se confeccionaron las figuras 29 y 30. Considerando las modulaciones 64QAM 5/6 (la de mayor capacidad), 16QAM 1/2 (modulación intermedia entre capacidad y robustez ante el ruido) y QPSK 3/4 (modulación baja), se elaboró el gráfico N° 8 con la tasa de datos en el downlink para los diferentes anchos de banda, para permutación PUSC, de modo de comparar la capacidad máxima conseguida con cada modulación. La figura 30. muestra las capacidades máximas que se pueden conseguir con cada ancho de banda de canal incluyendo las diferentes permutaciones (AMC y PUSC).



**Figura 30. Capacidad WIMAX**

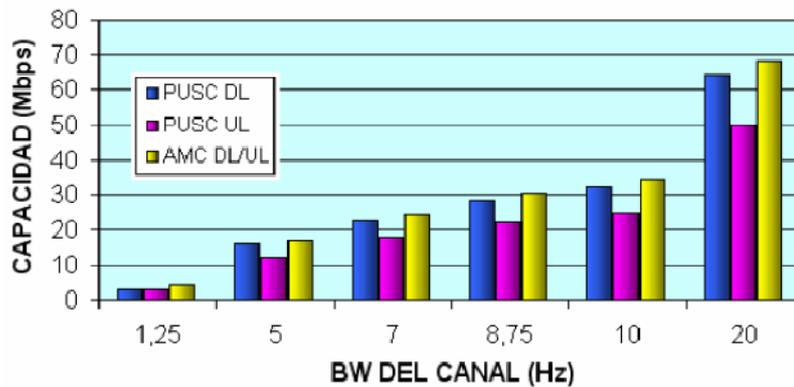


Figura 31. Capacidades máximas para cada permutación

En la figura 30 se puede concluir que, en condiciones ideales de propagación (bajo ruido, en donde se podrá usar modulaciones más altas, como 64QAM 5/6), y usando canales de 20 MHz el sistema puede alcanzar velocidades de aproximadamente 65 Mbps. Esta capacidad podría ser doblada cuando se implementen sistemas de antenas MIMO 2x2. Las condiciones en las cuales se implementan los sistemas de microondas distan mucho de ser ideales, por ello las velocidades máximas de transmisión difícilmente serán obtenidas.

La figura 31 demuestra que la permutación AMC tiene un mejor desempeño que la permutación PUSC, debido a que la última sacrifica portadores de datos para mejorar el sincronismo de la señal (obteniendo mejores resultados en condiciones desfavorables).

#### 4.4.2 Cálculo de cobertura de los sistemas WIMAX

Para hacer los cálculos de cobertura del sistema WIMAX, Intel solicitó que se utilice el modelo COST 231, ya que el modelo tiene cierto prestigio en este tipo de cálculos y por ende es el más usado para cálculo de redes móviles. Como ya fue explicado anteriormente este modelo tiene limitaciones en frecuencia (hasta los 2000 MHz), pero al agregar algunas correcciones se puede ampliar. Vale la pena recordar que los modelos de propagación son la primera aproximación

para la estimación de redes, por ello no es necesario que los resultados sean tan precisos, sino referenciales.

Para establecer la cobertura, se debe primero hacer un balance de pérdidas y ganancias de hardware<sup>30</sup>, en donde se consideran todos los equipos que afectan a la potencia del sistema, ya sean antenas, transmisores, receptores y cables o guías de ondas. El cálculo de enlace en el hardware se hace tanto para el enlace de subida como para el de bajada, a modo de encontrar el valor crítico del sistema. Luego se deben establecer las pérdidas causadas por el ambiente y la frecuencia de operación del sistema.

Contemplando todos los factores que afectan la cobertura, se procede a calcular la distancia máxima con la ecuación del modelo COST 231 (ecuación 13).

Como resumen se muestra la tabla VII, la cual muestra las distancias máximas soportadas por el sistema 802.16e, tomando en cuenta las condiciones indoor (el CPE no está al aire libre y por ello existe una pérdida por atravesar los muros o ventanas) y outdoor (el CPE está al aire libre), para ambiente rural, suburbano y urbano.

Para los modelos se consideró una pérdida por penetración de 12 dB, para los cálculos en condiciones indoor en zonas denso urbano y urbano, para las zonas suburbano y rural se usaron pérdidas por penetración de 10 dB. Estos valores son recomendados por Intel, fabricante de chipset WiMAX31.

Se ocuparon los siguientes parámetros de forma constantes para hacer la tabla comparativa:

- **Frecuencia de operación:** 3.5 GHz
- **BW del canal:** 5 MHz
- **Modelo de propagación:** Cost 231
- **Esquema de modulación:** QPSK 1/2
- **Tipo de antenas:** SIMO (1x2)
- **Potencia de transmisión:** 4 W a 40 metros de altura, antena sectorial
- **CPE:** Portátil.

**TABLA XXXII.** Distancias máximas para distintas condiciones

	<b>RURAL</b>	<b>SUBURBANO</b>	<b>URBANO</b>
<b>INDOOR(Km)</b>	3.04	2.84	0.73
<b>OUTDOOR(Km)</b>	5.74	5.25	1.76

Indudablemente la pérdida por penetración (caso indoor) provoca una importante disminución de la cobertura del sistema. Se debe recordar que a mayor esquema de modulación, se podrá dar mayor velocidad de transferencia de datos. Por otra parte la distancia limita el esquema de modulación a usarse, ya que, a mayor distancia se tendrá menor señal a ruido. Si la potencia de la señal es mayor a la del ruido, se considera positiva la relación de señal a ruido. Los receptores requieren una cantidad mínima de señal a ruido para que se reciba la señal.

$$S/N \text{ [dB]} = 10 \cdot \log \left( \frac{\text{potencia\_señal[W]}}{\text{potencia\_ruido[W]}} \right) \quad \text{ec (21)}$$

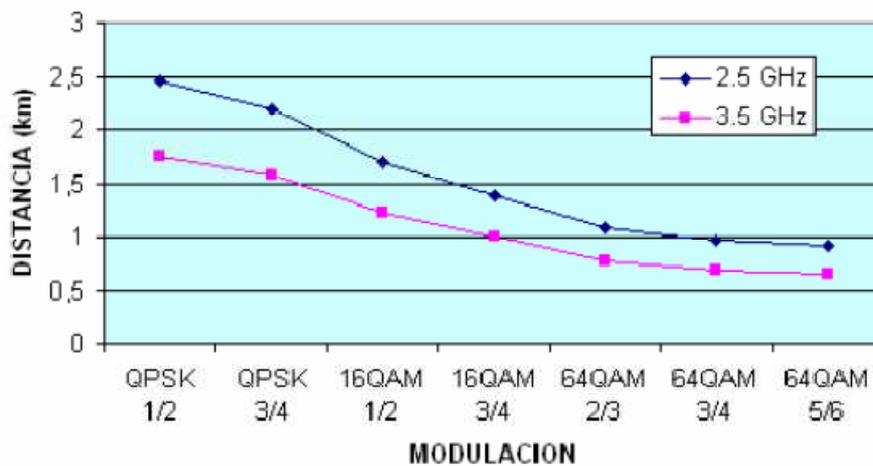
La siguiente tabla (XXXIII) muestra un esquema de la señal a ruido mínimo requerido por cada esquema de modulación. Dicho el parámetro generalmente se obtiene de las recomendaciones de los proveedores para sus productos.

**TABLA XXXIII.** Modulaciones y tasa de señal a ruido mínima necesaria

MODULACION	SNR
PSK $\frac{1}{2}$	7
QPSK $\frac{3}{4}$	9
16QAM $\frac{1}{2}$	12.8
16QAM $\frac{3}{4}$	15.8
64QAM $\frac{1}{2}$	15.8
64QAM $\frac{2}{3}$	19.5
64QAM $\frac{3}{4}$	21.2
64QAM $\frac{5}{6}$	22

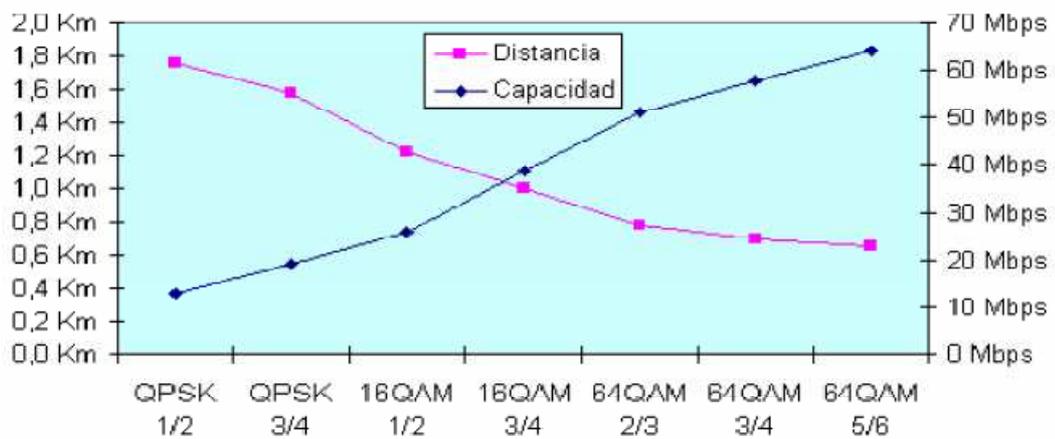
Tomando en cuenta los datos de la tabla XXVI se realizó la figura 32, la cual busca mostrar de forma más sencilla la influencia que tiene la modulación mínima elegida para la distancia máxima del sistema. Estas distancias están dadas para las siguientes condiciones:

- **Frecuencias de operación:** 2.5 GHz y 3.5 GHz
- **BW del canal:** 5 MHz
- **Modelo de propagación:** Cost 231
- **Tipo de antenas:** SIMO (1x2)
- **Potencia de transmisión:** 4 Watts a 40 metros de altura, antena sectorial
- **Ambiente:** Urbano, outdoor



**Figura 32.** Distancia máxima dependiendo de la modulación

Para mostrar de forma más clara la diferencia en capacidad y alcance que pueda tener un sistema WIMAX 802.16e, dependiendo de las diferentes modulaciones se confeccionó la figura 33. Se distingue claramente en dicho gráfico, el sacrificio en distancia que implica mayor capacidad de transferencia de datos. Curvas obtenidas para frecuencias de 3.5 GHz con canales de 20 MHz, permutación PUSC para ambiente urbano.



**Figura 33.** Distancia y capacidad para las distintas modulaciones

Del gráfico anterior se desprende que el mayor equilibrio de cobertura y capacidad se da con las modulaciones intermedias: 16QAM 1/2, 16QAM 3/4 y 64QAM 2/3.

#### 4.5. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Existen numerosas herramientas que ayudan a predecir el comportamiento de una red inalámbrica, algunas de las cuales con precios considerables que en este caso no están al alcance. Dado esto se ha decidido inclinarse por el software Radio Mobile para la simulación de radio propagación del diseño de esta red; ya posee altas capacidades para este tipo de simulaciones que a continuación se detallan.

También se ha utilizado el software Google Earth este programa ayudó a ubicar los puntos determinantes para la definición de este diseño de red

#### **4.5.1. Software Radio Mobile**

Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación gratuito desarrollado por Roger Coudé para predecir el comportamiento de sistemas radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones.

El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice. Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo.

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA *Shuttle Terrain Radar Mapping Misión* (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m) fuente (Guía en PDF que resume especificaciones y funcionalidades de Radio Mobile: [www.wilac.net/descargas/documentos/5ri.pdf](http://www.wilac.net/descargas/documentos/5ri.pdf))

#### **4.5.2. Google Earth**

Google Earth es un programa informático similar a un Sistema de Información Geográfica (SIG), creado por la empresa Keyhole Inc., que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta.

## **4.6. DISEÑO DE LA RED**

### **4.6.1. EVALUACIÓN TECNICA**

#### **4.6.1.1. Introducción**

No existe tecnología de acceso ideal, pero cada una presenta condiciones, que lo hacen más apropiado para una determinada situación geográfica o de acuerdo al tipo de mercado que se dirige.

Las tecnologías que normalmente utilizan los proveedores de Internet en Riobamba son: ADSL, LMDS, ATM, SOLNET, CDMA, GSM, los cuales tienen un precio accesible para los usuarios, pero algunas tienen dificultad para acceder a ciertos sectores, para lo cual se ha realizado el diseño de una red con la tecnología WIMAX que permite la flexibilidad al momento de instalar y llegar a lugares de difícil acceso.

La tecnología WIMAX es un estándar de redes inalámbricas que ofrece más alcance y ancho de banda que WI-FI. Además presenta una alternativa inalámbrica a las instalaciones backhaul por cable y de última milla que usan al momento módems para cable.

El diseño tiene como objetivo primordial el proveer a la mayor parte de la ciudad el servicio de Internet a un costo asequible, para lo cual se realiza los estudios necesarios para poder lograrlo.

#### **4.6.1.2. WIMAX (IEEE 802.16)**

El estándar IEEE 802.16 o más conocido como WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) permite la conexión a una velocidad similar a la de ADSL en distancias de entre 50 y 60 Km. y esta nueva tecnología es compatible con WI-FI (IEEE 802.11).

La IEEE aprobó en enero del 2003 el estándar, como una enmienda al estándar IEEE 802.16 – 2001, el cual ha recibido apoyo de fabricantes de equipos terminales. El estándar fue diseñado para aplicaciones de última milla en sistemas que utilizan bandas de 2 Ghz y 11 Ghz. La capa de acceso al medio es capaz de soportar múltiples especificaciones de capa física optimizadas para dichas bandas de frecuencia. IEEE 802.16-2004 La principal diferencia con la versión anterior, el IEEE 802.16a, se relaciona con la mejora en el consumo de potencia en los sistemas.

Utiliza OFDM, por la capacidad de gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto y porque realiza la combinación de múltiples portadoras solapadas espectralmente de manera que no se producen interferencias entre ellas.

WIMAX está proyectado para tratar desafíos relacionados con tipos de instalación de acceso por cable tradicional tales como:

- **Backhaul:** Usa antenas punto a punto para conectar sitios de abonados entre sí y a las estaciones base en largas distancias.
  
- **Last mile:** Usa antenas punto a multipunto para conectar abonados hogareños o de empresas a la estación base.

El objetivo principal del WIMAX FORUM que es una organización conducida por industrias, sin fines de lucro, fue desarrollar un estándar para conseguir un desarrollo del acceso en banda ancha inalámbrico, masivo y a los menores precios posibles, a través de la creación de un estándar para el acceso inalámbrico en ámbito metropolitano.

El IEEE 802.16e utiliza OFDMA1 que permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM de esta manera se asegura de que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

El IEEE 802.20 a finales de 2002 el IEEE aprobó la creación del grupo de trabajo para el acceso móvil inalámbrico de banda ancha. La misión del mismo es desarrollar las especificaciones para un interfaz inalámbrico eficiente basado en paquetes que estén optimizados para el transporte de servicios IP.

El objetivo es permitir el uso mundial de redes de acceso móviles inalámbricas de banda ancha que puedan interoperar entre diferentes proveedores y que permita un uso ubicuo, económico y siempre activo, para que se puedan cubrir las necesidades de los usuarios finales tanto en un entorno doméstico como profesional.

Y está llamado a competir con el WIMAX de movilidad 802.16e. Al momento ya existen diferentes proveedores instalando WIMAX en nuestro país, pero el desarrollo de esta tesis tiene por objetivo el diseñar la red que permita dar el servicio de internet a toda la ciudad de Riobamba y sus alrededores.

Según el diseño, la tecnología que más se adapta a las necesidades actuales del usuario, según el coste y velocidad de despliegue es WIMAX, por todas las ventajas que previamente en otro capítulo de esta tesis se han descrito.

#### 4.6.1.3 Estructura actual de la empresa FASTNET Cía. Ltda.

Actualmente la empresa FASTNET CIA. LTDA. cuenta con una infraestructura de conexión de Internet como se ilustra en la figura 34, las empresas que proveen el acceso a Internet son: TELCONET y CNT mediante fibra óptica; el tranciever permite la transformación de fibra óptica a cable utp, en el siguiente equipo tenemos el router que permite el direccionamiento y salida a internet, a continuación cuenta con un switch donde se encuentran conectados los servidores de los servicios que presta la empresa a sus usuarios en este punto se ha definido la conexión para nuestro diseño de red WIMAX.

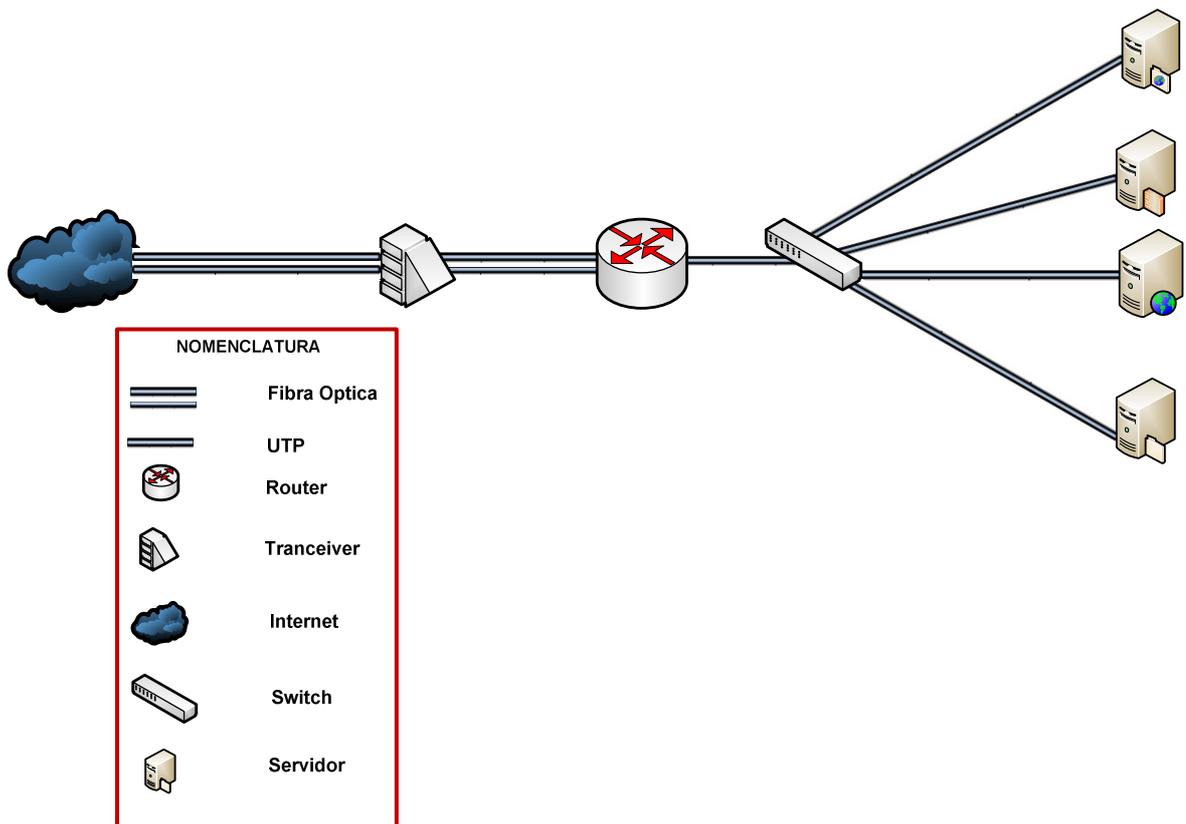


Figura 34. Esquema de conexión actual de la empresa FASTNET CIA. LTDA

En la figura 35 podemos observar el diseño de red definida del como esta va a conectarse a la red troncal de la empresa FASTNET como podemos observar nuestro backhaul está definido entre el edificio donde se encuentra la empresa y el cerro Puchalim en este se ubicara nuestra estación base que nos permitirá la cobertura total de la ciudad de Riobamba.

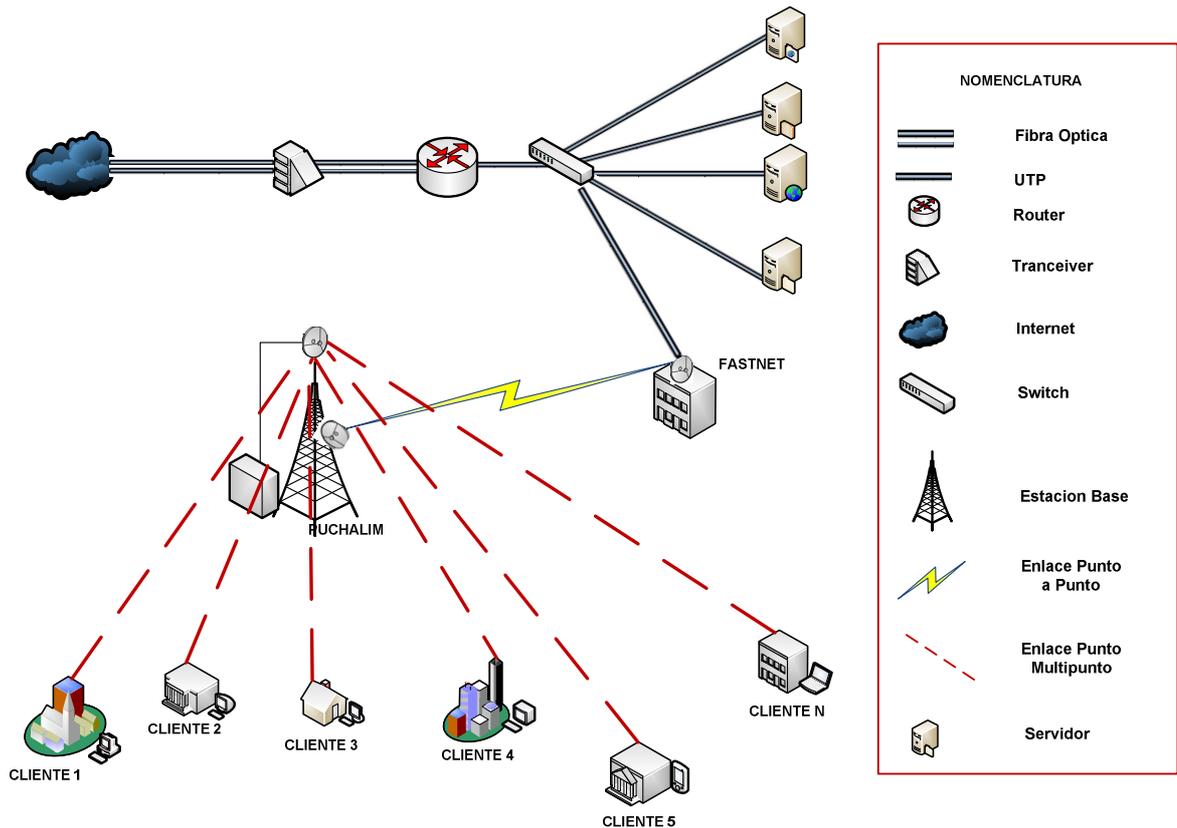


Figura 35. Posible esquema de conexión mediante tecnología WIMAX

#### 4.6.1.4. Diseño y aplicación de la tecnología WIMAX.

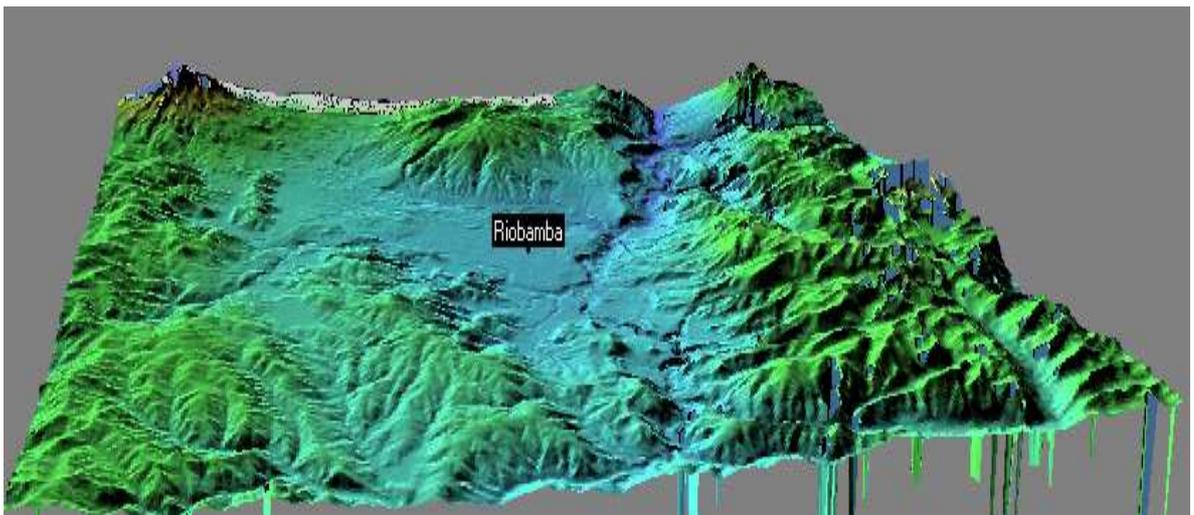
La tecnología WIMAX es una tecnología que nos ayudará a proveer a los usuarios de la ciudad de Riobamba, de conexiones de Internet de forma inalámbrica, obviando las redes de cobre que normalmente presentan problemas por hurto de cable.

La planificación estratégica para la implementación de la red inalámbrica WIMAX, va de la mano con el estudio logístico y de mercado del área geográfica de la ciudad de Riobamba que de una mejor manera nos permitirá definir el diseño de la red.

La ciudad de Riobamba en los últimos años ha crecido en sus alrededores; cuenta con alrededor de 250000 habitantes. Para acceder al servicio, los clientes cuentan con diferentes equipos terminales, los cuales serán elegidos de acuerdo a las necesidades del cliente.

#### **4.6.1.5. Análisis topográfico.**

Analizando la topografía de la ciudad de Riobamba, con la ayuda del Software Radio Mobile y el Software Google Earth se tiene la figura 36 que es un mapa topográfico, con el cual podemos concluir que en general la ciudad de Riobamba cuenta con pocas elevaciones en lo que es la ciudad a sus alrededores podemos observar lo contrario, lo cual nos facilita llegar a la mayor parte de la ciudad con una buena señal, aunque WiMAX trabaja en Nlos.



**Figura 36.** Situación topográfica de la ciudad de Riobamba (Radio Mobile)

#### **4.6.1.6. Criterios para la planificación de frecuencias**

Una de las partes fundamentales de las redes MAN apoyadas en WIMAX es la cobertura y estabilidad. En eso radica la búsqueda de la frecuencia de transmisión adecuada. El estándar 802.16 cubre las bandas entre 2 Ghz. y 66 Ghz., donde se divide en 2 grupos, la primera entre las frecuencias de 2 a 11 Ghz., y la segunda entre las frecuencias de 10 a 66 Ghz.

En la región por sobre los 10GHz la atenuación sube abruptamente a un nivel inicial de 0.2 decibelios (dB) por kilómetro y generalmente, mientras más corta la longitud de onda, más rápido la atenuación de la señal cuando se propaga a través del aire.

Otro problema en el espectro sobre los 10 Ghz. es que las transmisiones en estas bandas necesitan absolutamente línea de vista, lo cual hace más difícil la colocación de las estaciones bases, aunque se puede trabajar con un considerable incremento del ancho de banda.

Pero en este caso hay que tomar en cuenta que algunos de los usuarios están en zonas con obstáculos (como es la ciudad de Riobamba), y que las altas frecuencias no son las ideales por lo antes indicado, es así que se ha decidido usar bajas frecuencias, en el orden de los 2 a 11 Ghz.

#### **4.6.1.7 Diseño de red inalámbrica.**

Este diseño utilizará el estándar IEEE 802.16- 2004 que es para sistemas estáticos, el cual fue escogido por sus características de funcionamiento que supera a las versiones antecesoras del estándar IEEE 802.16.

La frecuencia ideal para trabajar en zonas urbanas, como anteriormente se lo explico, son las que se encuentra por debajo de los 10 Ghz. Las frecuencias libres en el Ecuador son las que se encuentran en 2.4 Ghz, 3,5Ghz, 5.4 Ghz y 5.8 Ghz, pero estas en algunos lugares de la ciudad de Riobamba ya se encuentran saturadas, lo cual nos causaría inconveniente.

La frecuencia que se utilizara en este diseño es la de 3.5 Ghz, la cual es una frecuencia sin licenciamiento. Aunque tener la licencia tiene un precio potencialmente alto, pero es necesario tomar esta decisión cuando la oferta del servicio requiere una alta calidad de servicio y una gran proyección de crecimiento.

Se analiza varios equipos que cumplen el estándar IEEE 802.16 (WIMAX). En el mercado existen algunos fabricantes de equipos WIMAX que poseen diferentes modelos y trabajan en varias bandas de frecuencia, cada fabricante oferta sus equipos de acuerdo a ellas. Pero como en este proyecto se utiliza la frecuencia de 3.5 GHz se enfoca en los equipos que cumplan esta característica.

Tomando en cuenta las características técnicas y precios de los equipos de los proveedores, se utilizará para este diseño los equipos de la marca de Motorola en los modelos WI4 que provee cada uno de los equipos para el diseño de esta red inalámbrica incluido los módulos para los suscriptores para lo cual cada uno de los equipos a ser utilizados lo describiremos posteriormente.

Con las ventajas que provee la tecnología WIMAX el cual tiene un extenso rango de cobertura, solo se utilizarán una radio base en la ciudad de Riobamba. El cerro de mayor elevación que

provee las características necesarias para lograr la cobertura principal de la ciudad de Riobamba es el Cerro Puchalim, con 2831 m. de altura, el cual tiene línea de vista con la mayor parte de la ciudad.

En la figura 37. se puede observar la ubicación de los puntos donde se colocarán las estaciones base.



**Figura 37.** Mapa visto desde el Google Earth con los puntos destinados para la ubicación del punto acceso y entrada de backhaul.

El backhaul principal de radio será entre el hospital san Juan donde se encuentra la empresa FASNET Cía. Ltda. proveedor del servicio de internet y el cerro Puchalim punto principal de acceso de los usuarios de este modo podremos lograr la cobertura total de la ciudad de Riobamba.

#### 4.6.1.8. EQUIPO ACTIVO

Para el diseño de la red se ha considerado los siguientes equipos principales:

**Tabla XXXIV:** Equipos destinados para el acceso WIMAX

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>
Puntos de acceso	1
Antenas suscriptoras (enlaces punto multipunto)	Depende de usuarios que requieran el acceso
Antenas backhaul (enlaces punto a punto)	1

En el desarrollo de la propuesta se ha considerado que los equipos Motorola en su serie WI4 definida para los sistemas WIMAX como la opción más conveniente en el diseño de la propuesta ya que presentan características muy interesantes funcionalidades y más aun en sus precios que son muy convenientes.

A continuación se presenta las especificaciones de cada unos de los equipos que se va a utilizar en la estructura de la red:

##### 4.5.1.8.1. Punto de acceso



**Figura 38.** Equipo WAP 400 para estación base

El punto de acceso WAP 400 consta de dos subsistemas: los módulos de RF y la unidad de control de base (BCU) como se muestra en Figure 38.

El módulo de RF, con diversidad de funciones, contiene una doble antena de RF sección que efectúa el proceso de transmisión y recepción de radio para entregar la señal de banda base a la BCU. Para integrar el proceso de RF a la torre superior antes se necesitaba un cable coaxial el cual es eliminado para este sistema.

El sistema WAP 400 utiliza fibra óptica y cable de poder para la conexión entre los módulos de RF y la BCU, las dos antenas de la sección de RF es muy simple, y esta puede ser remplazada por una unidad (FRU).

La BCU puede ubicarse al final de la torre de la antena o estar localizada a conveniencia del operador según este lo requiera. La BCU contiene slots hot-pluggable para colocar dos sitios de control y poder colocar 4 modems para soportar cuatro configuraciones de sectores.

Adicionalmente la BCU contiene una tarjeta de E/S para alarmas, sistema de ventilación y calefacción, y un sistema de distribución eléctrica para el sistema entero. La solución el punto de acceso WAP 400 está diseñada para soportar la configuración de 4 sectores con cuatro módulos de RF el cual es soportado por una sola BCU.

El sistema de punto de acceso WAP 400 soporta rechazo de frecuencia para un efectivo manejo del espectro y manejo de canal con un N=2 para planear la frecuencia. En la figura 39 se representa un esquema de cómo está constituido:

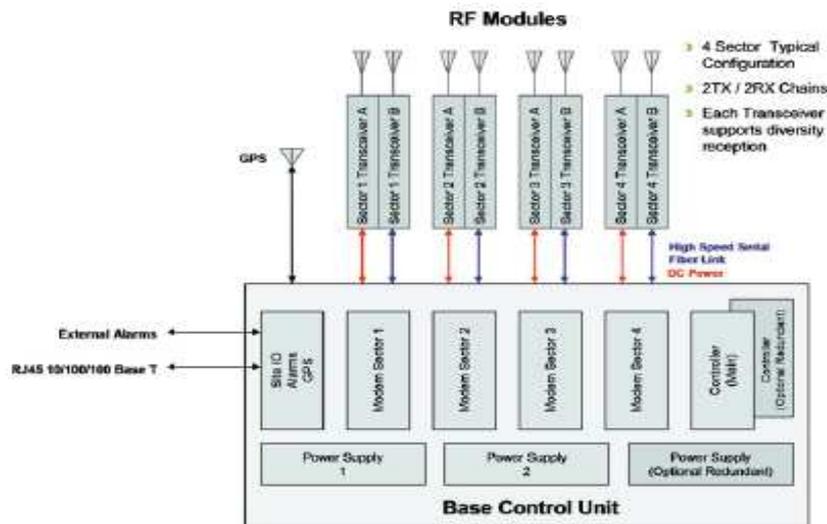


Figura 39. Esquemático del equipo WAP 400

### Beneficios del diseño del sistema

Alta performance

La serie WAP 400 de punto de acceso están basada en el estándar IEEE 802-16e-2005 y beneficia con muchas funciones en especial con la interface para el modulado S-OFDM, baja latencia y arquitectura basada en IP. La capacidad de la antena MIMO permite una alta penetración y además soporte para aplicaciones móviles. Adicionalmente QoS, funciones de seguridad y opciones de redundancia haciendo que el punto de acceso WAP 400 sea una verdadera solución para los ISP.

#### Aplicaciones fijas y móviles

El punto de acceso WAP 400 provee conexiones de banda ancha inalámbricas sin línea de vista fija y móvil. Soporte para integración con núcleo de red IP además el punto de acceso WAP 400 soporta perfectamente el problema de handover

#### Fácil instalación y manejo

La filosofía de diseño de Motorola de equipos WIMAX comprende su fácil instalación, mayor operación y desempeño de los mismos. El punto de acceso WAP 400 permite de una manera sencilla la instalación de los equipos en las estaciones tanto para el módulo de RF y la unidad de control de base (BCU).

Simplifica su operación además de contar con software para su configuración, autenticación y sistema de actualización.

#### Reduce CAPEX (Gasto de Capital)

El sistema de Punto de Acceso de WAP 400 se beneficia de un diseño integrado y permite conexiones simples entre componentes. Equipos físico y lógico de radio programables además de ser flexible proveen el beneficio de su actualización sin el uso de herramientas adicionales. El diseño de antena de RF integrado elimina la necesidad del uso de cables coaxiales suntuosos y pesados entre antenas y la BCU y evita las pérdidas se asociadas con los sistemas antiguos.

#### Reduce OPEX (Gastos Operativos)

El punto de acceso WAP 400 ha sido diseñado para IP de principio a fin. La arquitectura de red elimina los altos costos de centralización en cajas, simplificando el manejo y reduce los altos costos de transporte hacia el núcleo. La conectividad de equipamiento de estándar IP permite a los operadores significativas ventajas de costos.

#### Módulo de radiofrecuencia (RF)

El módulo de RF en si es una unidad completa y consiste de dos líneas de transmisión, dos líneas de recepción dos filtros de duplexación, dos elementos de antenas, adicional interfaces de fibra óptica de conversión de alimentación DC.

El módulo de RF tiene en su construcción un supresor para proteger de algún inconveniente la alimentación de la unidad de distribución de poder en la BCU. La salida del módulo de RF es de 1 Watt por cada uno de los dos elementos de la antena

Para severos problemas con interferencia opcionalmente existe la posibilidad de introducir filtros para el módulo de radiofrecuencia para combatir los problemas de interferencia.

La arquitectura de integración de RF elimina la necesidad de esos pesados cables coaxiales de RF que corrían entre la BCU y el módulo de RF. Un cable de fibra óptica simple con la opción de redundancia y una alimentación estándar estas son las conexiones requeridas entre la BCU y el módulo de RF de la torre.

Tradicionalmente los cables coaxiales de RF significaban pérdidas en el camino e incrementaban los requerimientos del sistema de alimentación además una degradación en la señal. Para retirar el cable coaxial de RF era necesario emplear gran fuerza y los requerimientos de alimentación para el punto de acceso WAP 400 son muy reducidos para cubrir estos trabajos. Se reduce los requerimientos de alimentación puesto que se reduce los elementos activos para el sistema y ofrece la ventaja de adherir equipos de una forma confiable

Además, el posicionamiento de los elementos activos de radiofrecuencia y la calefacción dentro del módulo de RF integrado hacen más efectivo la disipación y facilita los requerimientos de refrigeración dentro de la unidad de control de base. El mejoramiento en el manejo de la disipación del calor elimina la necesidad de un lugar y aire acondicionado para la BCU resultando en una fácil instalación y ventajas en costos.

El WAP 400 está diseñado para soportar sobre los 256 usuarios activos por sector (ejemplo  $256 \times 4 = 1024$  usuarios activos por sector en una configuración de 4 sectores). Adicionalmente sobre los 3000 usuarios pueden ser soportados alrededor del sitio en una combinación entre activos, inactivos, y usuarios en espera.

## **Componentes**

### **Unidad de control de base (BCU)**

La unidad de control de base (BCU) actúa en procesamiento de señal, sincronización del sitio, distribución de alimentación e interfaces de red para host. Adicionalmente incluye software de alto nivel del sitio para la unidad y provee interface para un backhaul.

La unidad de control de base incluye los siguientes componentes que están representados en la figura 40 donde se observa cada uno de los componentes de la misma

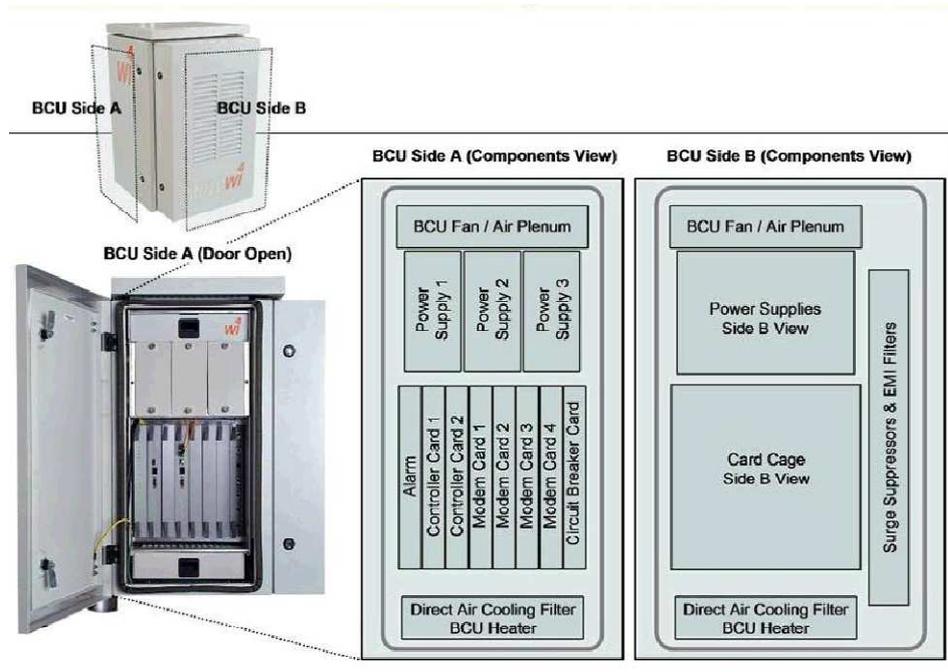


Figura 40. Unidad de control de base

### Tarjeta de control de sitio

La tarjeta de control de sitio es una tarjeta de procesamiento digital que contiene un microprocesador con software para el manejo del sitio, un circuito de referencia frecuencia/tiempo, un switch ethernet, e interfaces para backhaul y alarmas. La cabina de BCU contiene dos slots para dos tarjetas de control de sitio esto en un modelo redundante.

### Tarjeta MODEM

La tarjeta modem es una tarjeta digital de banda base que contiene microprocesadores, DSP y FPGA el cual funciona en el procesamiento de la capa MAC y PHY del 802.16 e

El software de la tarjeta modem permite actualizaciones si la capa MAC y PHY sufre modificaciones. La BCU incluye 4 slots para tarjetas modem para una típica configuración de una tarjeta por sector. Alternativamente una tarjeta modem puede ser configurada para soportar dos sectores en una configuración trunked.

### **Tarjeta de alarma**

La tarjeta de alarma nos provee alarmas de entrada y control de retardos de salida, ingreso de alarmas en el gabinete, información de identificación de la alimentación, switching de capa 1 para backhaul Ethernet, alimentación y señales de interface del receptor GPS y alimentación y señales de la interface opcional de oscilador de alta estabilidad (HCO).

### **Suministro eléctrico**

La BCU contiene tres slots para unidades de suministro eléctrico. Dos alimentaciones eléctricas son necesarias para proveer a todo el sitio además se cuenta con otra; esta en caso de falla de alguna de estas anteriores.

### **Ventilación**

La BCU es fría esta forzada por aire que ingresa a esta. La BCU utiliza un ventilador cerrado y un ventilador empotrado. El ventilador de la BCU tiene un tacómetro de salida que provee una alarma automática aproximadamente una semana en que este ha fallado

### **Backplane**

El backplane permite la interconexión entre las tarjetas de control, la tarjeta modem y la tarjeta de alarma. El backplane provee de +27DCV de alimentación para cada una de las tarjetas.

### **Oscilador de alta estabilidad (HSO)**

El HSO es un módulo opcional que puede incluir en la BCU para poder ser introducido en un futuro próximo. La conexión del HSO se realiza directamente al backplane y provee una señal de pulso por segundo para lo cual la tarjeta de alarma se encarga de distribuir a las tarjetas de control del sitio dotando de una frecuencia de referencia por si ocurre alguna falla en su GPS.

### **Protección ante subidas**

La BCU tiene dos elementos de protección. Una para la alimentación eléctrica que ingresa al sistema completo y una segunda para proteger las tarjetas de backhaul, GPS, clientes de I/O y la alimentación del módulo de radio frecuencia.

### **Filtro de enfriamiento directo de aire (DAC)**

El filtro DAC es un elemento que restringe el movimiento de polvo y partículas en el interior de la BCU. A la larga es muy efectivo como método de enfriamiento del gabinete comparado con otros métodos. El filtro DAC permite tener bajas temperaturas comparados con otros, este filtro requiere ser limpiado periódicamente, además de que este tiene una vida útil dependiendo del lugar donde se encuentra.

## **Calefacción**

El módulo de calefacción está incluido en el gabinete del BCU esto para ambientes fríos. La calefacción comprende dos escenarios este es controlado por un termistor y un circuito de control dentro del módulo de calefacción. Si esta frío durante la puesta en marcha del sistema la temperatura interna aumenta rápidamente hasta los cero grados. Durante un día frío opera solo un elemento del módulo de calefacción. El calor de cada elemento es disipado hasta que la BCU obtenga una temperatura interna de cero grados.

Datasheet ANEXO 6

### **4.6.1.8.2. Módulo suscriptor**

#### **EQUIPOS FINALES PARA USO INTERNO**

##### **Motorola's wi4 WiMAX CPEi 725**



**Figura 41: Motorola CPEi 725**

Motorola's wi4 WiMAX CPEi 725(figura 41) ofrece en su versión wave 2 este dispositivo que está preparado para ofrecer funciones de voz y datos. El módulo Motorola's CPEi 725 provee de funciones como balance de carga con un diseño integrado, puerto de acceso para voz y datos alta ganancia en sus antenas omnidireccionales ofreciendo la mayor ganancia y alta sensibilidad en la recepción excediendo en los valores establecidos por el WIMAX fórum previsto en el esquema de modulación.

Esta combinación no solo reduce los requerimientos para los operadores de las estaciones base además ofrece alta calidad de servicio a los suscriptores para voz y datos ampliando notablemente el nivel de servicios.

#### Característica y funcionalidades

- Preparado para 802.16e wave 2
- Diseño a la moda
- Equipo plug-play basta con suministrarle energía y la unidad comienza su experiencia web
- Interface fácil para el usuario
- Puertos de acceso para datos y VoIP
- Antenas integradas de alta ganancia
- MRC, MIMO A & B AND AAS
- Actualizaciones del equipo en funcionamiento
- El mejor rendimiento en radio
- Gran ancho de banda
- Cinco clases de calidad de servicio

- Seguridad robusta

### Motorola PEi600 Series



**Figura 42:** Motorola CPEi 600

La serie Motorola CPEi 600 con un diseño para su fácil instalación elimina los costosos gastos por intervenciones por parte de los operadores. El dispositivo detecta automáticamente la red y realiza el proceso de autenticación necesario. Contiene un indicador para poder observar el nivel de señal pudiendo colocar la antena para tener la mejor de las ganancias en la recepción.

Datasheet ANEXO 7

### BENEFICIOS

- Cobertura interna segura
- Ancho de banda de lo mejor
- Robustez en seguridad
- Cinco niveles de calidad de servicio
- Permite el manejo remoto

## EQUIPAMIENTO EXTERNO PARA SUSCRIPTORES

### CPEO 450 SERIES



**Figura 43.** Motorola CPo 450

Equipamiento para exteriores CPEo 450 Series (Figura 43) para instalaciones en clientes permite el aumento de cobertura para los operadores permitiendo el ampliamiento de servicios en redes WIMAX 802.16e, permitiendo aumentar el servicio para usuarios finales en área urbanas y regiones de acceso remoto donde no se permite el acceso con métodos tradicionales y que los hacen más costosos.

Datasheet ANEXO 8

Se puede decir que por la variedad de equipos terminales para suscriptores mucho de estos va a depender del tipo de cliente y las características de servicio que requiera el usuario final.

#### **4.6.1.8.3. Backhaul**

En algunos casos no existe una conexión conveniente de fibra o cable para un AP o se requiere un enlace punto a punto entre dos localidades. Una unidad de Backhaul (BU) inalámbrica es una opción punto a punto para transportar tráfico desde y hacia los APs. Cada BU se comunica

únicamente con otro BU utilizando una antena muy direccional. En cada enlace de backhaul un dispositivo es configurado como el Maestro en tiempo de RF.

En este diseño de red es necesario crear un backhaul en el punto de acceso de la red entre el edificio donde se encuentra la empresa FASTNET y el cerro PUCHALIM en el cual se encuentra el punto de acceso; por sus características y prestaciones de equipos se ha decidido para realizar el enlace punto a punto requerido con equipos ALVARION en el modelo en su serie BreezeNET B, por tanto se ha elegido el modelo BreezeNET B100 (figura 44) puesto que tiene grandes características que a continuación se describen



**Figura 44:** BreezeNet 100 para enlaces punto a punto

## Componentes del Sistema BreezeNET

### Unidad Base (BU)

La BU es instalada en uno de los extremos del enlace PTP y se conecta con un servidor central o con la Internet. La BU está compuesta por dos partes, una unidad interior universal (IDU) y una unidad exterior (ODU).

Mediante la combinación de la radio y el módem en la unidad exterior, BreezeNET B ofrece un verdadero dispositivo exterior, sin la pérdida de potencia asociada con el costoso cable interior/exterior de elevadas pérdidas.

La unidad de exterior está disponible o bien con una antena integrada o bien sin ella (en cuyo caso puede utilizarse una antena externa).

### Puente Remoto (RB)

El RB se ubica en el extremo alejado del enlace PTP, conectando al usuario final con la BU ubicada centralmente. El RB también está compuesto por dos partes, una es la unidad de interior idéntica a la utilizada en la BU, y la otra es una unidad exterior que está disponible con o sin antena integrada. Por razones de eficiencia logística, cada unidad es entregada como una BU, y puede transformarse por software para ser un RB.

**Tabla XXXV:** Definición de conexión para equipo BreezeNet B100

<b>Estación base BU-14 0 BU-B100</b>	Se conecta directamente con la troncal Ethernet 10/100 Base T y la involucra con el punto central de la red
<b>Puente Remoto RB-B14, RB-B28 o RB-B100</b>	Se conecta directamente con la LAN Ethernet LAN y enlaces con una LAN Ethernet remota para 10/100 base T y vincula a la LAN Ethernet remota con el punto central a través de la unidad base sirviendo hasta a 1024 estaciones

## **CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONALIDADES**

- Alta capacidad enlace punto a punto
- Velocidades de hasta 108mbps
- Bridge y enlace troncal Ethernet en banda de 5ghz
- Tecnología OFDM
- Radio exterior de super gran alcance
- Sólida actuación en entornos sin línea de vista (NLOS)
- Protección de datos de múltiple nivel
- Opera en bandas de frecuencias no licenciada
- Instalación y mantenimiento fácil
- Robusta arquitectura exterior asegura un alcance y una confiabilidad sin precedentes
- Velocidad y calidad de servicio superiores para soportar servicios tripleplay

Datasheet ANEXO 9

### **4.6.1.8.4. DIAGRAMAS DE INSTALACION**

A continuación se presenta el diagramado de instalación de los equipos que constituyen el sistema inalámbrico:

## PUNTO DE ACCESO

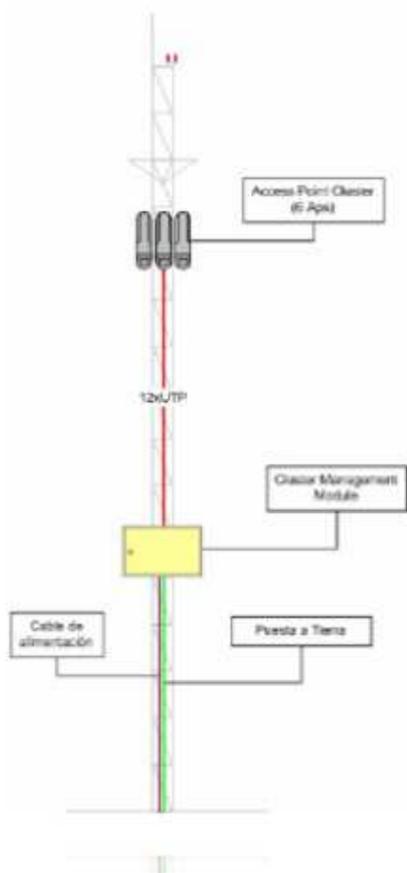


Figura 45. Diagrama de instalación de estación base con los acces point (puntos de acceso)

## Módulo suscriptor (Figura 46)

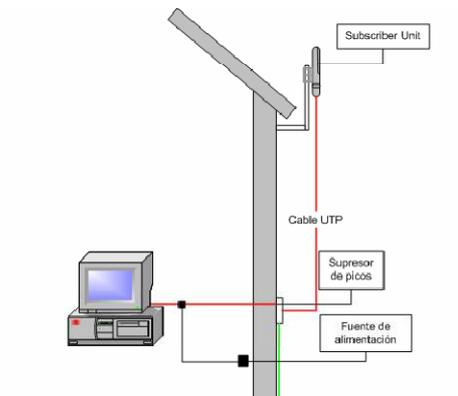


Figura 46. Esquemático de instalación de módulo suscriptor

Para cada una de las instalaciones utilizaremos cable UTP categoría 5 o superiores además de que se debe realizar los respectivos estudios eléctricos que no competen a nuestro estudio pero hay que tomar muy en cuenta para alimentación de cada uno de los equipos del sistema

En la figura 47 se muestra el esquema del diseño de la red desarrollado en la ciudad de Riobamba para lo cual se ha establecido como punto principal el proveedor que en este caso es la empresa FASTNET Cía. Ltda. que tiene la salida a Internet; esta empresa está ubicada en el edificio del Hospital San Juan, el punto de acceso primordial se encuentra en el Cerro Puchalim ubicado en la parroquia Yaruquíes desde el cual se puede tener acceso a todos los puntos estratégicos de la ciudad; cabe recalcar que esta tecnología trabaja también cuando no existe línea de vista facilitando así la implementación de la misma; por esta razón la cobertura llega con normalidad a la parroquia de Licán pese a que la línea de vista se encuentre algo obstaculizada por el cerro Chaquiguay; gracias a la potencia de los equipos sugeridos en este diseño se logrará brindar el servicio con una señal clara y rápida tanto a la parroquia de Licán como al barrio de Santa Ana ubicado al norte de la ciudad, cabe indicar que son los lugares que se encuentran más distantes desde el cerro Puchalim.

Se ha utilizado el programa Radio Mobile que es un software amigable para analizar el área de cobertura en cada uno de los barrios de la ciudad de Riobamba, para esto previamente se obtuvo las coordenadas de los mismos utilizando GPS, al analizar las coordenadas con el software se determina que la tecnología WIMAX es muy aplicable en la ciudad.

En el diagrama se ha ubicado algunos puntos estratégicos de la ciudad tomando en cuenta que son los más vulnerables para la recepción de la señal dado su ubicación geográfica y la distancia a la que se encuentran del cerro Puchalím.

### DISEÑO DE RED

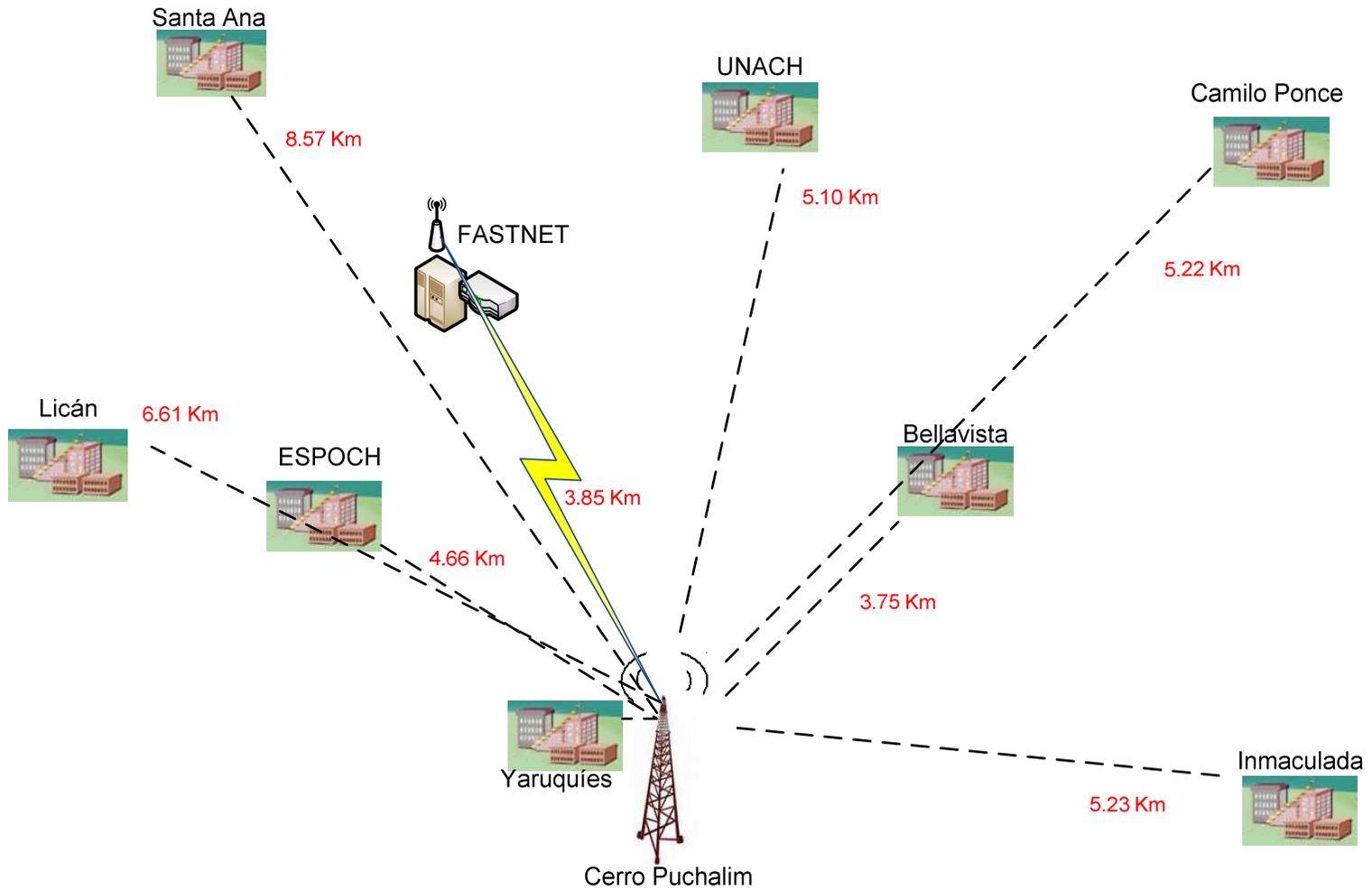


Figura 47. Esquema del Diseño de Red con tecnología WIMAX

#### 4.5.2. SIMULACIÓN DE ENLACES

En los siguientes ítems de este capítulo se ha realizado la simulación del sistema completo de la red diseñado, en primer lugar se va a revisar la factibilidad de un enlace punto a punto esto está destinado para el backhaul de el sistema

En segundo lugar se analizará y se simulará la zona de cobertura para una estación ubicada en el cerro PUCHALIM, a continuación se presenta en la tabla las coordenadas de los puntos más relevantes dentro del diseño de la red WIMAX, estos datos se los obtuvo mediante GPS.

**Tabla XXXVI.** Coordenadas geográficas de puntos de diseño de Red

LUGAR	LATITUD (DMS)	LONGITUD (DMS)	ALTURA (metros)
Ing. Electrónica	1° 39' 20.1" S	78° 40' 39.3" W	2835
DESITEL	1° 39' 22.5 " S	78° 40' 38.6" W	2831
Yaruquies	1° 41' 22.7" S	78° 40' 33.2" W	2817
Cerro PUCHALIM	1° 41' 46.5" S	78° 40' 0.3" W	3007
El Cuartel	1° 39' 43.3" S	78° 38' 55.7 W	2794
FASTNET Cia. Ltda.	1° 39' 45" S	78° 39' 34.6" W	2817
Hotel Zeus	1° 39' 50.9" S	78° 39' 36.5" W	2792
Loma de Quito(parque)	1° 39' 59.6" S	78° 39' 10.7" W	2799
Carabobo y Argentinos	1° 40' 3.6" S	78° 39' 5.1" W	2774
El Terminal	1° 39' 40.9" S	78° 39' 48.5" W	2794
Escuela "General Lavalle"	1° 39' 34.5" S	78° 39' 56.7 " W	2813
Hotel "Los Alamos "	1° 39' 21.6" S	78° 39' 54.4" W	2815
Santa Ana	1° 37' 16.8" S	78° 41' 8.5" W	2930
Lican	1° 39' 4.9" S	78° 42' 23.6" W	2947
San Vicente	1° 40' 45.2" S	78° 40' 54.4" W	2851
El Batan	1° 40' 30.2" S	78° 40' 21.1" W	2802
UNACH	1° 40' 48.4" S	78° 38' 30.2" W	2767
La Inmaculada	1° 42' 11.8" S	78° 37' 15.4" W	2717
SUPTTEL	1° 42' 4.3" S	78° 37' 22.1" W	2721
Bellavista	1° 40' 43" S	78° 38' 19.2" W	2769
Villa Maria	1° 40' 33.2" S	78° 38' 34.5" W	2773
Camilo Ponce	1° 39' 46.6" S	78° 38' 3.7" W	2786

#### **4.6.2.1. ENLACE PUNTO A PUNTO**

Mediante el uso de Radio Mobile se va a simular el enlace punto a punto entre la empresa FASTNET y el cerro Puchalim esto para probar la factibilidad del enlace entre estos dos puntos determinado para el backhaul del sistema.

En la figura 48 se muestra la ubicación topográfica de los dos puntos que forman el backhaul del diseño de red planteado en este trabajo para lo cual hemos definido los siguientes datos para poder simular en Radio Mobile.

#### **TRANSMISOR**

Frecuencia	máxima = 5150Mhz	mínima = 5350Mhz
Potencia transmisor	21dBm	
Ganancia antena	21dBi	
Altura de la antena	24.2m	

#### **RECEPTOR**

Ganancia de antena	2dBi
Sensibilidad receptor	-107dBm
Altura de la antena	30m

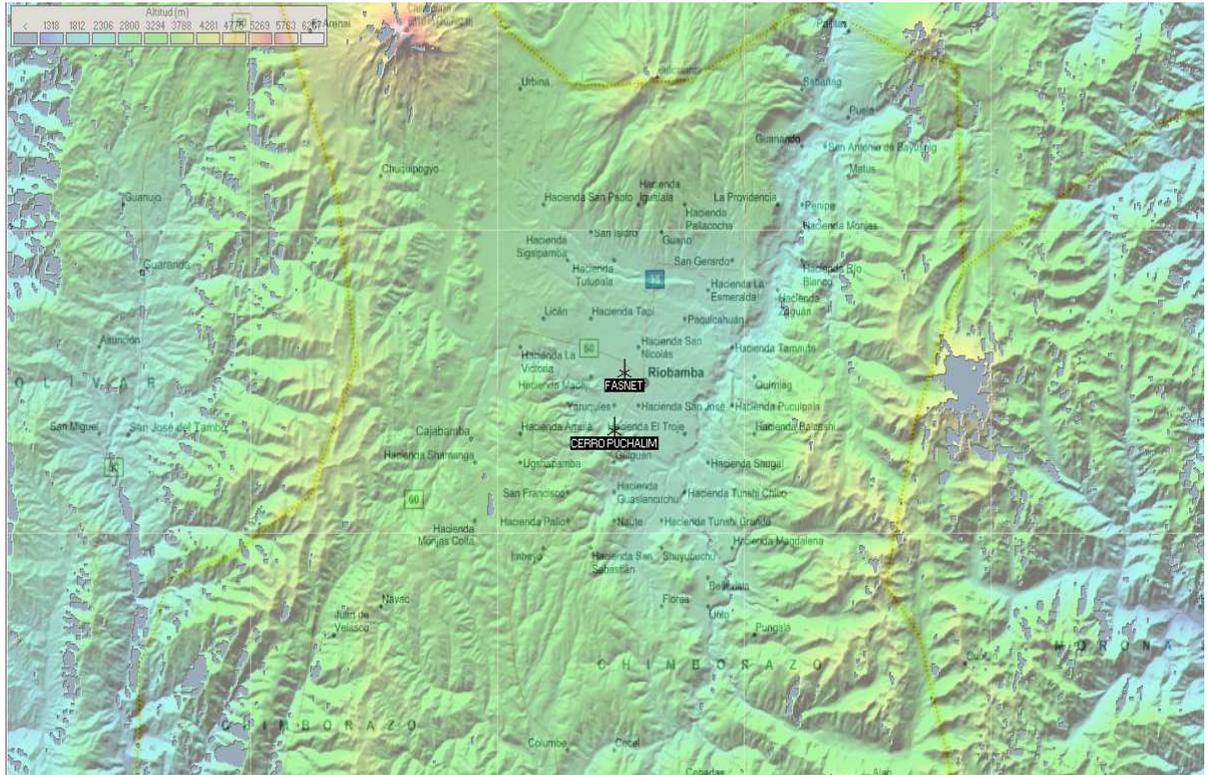


Figura 48. Mapa de la ciudad de Riobamba con los puntos para el enlace backhaul

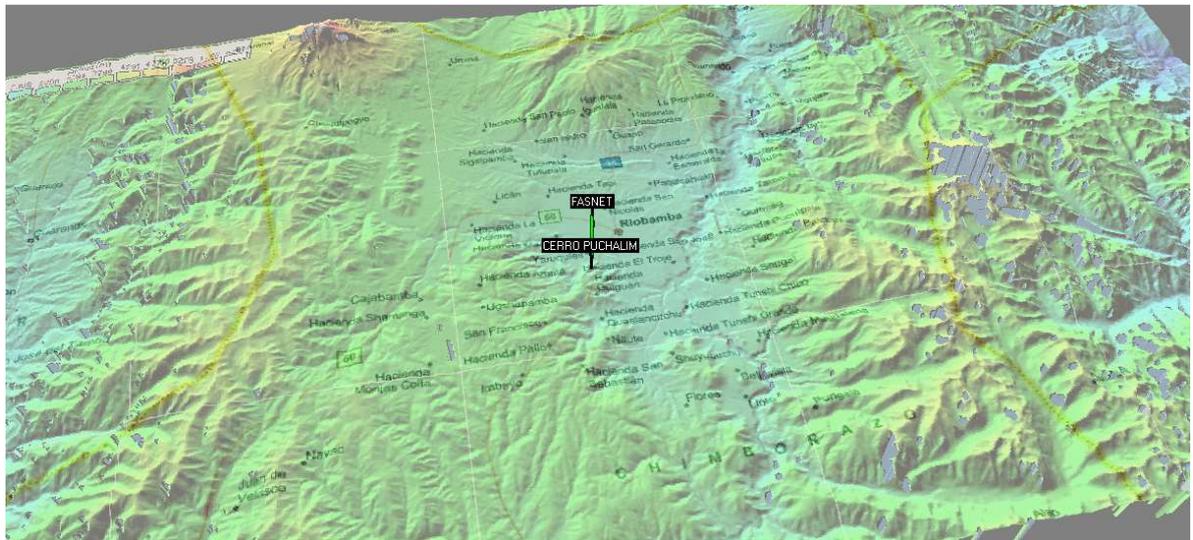
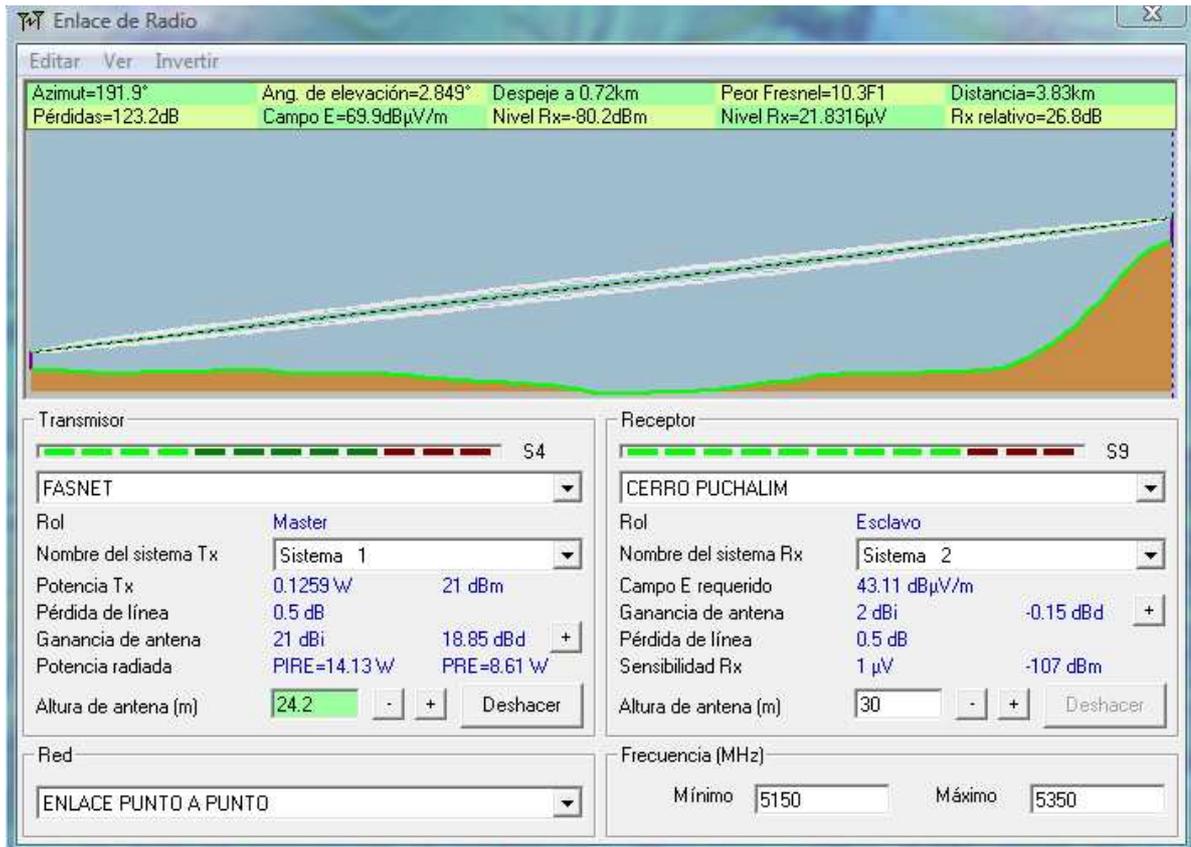


Figura 49. Una vista 3D de la topografía y de los puntos destinados para el enlace



**Figura 50.** Gráfica de la simulación con los valores predeterminados para el enlace de radio punto a punto

En la figura 50 se muestra el cálculo del radio enlace (Radios Bases principales) donde se puede observar que se tienen los valores como distancia, azimut, ángulo de elevación, espacio libre, nivel de recepción y la zona de Fresnel que tiene como valor de 10,3 F1 que indica que el enlace no tiene ningún problema para operar ya que el valor mínimo para la zona de Fresnel es de 0.6 F1. En este cálculo se consideró una altura de las antenas de 30 metros en el Cerro del Puchalim y de 24 metros en el edificio donde se encuentra la empresa FASTNET; una potencia de 21 dBm en la empresa FASTNET, ganancia de antena omnidireccional de 21 dBi y una sensibilidad de -107 dBm.

Además en la figura 51 se observa con más detalle algunos de los valores más sobresalientes dentro del enlace punto a punto entre la empresa FASTNET y el cerro Puchalim.

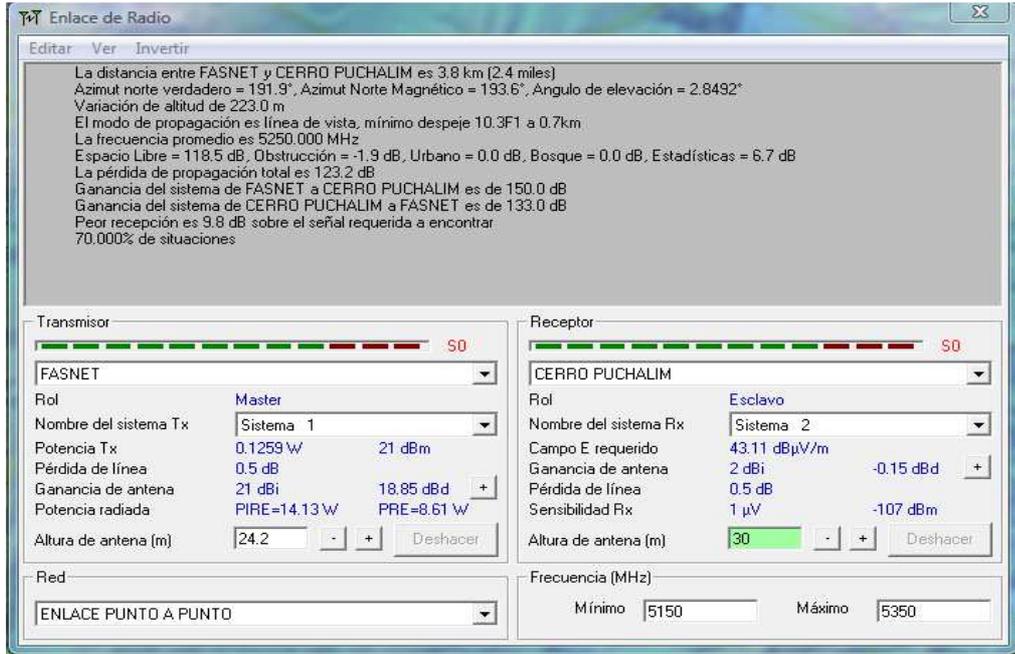


Figura 51. Gráfica de los valores determinados por el simulador en el backhaul

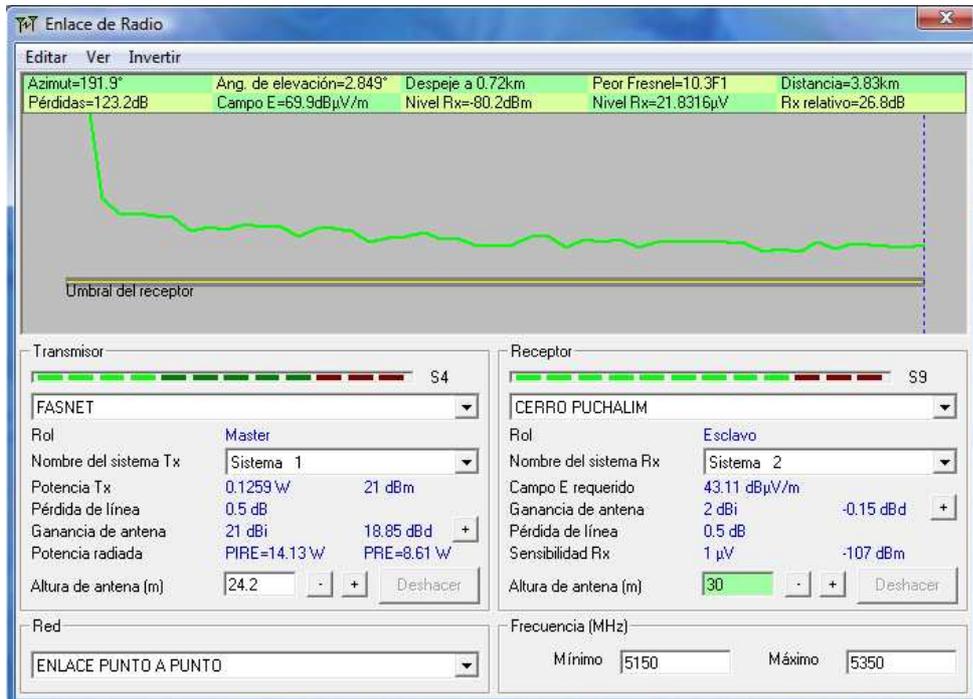


Figura 52. Gráfica de estadística para el umbral del receptor

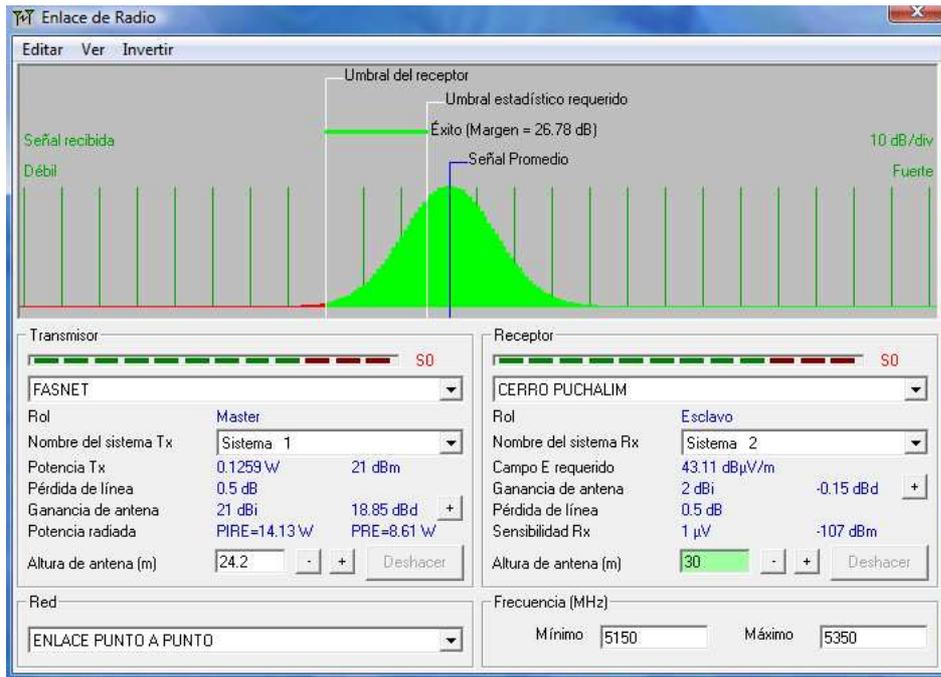


Figura 53. Gráfica de estadística para éxito de radioenlace en el backhaul

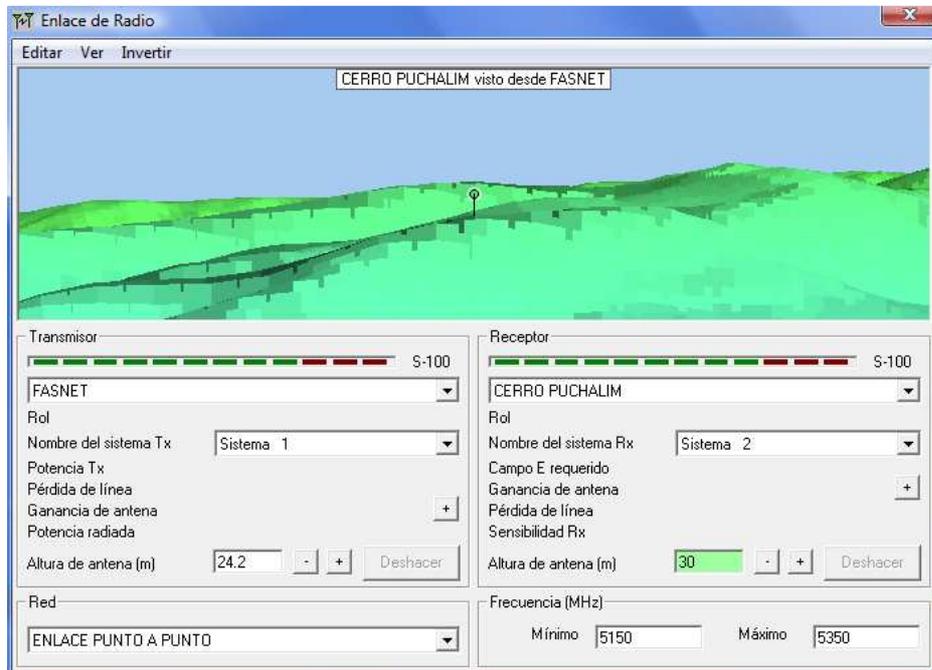


Figura 54. Gráfica Cerro PUCHALIM visto desde FASTNET



**Figura 55.** Línea de vista real desde el cerro PUCHALIM hacia el punto de acceso a internet en el hospital San Juan empresa FASTNET

Como conclusión de la simulación del enlace se puede observar gracias a las prestaciones del software de simulación que este enlace será posible realizarlo con gran calidad y brindando un servicio a la ciudad de Riobamba con gran velocidad.

#### **4.6.2.2. COBERTURA SISTEMA ESTACIÓN BASE**

En la figura 56 se presenta el cerro Puchalim donde se ha definido la colocación de la estación base para el servicio de WIMAX, este cerro se encuentra en la parroquia Yaruquies a las afueras de la ciudad de Riobamba.





### TRANSMISOR

Frecuencia	máxima=3400Mhz	mínima=3600Mhz
Potencia transmisor	31.01dBm	
Ganancia antena	33dBi	
Altura de la antena	30m	

### RECEPTOR

Sensibilidad receptores	-107dBm
-------------------------	---------

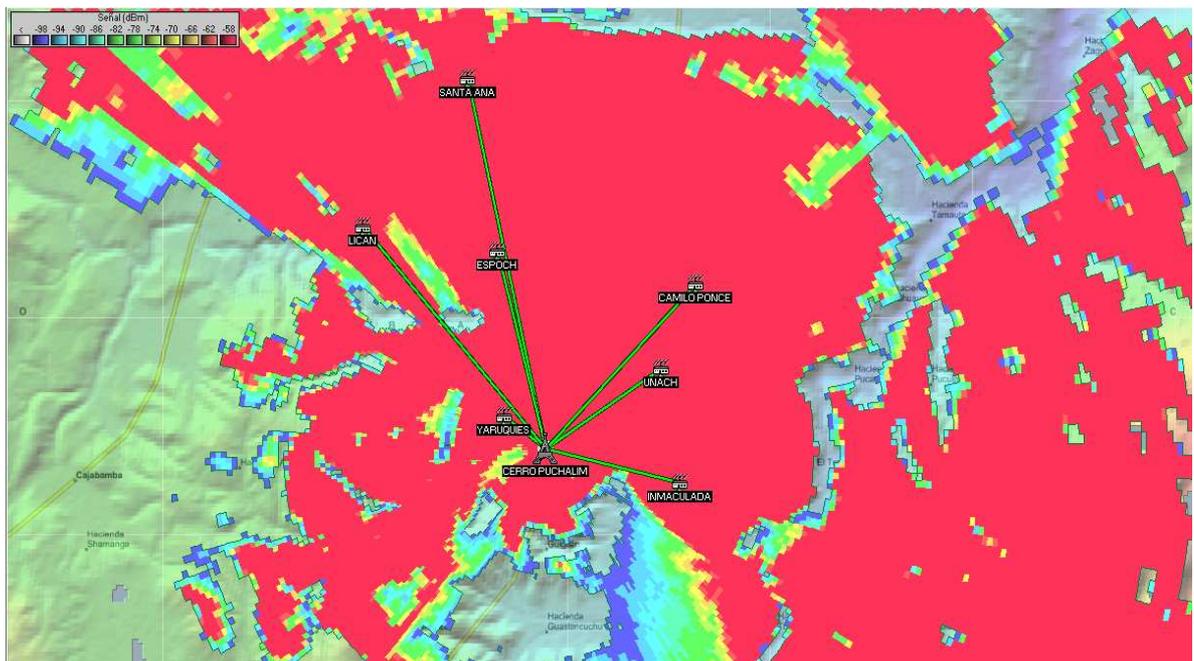


Figura 60. Gráfica de cobertura de la estación base (20 Km)

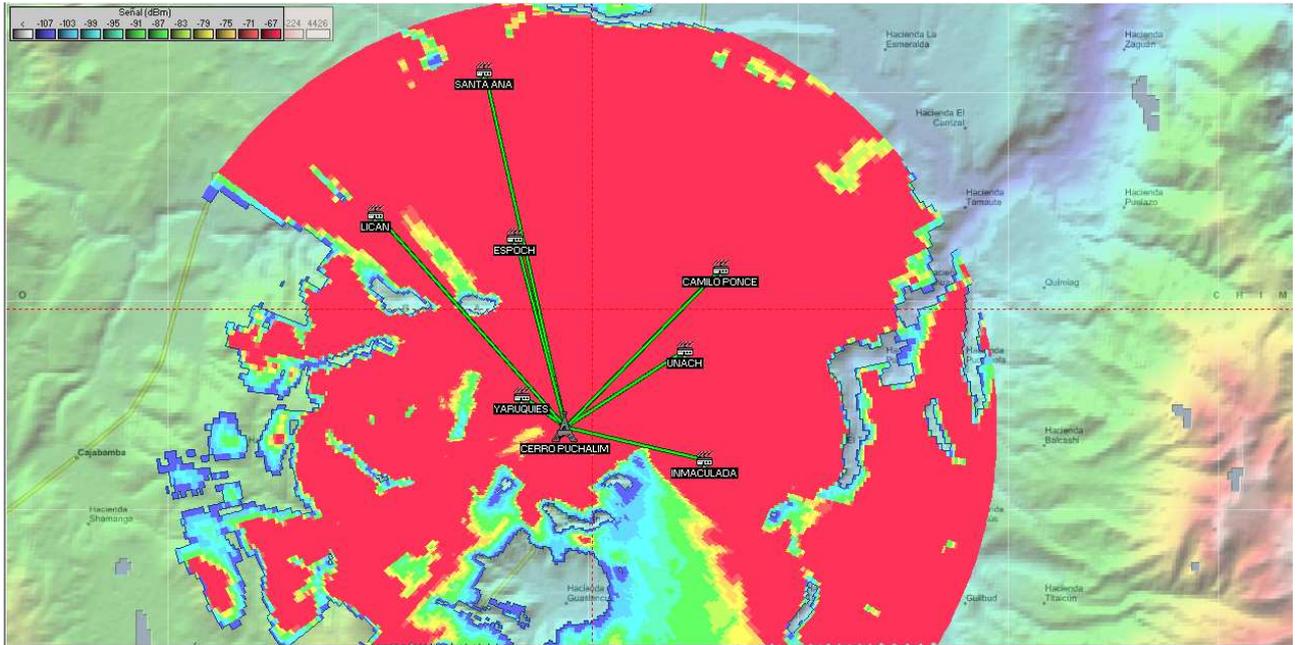


Figura 61. Gráfica de cobertura de la estación base (10 Km)

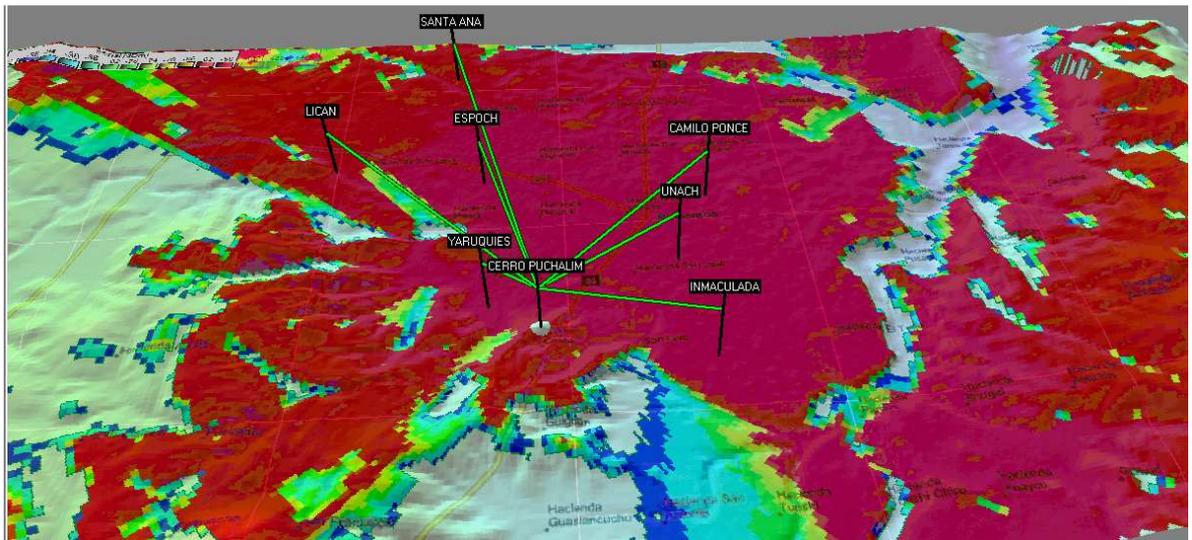


Figura 62. Gráfica de cobertura de la estación base vista en 3D

En las figuras 60 y 61 se puede observar la cobertura total desde el cerro Puchalim utilizando el software Radio Mobile, mientras que en la figura 62 se muestra la misma cobertura pero en 3D. En la figura 63 se muestra de forma real la cobertura visual de la ciudad de Riobamba desde el cerro Puchalim.



**Figura 63.** Vista real de la zona de cobertura de la ciudad de Riobamba

#### 4.7. ESTUDIO ECONOMICO

##### 4.7.1. EQUIPAMIENTO ESTACION BASE

**Tabla XXXVII:** Equipamiento de estación base

<b>CANTIDAD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO(\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL(\$)</b>
1	MOTOROLA WI4 WAP 400	Incluye el sistema completo la estación base y los módulos de radiofrecuencia	22000	22000
<b>TOTAL</b>				<b>22000</b>

#### 4.7.2. UNIDADES SUSCRIPTORAS

**Tabla XXXVIII:** Equipamiento de estaciones suscriptoras para uso interno y externo

	<b>CANTIDAD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>
Plan Corporativo	1	Motorola CPEi 600 Series	Unidad suscriptoras de alta performance con 4 puertos ethernet y 2 para VoIP con antena incluida	100
Plan Residencial	1	Motorola CPEi 725	Unidad suscriptoras para interiores con 1 puerto ethernet y un puerto para VoIP	44
	1	Motorola wi4 WiMAX CPEo 450 Series	Unidad suscriptoras para exteriores con un puerto ethernet y dos puertos para VoIP	65

#### 4.7.3. BACKHAUL

**Tabla XXXIX:** Equipamiento para el backhaul

<b>CANTIDAD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>SUBTOTAL</b>
1	BreezeNET B100	Equipo para enlaces punto a punto velocidad y calidad de servicio para soportar voz, video y datos	3321.62	3321.62
<b>TOTAL</b>				<b>3321.62</b>

#### 4.7.4. PERSONAL

**Tabla XL:** Personal requerido

<b>ITEMS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO TOTAL(\$)</b>
1	Técnico	400	3	1200
2	Ingeniero	600	1	600
<b>Total</b>				<b>1800</b>

#### 4.7.5. Gastos instalación

**Tabla XLI: Gastos Instalación**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL (\$)</b>
1	Terreno 4m x 4m	3000	3000
1	Torre para instalación de estación base (triangular)	6000	6000
1	Caseta para monitoreo	2000	2000
<b>Total</b>			<b>11000</b>

El total para instalación de equipos WIMAX y mano de obra requerida para el despliegue de la red en la ciudad de Riobamba se lo puede observar en la tabla XXXVI.

**Tabla XLII. Gastos de Implementación total**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO (\$)</b>
1	Estación Base	22000
1	Backhaul	3321.62
	Personal	1800
	Gastos de Instalación	11000
<b>TOTAL</b>		<b>38121,62</b>

Se debe indicar además que no se ha tomado en cuenta el precio de los equipos suscriptores ya que eso depende del número de usuarios que optarían por utilizar la tecnología WIMAX, del plan que utilizaría si es corporativo o residencial y del equipo suscriptor que escoja.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS WIMAX BREEZENET

<http://www.alvarion.com/index.php/products/breezenet>

20091109

- 2.- GERENAL RESOURCES WIMAX FORUM

<http://www.WIMAXforum.org>

20090803

- 3.- MOTOROLA'S WIMAX SOLUTION IS DESIGNED WITH THE FLEXIBILITY NEEDED TO  
KEEP YOUR SERVICE OPTIONS OPEN

<http://www.motorola.com/business/v/index.jsp?vnextoid=f005fcddf8a17110VgnVCM1000008406b00aRCRD&vnextchannel=724be73820935110VgnVCM1000008406n00aRCRD>

20091003

- 4.- MOTOROLA WI4 WIMAX

<http://motorola.com/wimax>

20091105

- 5.- REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL WPAN

[http://www.bluetooth\\_e.asp\\_files/infocitel.css](http://www.bluetooth_e.asp_files/infocitel.css)

20091101

- 9.- TECNOLOGÍA INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA

<http://www.intel.com/cd/network/communications/emea/spa/179913.htm>

20091025

7.- WIMAX: EL NUEVO ACCESO INALÁMBRICO A INTERNET

<http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=31>

20091020

8.- WIMAX. ¿EL SUSTITUTO DE WIFI?

<http://www.monografias.com/trabajos16/WIMAX/WIMAX.shtml>.

20090910

9.- WIMAX's TECHNICAL ADVANTAGE FOR COVERAGE IN LOS AND NLOS CONDITIONS

<http://www.WIMAXforum.org/news/downloads/WIMAXNLOSgeneralversionaug04.pdf>

20091105

10.- WIMAX TECHNOLOGY OVERVIEW

<http://intel.com/netcomms/technologies/wimax/>

20091005

11.- WIMAX Y SOLUCIONES NO ESTÁNDAR

<http://wilac.net/trical>

20091002

## CONCLUSIONES

- WIMAX hace uso de banda de frecuencias licenciadas como bandas no licenciadas. Las bandas no licenciadas son de 3,5Ghz y 5,8Ghz y las bandas licenciadas son 2,4 y 2,5Ghz se puede decir que actualmente esta tecnología está desplegándose en nuestro país y en la mayoría de los casos se está desplegando en la banda de frecuencias no licenciadas.
- Para la instalación de nuestra estación base ha sido escogido el Cerro Puchalim puesto que este permite tener una cobertura total de la ciudad de Riobamba facilitando de esta manera brindar un servicio de internet a toda la ciudad ya que las funcionalidades de la tecnología WIMAX permite que la cobertura se la realice a grandes distancias.
- El estudio de mercado permite determinar que la demanda de acceso a internet es alta actualmente en la ciudad de Riobamba y que la mayoría de personas consultadas buscan adquirirlo para uso personal.
- La factibilidad de la implementación y despliegue de una red inalámbrica WIMAX por parte de la empresa FASTNET en la ciudad de Riobamba es altamente rentable puesto que el estudio realizado expone que hay una alta demanda por tener acceso a internet además de que esta tecnología ofrece grandes funcionalidades comparadas con otras técnicas de acceso a internet.

- La simulación mediante la herramienta Radio Mobile permite diagramar la cobertura del sistema, teniendo en cuenta las especificaciones de cada equipo usado para la posible implementación del mismo y concluyendo mediante los valores obtenidos que el sistema en si es aplicable y que llena las expectativas de cobertura previstas para la tecnología WIMAX.
  
- WIMAX es una solución tecnológica que resulta barata y de fácil acceso que permitirá a los usuarios potenciales dentro de la ciudad de Riobamba tener un servicio de altas prestaciones; además de permitir el desarrollo empresarial, de instituciones, desarrollo intelectual y estar al día con los avances tecnológicos.
  
- La simulación de cobertura de la red ha determinar la factibilidad de la implementación de esta solución con tecnología WIMAX permitiendo observar y determinar los valores de cobertura en la ciudad de Riobamba a la vez concluyendo que la implementación será posible realizarla puesto que los valores presentados en la simulación están dentro de los parámetros establecidos y necesarios.

## RECOMENDACIONES

- Una vez comprobado que existe demanda para este tipo de servicios en la ciudad de Riobamba se recomienda que se implemente en lo posible puesto que brinda grandes prestaciones y es muy rentable.
  
- Se recomienda utilizar los equipos sugeridos en este estudio ya que la simulación del enlace y cobertura del mismo se lo realizó en base a las especificaciones técnicas de los mismos.

## RESUMEN

Se desea estudiar y diseñar una red inalámbrica con tecnología WIMAX para la ciudad de Riobamba, buscando mejorar la conectividad del acceso a Internet; para una posible implementación en el área de cobertura de FASTNET Cía. Ltda. empresa ubicada en esta ciudad.

WIMAX es una tecnología Inalámbrica cuyo medio de propagación es el aire porque trabaja con enlaces microondas para su comunicación. En el cerro Puchalím (parroquia urbana Yaruquíes) con 3007 m. de altura se ha ubicado la estación base como punto de acceso principal de este diseño; se construirá una torre de 30 m. para instalar las antenas de transmisión puesto que desde este cerro se obtiene una vista panorámica de toda la ciudad facilitando así la comunicación entre la estación base y el usuario final en donde se encuentra los equipos de recepción de la señal.

El diseño de red se lo ha realizado en base a un análisis completo de la topografía de Riobamba utilizando GPS (Sistema de Posicionamiento Global), determinando el área de cobertura con el software Radio Mobile para verificar el alcance global del mismo, llegando a la conclusión que este diseño logrará cubrir un área total de más de 15 km. distancia suficiente para brindar un acceso a Internet de alta calidad a la ciudad.

Por tal motivo se sugiere a la empresa FASTNET implemente el proyecto en la ciudad de Riobamba para dar una mejor cobertura al acceso a Internet.

## SUMMARY

The present work has to do with the realization of a study for the possible implementation of WIMAX technology for the area of covering of FASTNET Cia. Ltda. Than understands the city of Riobamba.

WiMAX is a wireless technology which is spread through the air because it works with microwave links for communication. In the hill Puchalím (Yaruquies) to 3007 m. altitude has located the base station as the main access point for this design, will construct a tower of 30 m. to install transmitting antennas from this hill because you get a panoramic view across the city facilitating communication between the base station and end user where the equipment is receiving the signal.

The network design has made it based on a thorough analysis of the topography of Riobamba using GPS (Global Positioning System), determining the coverage area with Radio Mobile software to verify the global reach of it, concluding that this design will achieve cover a total area of over 15 km. sufficient distance to provide Internet access to high quality of the city.

Therefore it is suggested to implement the project FASTNET company in the city of Riobamba to give better coverage of Internet access.

# ANEXOS

# ANEXO 1

Mapa Catastral de la Ciudad de  
Riobamba

# ANEXO 2

Distribución predial de la ciudad de  
Riobamba por Zonas

# ANEXO 3

Datos obtenidos mediante Muestreo

Aleatorio Estratificado

# ANEXO 4

Encuesta

# ANEXO 5

Tabla de los Valores Cuartiles de la  
Distribución Chi-Cuadrado

# ANEXO 6

Especificaciones Técnicas

Motorola WAP 400

# ANEXO 7

Especificaciones Técnicas

Motorola CPEi 600

# ANEXO 8

Especificaciones Técnicas

Motorola CPo 450

# ANEXO 9

Especificaciones Técnicas  
BreezeNet 100 (ALVARION)