



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“Diseño de una red WIMAX para la ciudad de Azogues”

**Trabajo de graduación previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electrónico**

Autor:

Claudio René Contreras Vallejo

Director:

Leonel Pérez Rodríguez

Cuenca – Ecuador

2012

 05/01/12

Design of a WIMAX network for Azogues city

Abstract

In order to design the wireless network topology and WIMAX technology coverage to be installed in the Azogues city a topography and offered services studies were carried out based on studies results and supporting software package "Radio Mobile" the designed network was simulated in two senses: coverage zones and backhaul links. As a final result an efficient ready to be installed design was achieved.

Key Words

Wireless, simulated, coverage zones, backhaul links


Ing. Leonel Pérez Rodríguez
Director

Claudio Contreras Vallejo
Autor

Ing. Néstor Bernal
Revisor

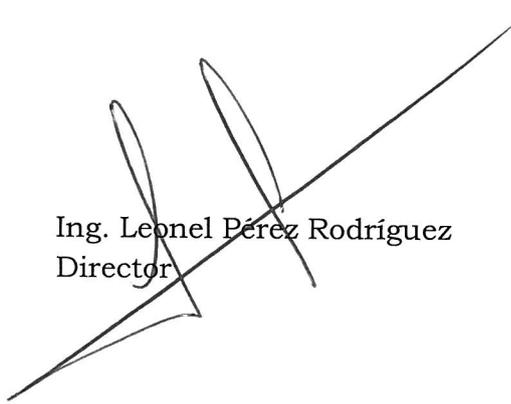
Diseño de una red WIMAX para la ciudad de Azogues

Resumen

Con el objetivo de diseñar la topología de red inalámbrica y las zonas de cobertura con la tecnología WIMAX para ser instaladas en la ciudad de Azogues. Además basándose en los resultados de los estudios de la topografía y los servicios ofertados se llevó a cabo la simulación de la red en dos sentidos; las zonas de cobertura y los enlaces de backhaul apoyándose en el paquete de software "Radio Mobile". Como resultado final se logró un eficiente diseño listo para ser instalado.

Palabras Clave

Topología, zonas de cobertura, enlaces backhaul.



Ing. Leonel Pérez Rodríguez
Director

Claudio Contreras Vallejo
Autor

Ing. Néstor Bernal
Revisor

ÍNDICE DE CONTENIDOS**Pág.**

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
Introducción	1

CAPÍTULO 1_FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TECNOLOGÍA WIMAX

1.1	Introducción.....	2
1.2	WIMAX.....	3
1.2.1	Características Técnicas	3
1.2.2	Componentes de una red WIMAX	4
1.2.3	Revisión de los Estándares IEEE 802.16x.....	4
1.3	Capa física	5
1.3.1	Características	5
1.3.2	Topología de Red Punto-Multipunto.....	6
1.3.3	Arquitectura de la capa física.....	7
1.4	Capa MAC (<i>Media Access Control</i>).....	8
1.5	Esquemas de modulación	10
1.5.1	Modulación PSK (<i>Phase Shift Keying</i>).....	11
1.5.2	Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM).....	12
1.5.3	Modulación OFDM.....	13
1.6	Modulación Adaptativa	16
1.7	Técnicas de Duplexación.....	16
1.8	Técnica de acceso al medio.....	18
1.9	Banda de frecuencia-frecuencia de trabajo.....	18
1.10	Propagación.....	19
1.11	Calidad de servicio (QoS).....	20
1.12	Seguridad.....	21
1.13	Compatibilidad	22

CAPÍTULO 2 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES OFRECIDOS ACTUALMENTE EN LA CIUDAD DE AZOGUES

2.1	Introducción.....	23
2.2	Servicios de telecomunicaciones cableados	23
2.2.1	PSTN (Public Switched Telephone Network).....	23
2.2.2	ADSL (<i>Digital Subscriber Line</i>).....	24
2.2.3	FHC (Red Híbrida Fibra-Coaxial) o cable modem.....	26
2.3	Servicios de telecomunicaciones inalámbricos.....	28
2.3.1	Wi-Fi.....	28
2.3.2	Telefonía móvil	30

CAPÍTULO 3 DISEÑO DE LA RED WIMAX

3.1	Introducción.....	33
3.2	Tasa de crecimiento de abonados de internet.....	33
3.3	Determinación de lugares estratégicos.....	35
3.4	<i>Radio Mobile</i>	36
3.5	Distribución de frecuencia	36
3.6	<i>Backhaul</i>	37
3.6.1	Enlace Amapungo-Abuga	39
3.6.2	Enlace Amapungo-Toray	40
3.6.3	Enlace Toray-Javier Loyola	41
3.7	Topología de la red.....	43
3.8	Diagramas de cobertura de las radiobases	45
3.8.2	Radiobase Abuga.....	45
3.8.2	Radiobase Toray.	47
3.8.3	Radio Base Javier Loyola.	48
3.8.4	Diagrama de la cobertura total.....	49

CAPÍTULO 4 ESTIMACIÓN DE COSTOS EN EQUIPOS PARA LA RED

4.1	Introducción.....	50
4.2	WIMAX Forum.....	50
4.3	Empresas proveedoras de equipos WIMAX.....	51
4.4	Selección del proveedor.....	51

4.5	Airspan Networks inc.....	52
3.6.1	Netspan	53
4.5.2	Estación Base HiperMAX	54
4.5.3	Equipo del Usuario (CPE)	54
	ProSt WiFi	54
	EasyST.....	55
4.6	Costos de equipos WIMAX.....	56
4.7	Aproximado del costo total de la red.	57
	CONCLUSIONES	60
	RECOMENDACIONES.....	63
	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Resumen de los estándares 802.16.....	5
Tabla 1.2 Características y Beneficios de la Capa Física.....	6
Tabla 1.3 Métodos de Modulación.....	10
Tabla 1.4 Alcances versus ancho de banda.....	19
Tabla 3.1 Crecimiento de usuarios de internet en Cañar.....	34
Tabla 3.2. Coordenadas de puntos estratégicos para las estaciones base.....	35
Tabla 3.3 distribución de frecuencia en los enlaces y <i>Backhaul</i>	36
Tabla 4.1 Costos aproximados de quipos Airspan y otros rubros.....	56
Tabla 4.2. Equipos de otras marcas.....	57
Tabla 4.3. Aproximación de costos para los equipos de la red.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Componentes de una red WIMAX. BS (Base Station) y SS (Subscriber Station).....	4
Figura 1.2 Arquitectura Punto-Multipunto del estándar IEEE 802.16-2004.....	7
Figura 1.3 Modelo de una BS (<i>Base Station</i>).....	8
Figura 1.4 Formato trama MAC WIMAX.....	9
Figura 1.5 Esquema de modulación BPSK.....	11
Figura 1.6 Ortogonalidad subportadoras OFDM.....	14
Figura. 1.7 OFDM Vs. Portadora Simple.....	15
Figura. 1.8 Señales Recibidas Portadora Simple y OFDM. El área de puntos representa el espectro transmitido. El área sólida es la entrada del receptor..	15
Figura 1.9 Radio de Celda Relativo para Modulación Adaptativa.....	16
Figura 1.10 Trama TDD.....	17
Figura 1.11 Distribución del Uso del Espectro con FDD y TDD.....	18
Figura. 1.12 Zona de Fresnel con LOS.....	19
Figura. 1.13 Propagación NLOS.....	20
Figura 2.1 Esquema básico de una conexión ADSL.....	25
Figura 2.2 Diagrama de la arquitectura de una red FHC.....	27
Figura 3.1 Cuentas y Usuarios de Internet en el Ecuador.....	34
Figura 3.2 Estructura del <i>Backhaul</i> de la Red	38
Figura 3.3 Configuración del enlace Amapungo-Abuga.....	39

Figura 3.4 Simulación del enlace Amapungo-Abuga.....	39
Figura 3.5 Configuración del enlace Amapungo-Toray.....	40
Figura 3.6 Resultado de simular el enlace Amapungo-Toray.....	41
Figura 3.7 Configuración para el enlace Toray-Javier Loyola.....	41
Figura 3.8 Perfil topográfico del enlace Toray-Javier Loyola.....	42
Figura 3.9 <i>Backhaul</i> de la red en google earth.....	43
Figura 3.10 Topología de red para la ciudad de Azogues.....	44
Figura 3.11 Área de cobertura y el nivel de potencia de la señal emitida BS Abuga.....	46
Figura 3.12 Zona de cobertura de la estación base Toray.....	47
Figura 3.13 Área de cobertura de la estación base Javier Loyola.....	48
Figura 3.14 Cobertura total de la red WIMAX en Azogues.....	49
Figura 4.1 Instalación del equipo ProST-WiFi.....	55
Figura 4.2 Instalación del equipo EasyST.....	55
Figura 4.3 Configuración típica red WIMAX con equipos Airspan.....	56
Figura 4.4 Requerimientos de un nodo secundario.....	57
Figura 4.5 Requerimientos del nodo principal.....	58

Claudio René Contreras Vallejo

Trabajo de graduación

Ing. Leonel Pérez Rodríguez

Enero del 2012

Diseño de una red WIMAX para la ciudad de Azogues

Introducción

El creciente interés a nuevos servicios de telecomunicaciones con mayores velocidades dio paso al desarrollo de nuevas tecnologías inalámbricas. Si hablamos de tecnologías de acceso en última milla, que soporten nuevos servicios como: datos, IPTV, VoIP, etc., con un alto rendimiento, QoS (*Quality of Service*) y un costo reducido, una de las mejores soluciones es implementar una red WIMAX.

Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), es una tecnología inalámbrica de banda ancha. El protocolo IEEE 802.16-2004 conocido como WIMAX fijo, puede alcanzar velocidades de comunicación cercanas a los 70 Mbps, operando en un rango de frecuencias de 2 a 11 GHz. A través de su red es capaz de prestar servicio a varios cientos de usuarios por canal, asegurando un gran ancho de banda. Además transporta información de diferentes tecnologías, siendo capaz de soportar múltiples servicios simultáneamente; ofreciendo calidad de servicio QoS (*Quality of Service*) que resulta adecuado para VoIP (*Voice over IP*), datos y vídeo.

Esta tecnología resulta muy adecuada para unir puntos de acceso WiFi (*Wireless Fidelity*), extendiendo así el alcance de las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. Puede funcionar en bandas licenciadas y no licenciadas, permitiendo la conectividad entre puntos fijos, móviles y portátiles.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA TECNOLOGÍA WIMAX

1.1 Introducción

Las necesidades de comunicación en la ciudad de Azogues requieren soluciones tecnológicas que permita suplir la demanda de grandes anchos de banda y nuevas aplicaciones. Dado que la ciudad presenta un perfil geográfico bastante accidentado resulta apropiado el uso de la tecnología inalámbrica WIMAX fijo o el protocolo IEEE 802.16-2004; ya que es capaz de cubrir áreas extensas con el uso de antenas direccionales, que permite la conexión sin línea vista (*None Line Of Sight*).

El sistema es capaz de transmitir datos a una tasa de hasta 70 Mbps, que dará soporte a un gran número de usuarios, con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz. Su rango de frecuencias opera de 2 a 11 GHz. Por medio de su red es capaz de prestar servicio a varios cientos de usuarios por canal, asegurando un gran ancho de banda. Además transportar información de diferentes tecnologías, siendo capaz de soportar múltiples servicios a la vez; ofreciendo calidad de servicio QoS (*Quality of Service*), compatibilidad y seguridad.

1.2 WIMAX

Los estándares 802.16-2004 e HiperMAN desarrollados por el IEEE y el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones respetivamente fundamentaron lo que se conoce como WIMAX (*World Wide Interoperability for Microwave Access*) diseñado para brindar soluciones inalámbricas de transmisión de información en un área metropolitana MAN (*Metropolitan Area Network*).

1.2.1 Características Técnicas

WIMAX puede alcanzar velocidades de comunicación cercanas a 70 Mbps por canal, con un ancho de banda de 28 MHz en la banda de 2 a 11 GHz. Está basada en la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con 256 subportadoras. Esto hace que cubra un área aproximada de 48 Km², permitiendo conexiones sin línea de vista NLOS (*None Line Of sight*) y soportar niveles de servicio SLAs (*Service Level Agreement*) con excelente calidad de servicio (QoS).

Soporta múltiples servicios simultáneos, tráfico continuo y a ráfagas; lo que resulta adecuado para voz (VoIP), datos y video. Dado que la voz y el video requieren baja latencia pero soportan bien la pérdida de algún bit. Mientras que las aplicaciones de datos deben estar libres de errores, pero toleran bien el retardo. Presenta técnicas de modulación adaptativa dependiendo de las condiciones de la relación señal a ruido SNR (*Signal to Noise Ratio*), por lo tanto es una red segura. Puesto que incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante algoritmos Triple DES (*Data Encryption Standard*) de 128 bits y RSA (*Rivest. Shamir. Adelman*. Algoritmo de encriptación de clave) con 1.024 bits.

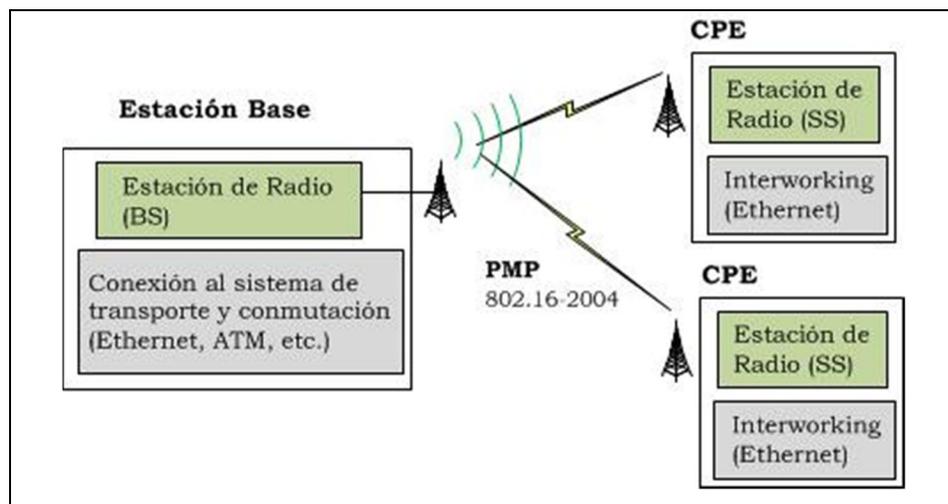
1.2.2 Componentes de una red WIMAX

Básicamente se pueden mencionar dos tipos de elementos que conforman estas redes:

- ✓ El equipo de usuario o CPE (*Customer Premises Equipment*), que incorpora las funciones de las SS (*Subscriber Station*) y proporciona la conectividad vía radio con la estación base (BS).
- ✓ La estación base (*Base Station*), es la encargada de proporcionar conectividad, control y gestión con las SS.

En la figura 1.1 se identifican estos dos elementos así como las posibles configuraciones de conectividad entre ellas.

Figura 1.1. Componentes de una red WIMAX. BS (Base Station) y SS (Subscriber Station)



1.2.3 Revisión de los Estándares IEEE 802.16x

A continuación la tabla 1.1 muestra la familia de estándares 802.16x, con sus respectivas características principales.

Estándar	Características
802.16 (2001)	10 – 60 GHz, Modulación QAM, LOS, Punto a Punto
802.16a (2003)	2 – 11 GHz, OFDM y OFDMA, NLOS
802.16b,c	Interoperabilidad y especificaciones de certificaciones
802.16d (2004)	Añade 2 – 11 GHz a la especificación de interoperabilidad, LOS
802.16-(2004)	Reemplaza y utiliza las principales características de 802.16, 802.16a y 802.16d
802.16e (2005)	2 – 6 GHz, Movilidad

Tabla 1.1 Resumen de los estándares 802.16

1.3 Capa física

El modelo OSI (*Open System Interconnection*) define a la capa física como la encargada de las conexiones físicas. A través de diferentes medios requeridos para transportar los bits de datos, entre cada extremo físico del enlace de comunicación. Es por ello que se encarga de transformar una trama de datos proveniente del nivel de enlace, en una señal adecuada para el medio físico utilizado en la transmisión. Por otro lado, cuando se está en el modo de recepción de bits el trabajo es inverso, ya que se encarga de transformar la señal transmitida en tramas de datos binarios que serán entregados al nivel de enlace.

1.3.1 Características

La capa física presenta varias características, que le permiten obtener a WIMAX la robustez suficiente para trabajar en ambientes con canales de banda ancha. En la tabla 1.2 se indican las características más interesantes con sus respectivos beneficios.

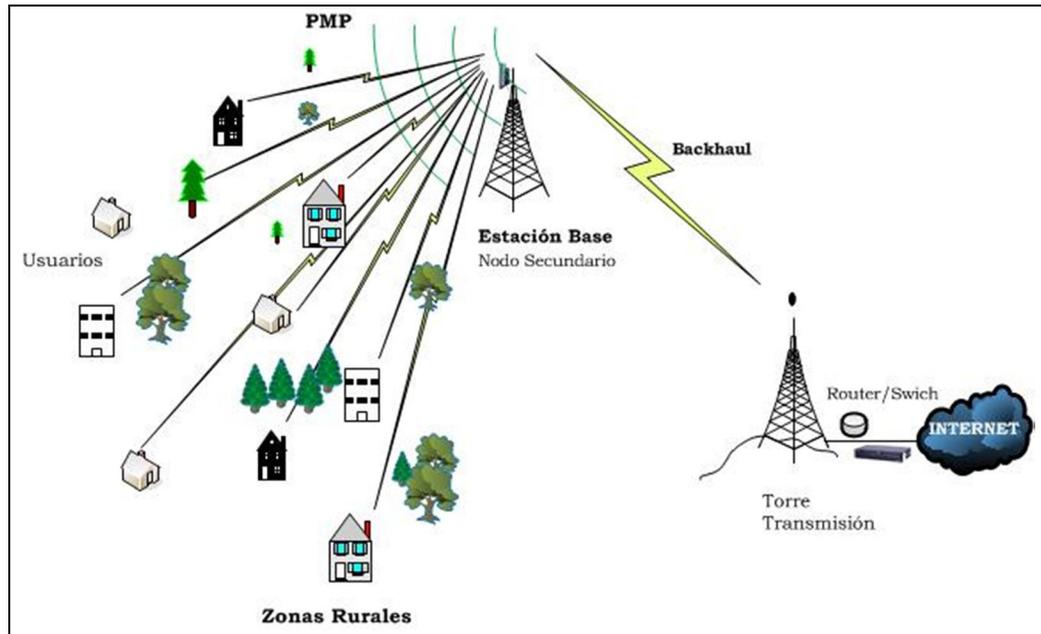
Características	Beneficio
OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>) Señal con 256 subportadoras	Soporta direccionamiento multitrayectoria en ambientes LOS y NLOS externos.
TDD (<i>Time division duplexing</i>) y FDD (<i>Frequency division duplexing</i>) Técnicas de duplexación	Selección variable dependiendo de la compatibilidad permitida.
DFS (<i>Dynamic Frequency Selection</i>) Selección dinámica de frecuencia	Codificación espacio-tiempo para mejorar el desvanecimiento mediante diversidad espacial.
AAS (<i>Adaptive Antenna System</i>) Sistemas de antenas inteligentes	Suprime la interferencia, consigue una eficiencia espectral de 5 bps/Hz, (doble que WiFi).
Modulación adaptiva y corrección de errores variable mediante RF	Asegura un robusto enlace de RF mientras maximiza la velocidad efectiva para cada suscriptor.
Ancho del canal flexible (3.5MHz, 5MHz, 10 MHz)	Provee flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencia dependiendo del lugar de operación.

Tabla 1.2 Características y Beneficios de la Capa Física

1.3.2 Topología de Red Punto-Multipunto

La topología de una red WIMAX punto-multipunto, se compone básicamente por una estación base BS (*Base Station*) y una o varias estaciones suscriptoras SS (*Subscriber Station*). El DL (*Down Link*) se maneja mediante una estación base (BS) centralizada y una antena sectorizada capaz de manejar varias zonas simultáneamente. Las transmisiones en el enlace de bajada DL suelen ser broadcast, de forma que todas las estaciones de usuario reciben toda la información y escogen la que vaya dirigida a ellos. En el enlace de subida UL (*Up Link*) las estaciones de usuario comparten el canal mediante mecanismos de gestión de demanda.

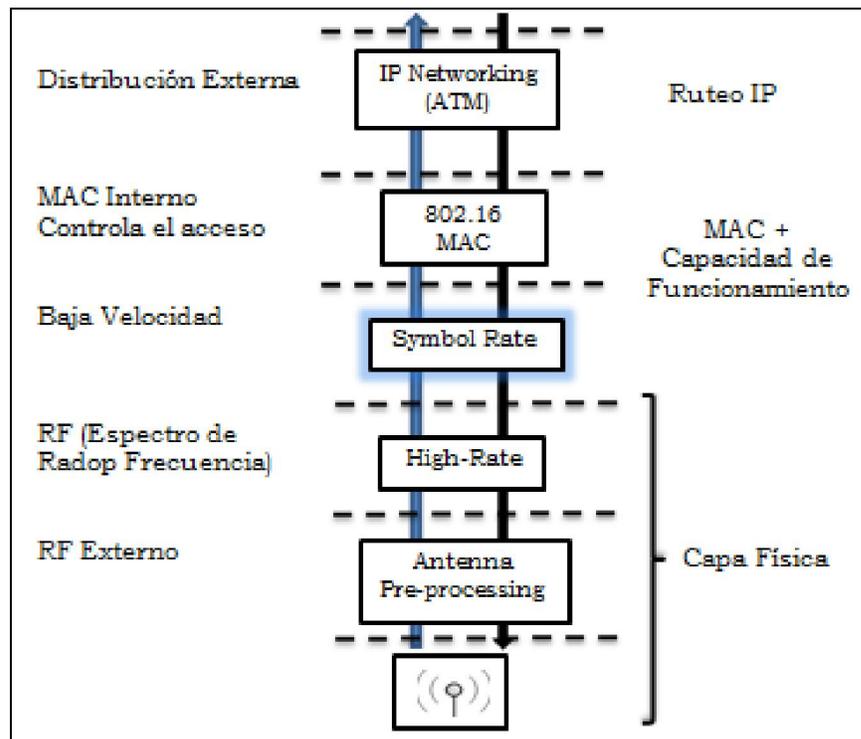
Figura 1.2. Arquitectura Punto-Multipunto del estándar IEEE 802.16-2004.



En la figura 1.2 se puede observar una red típica punto-multipunto (PMP), hay una Estación Base (BS) central, con antenas sectoriales; que se comunica con múltiples estaciones de abonado (SS).

1.3.3 Arquitectura de la capa física

La BS y las estaciones suscriptoras (SS) se comunican por medio de un protocolo y estructuras de datos, teniendo como punto de referencia la comunicación entre la 802.16 MAC (*Media Access Control Address*) y 802.16 OFDM PHY (*Physical Layer*). Cuando una BS se comunica con una o más SSs mediante un procesador PHY (capa física) y un procesador MAC (capa de red) se conoce como BS única, pero al tener la comunicación entre BS y una o más SSs mediante varios procesadores PHY y un procesador MAC a ello se le llama BS múltiple. La figura 1.3 muestra un modelo de referencia en el cual “*Symbol Rate*” representa el interfaz entre las capas MAC y la PHY.

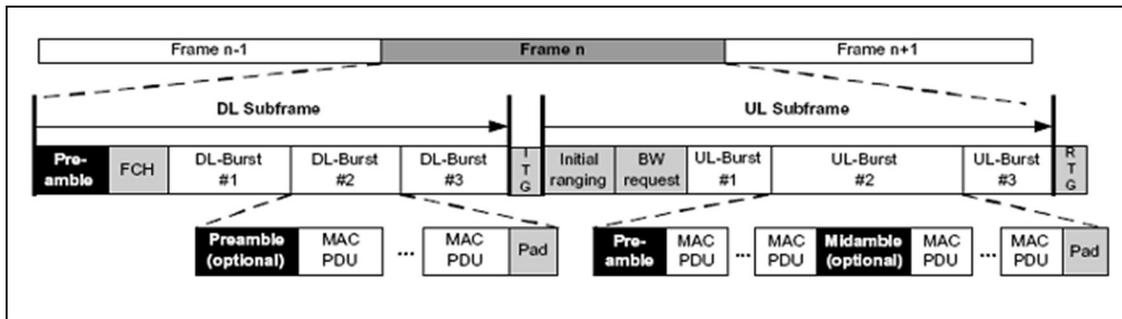
Figura 1.3 Modelo de una BS (*Base Station*)

1.4 Capa MAC (*Media Access Control*)

El protocolo está optimizado para configuraciones punto-multipunto, donde varias estaciones luchan por acceder a una estación base (BS). La capa MAC está orientada a conexión y centralizada, a cada servicio se le asocia una o más conexiones. Las estaciones sólo compiten por el medio hasta entrar en la red. La estación base (BS) asigna un bloque (de tamaño variable en el tiempo) a cada conexión de acuerdo con un planificador que diferencia las distintas conexiones.

Esta capa provee el acceso al sistema, el ancho de banda a proporcionar, el establecimiento de conexión y el mantenimiento de la misma. Recibe los datos de flujos de varios suscriptores (SSs) a los cuales se les asigna un CID (*Connection ID*) y los clasifica según este identificador que es único para cada conexión. Estos CID se asignan al suscriptor y cuando un flujo termina se le desasocia para poder ser reutilizado.

Figura 1.4 Formato trama MAC WIMAX



Fuente: Antonio González Gamero/Carlos González Rojas. Construcción de un modelo de nodo híbrido de red inalámbrica WiMAX - Red Óptica Pasiva (PON) Trabajo de Titulación (Ingeniería técnica de Telecomunicaciones). Universidad Politécnica de Catalunya, 2009

En una topología punto-multipunto, la transmisión se hace a través de tramas con longitudes fijas cada cierto periodo de tiempo (5ms). En la figura 1.4 se ejemplifica una trama clásica de la capa MAC. Como se puede observar la trama se divide en subtramas de DL (*Down Link*) y UL (*Up Link*), donde cada una tiene diferentes tamaños. La de bajada es precedida por un preámbulo. Los tiempos de guarda van entre 0 y 100 us. Las estaciones base utilizan una parte variable de la subcapa de bajada para transmitir las PDU MAC (*Protocol Data Unit-Media Access Control address*) a los diferentes terminales, para comunicar cómo se reparte la subtrama de UP entre otras configuraciones.

La siguiente cabecera de control de trama FCH (*Frame Control Header*) contiene el prefijo DL y ocupa un símbolo OFDM. Este prefijo (DFLP) especifica la localización así como la modulación y la codificación sobre los 4 DLs siguientes al FCH. La subtrama UL contiene campos de un rango inicial y de petición de ancho de banda de diferentes transmisiones que provienen de los diferentes suscriptores. El rango inicial permite a un terminal entrar al sistema reportando los CIDs básicos; ajustando el nivel de potencia, frecuencia y corrigiendo su offset.

El campo ancho de banda se utiliza en los terminales para transmitir la petición de ancho de banda. La MAC PDU está formada por una cabecera de 6 a 13 bytes, un *payload* variable y 4 bytes de redundancia CRC (*Cyclical*

Redundancy Checking) opcionales. El control de los mensajes MAC se hace a partir del campo CRC. El tamaño de la cabecera contiene ciertos campos de control y si se utiliza ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) los paquetes podrían ser fragmentados. Las terminales introducen sus datos de usuario en las PDU MAC localizadas en su espacio reservado de la subcapa de subida de la trama. Cada una de estas subtramas de usuario tiene un preámbulo opcional.

1.5 Esquemas de modulación

Modulación es el proceso que permite que una señal portadora sea capaz de transportar el mensaje (señal moduladora) de un lugar a otro, adaptando la señal trasladada al canal de transmisión para obtener un mejor aprovechamiento del mismo y proteger la señal del ruido. Existen tres diferentes parámetros que se pueden modificar en una señal para modularla: amplitud, tiempo y fase. La tabla 1.3 menciona la clasificación de la modulación por onda continua dentro de la cual se categoriza la modulación por amplitud, frecuencia y fase.

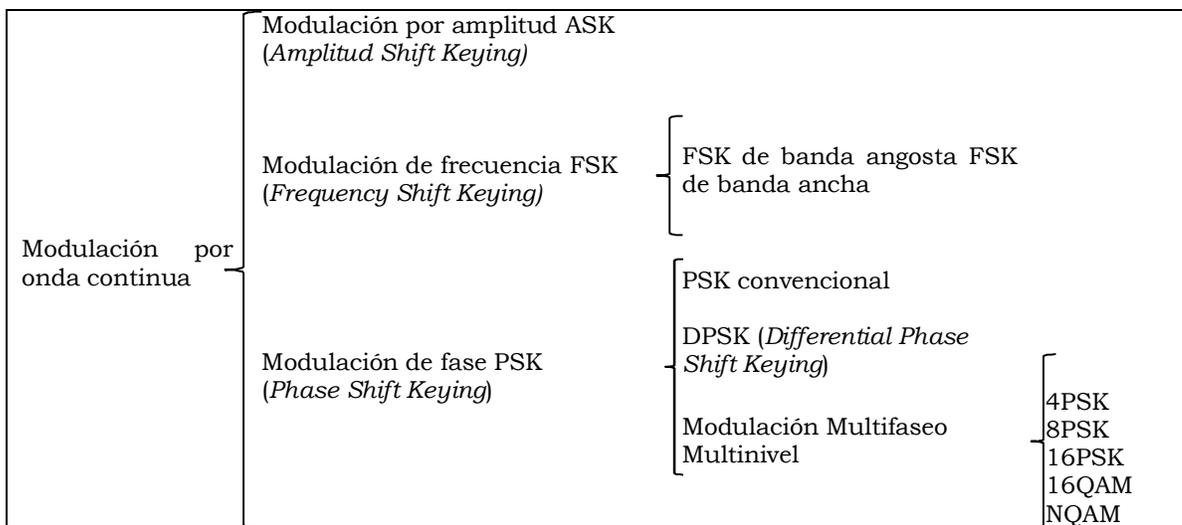


Tabla 1.3 Métodos de Modulación.

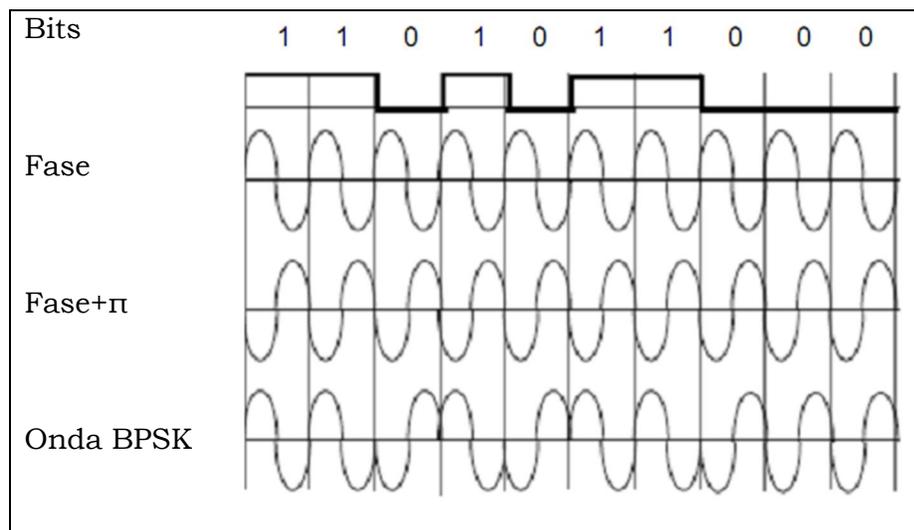
1.5.1 Modulación PSK (*Phase Shift Keying*)

En la modulación PSK, la fase de la portadora es la que cambia de acuerdo a la señal de datos, en tanto que, la amplitud de la portadora modulada se mantiene constante. Constituye un tipo de modulación angular muy eficiente. Se tienen dos esquemas de modulación PSK, según como se den los cambios en la fase de la portadora modulada.

Modulación BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) o 2-PSK

La modulación PSK binaria se denomina BPSK, consiste en codificar los valores binarios como cambios de fase de la señal portadora. En este caso se tienen dos fases diferentes ($M = 2$), asignándose una de ellas al 1" y la otra al 0". La separación entre fases adyacentes es de 180 grados, pues $\Delta\Theta = 2\pi/M = \pi$. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida (señal modulada) se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. En el dominio del tiempo la portadora modulada para el caso BPSK se vería como lo muestra la figura 1.5.

Figura 1.5. Esquema de modulación BPSK



La relación entre la velocidad de modulación (V_m en baudios) y la velocidad de transmisión (V_t en bps) para BPSK es:

$$V_m = \frac{V_t}{\log_2 M} = V_t$$

Modulación QPSK o 4-PSK

Quadrature Phase Shift Keying, modula la señal enviándola en cuatro fases ($M=4$): 45, 135, 225, y 315 grados, y el cambio de fase de un símbolo al siguiente codifica dos bits por símbolo, pues $\Delta\Theta = 2\pi / M = \pi / 2$. De tal manera que cada dibit (2 bits) diferente genera una de las cuatro fases posibles. Consecuentemente, para cada dibit que entra a un modulador QPSK, ocurre un cambio de fase en la salida del modulador. Así que, la relación entre la velocidad de modulación V_m y la velocidad de transmisión V_t en QPSK será:

$$V_m \text{ (baudios)} = \frac{V_t}{\log_2 M} = \frac{V_t}{2}$$

Modulación 8-PSK y 16-PSK

Se requieren 8 y 16 fases diferentes en cada caso, separadas 45 y 22,5 grados respectivamente. Para 8-PSK la velocidad de modulación es $V_t/3$; mientras que para 16-PSK V_m es igual a $V_t/4$. Por consiguiente, el ancho de banda de las señales moduladas se reducirá las mismas proporciones.

1.5.2 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura QAM (*Quadrature amplitude modulation*), es una modulación lineal que consiste en modular en doble banda lateral dos portadoras de la misma frecuencia desfasadas 90°. Cada portadora es modulada por una de las dos señales a transmitir. Finalmente las dos

modulaciones se suman y la señal resultante es transmitida. Este tipo de modulación tiene la ventaja de que ofrece la posibilidad de transmitir dos señales en la misma frecuencia, de forma que favorece el aprovechamiento del ancho de banda disponible. Tiene como inconveniente que es necesario realizar la demodulación con demoduladores síncronos. La expresión matemática de la señal modulada QAM puede expresarse de la siguiente forma:

$$s(t) = r_i \cdot \cos(W_c t + \theta_i)$$

Donde se observa que efectivamente r_i está asociado con los cambios en la amplitud de la portadora modulada, en tanto que θ_i está asociado con los cambios en fase de la portadora modulada. Es posible considerar a la modulación QAM como una expresión de la modulación PSK, donde las señales en banda base son generadas independientemente, en consecuencia se establecen dos canales (I y Q) en cuadratura completamente independientes. Si se tienen dos niveles en cada canal (I y Q) se tendría el caso de una señal 4-QAM que sería idéntico al caso 4-PSK. Sin embargo, los sistemas QAM de mayor orden ($M > 4$) son diferentes a los sistemas de múltiples fases PSK. La modulación QAM da una tasa de error BER (*Bit Error Ratio*) menor que la PSK para la misma relación S/N.

16-QAM.-En esta modulación se tiene 4 fases y 4 amplitudes, de esta forma se consiguen 16 símbolos.

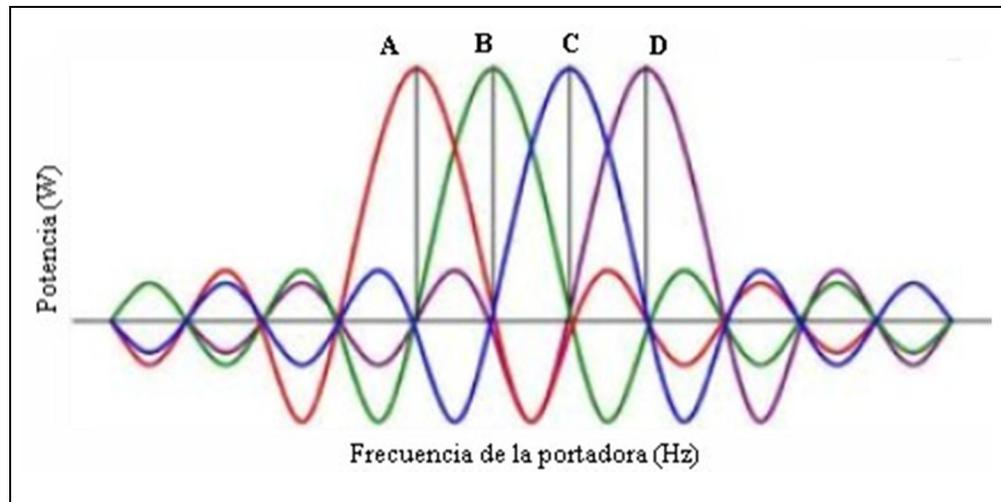
64-QAM.-Esta es una modulación en la que se tienen 4 fases y 16 amplitudes, con lo que se obtienen 64 símbolos.

1.5.3 Modulación OFDM

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) permitió el desarrollo del protocolo IEEE 802.16. La modulación OFDM posee muchas ventajas frente a otras modulaciones previas a esta, además permite en redes inalámbricas la transmisión de forma eficiente en pequeños anchos de banda. Esta modulación divide la señal de banda ancha en un número de señales de

banda reducida. En FDM (*Frequency Division Multiplexing*) convencional, los canales adyacentes están muy distanciados. Para poder traslapar los canales se debe reducir la interferencia entre los subcanales adyacentes, requiriendo la ortogonalidad, como se puede observar en la figura 1.6.

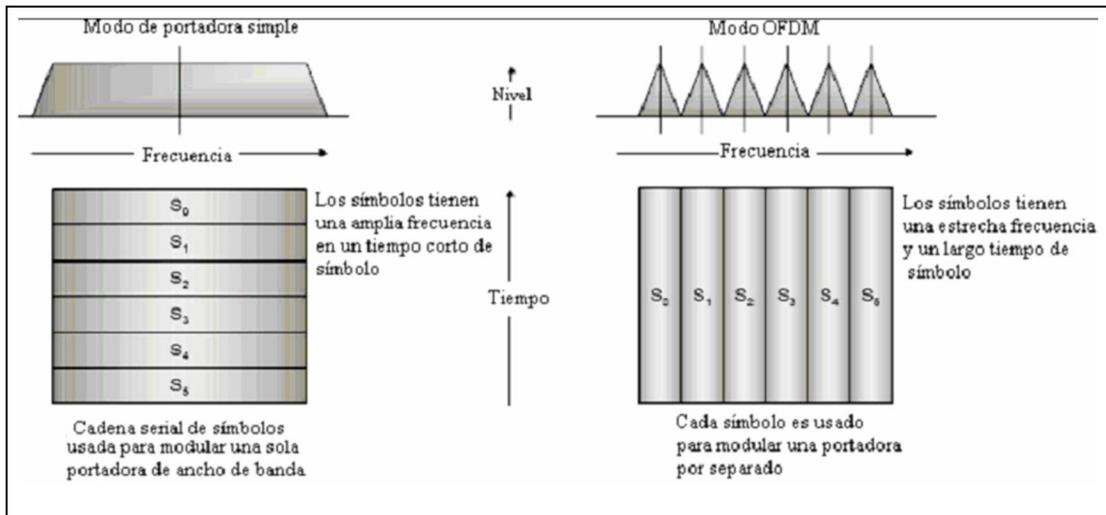
Figura 1.6. Ortogonalidad subportadoras OFDM



Fuente: V. VARGAS, Cesar, E. LOPEZ, Wilson and F. DA ROCHA, Carlos. Sistemas de Comunicación Inalámbrica MIMO - OFDM. *RevActaNova.*, 2007, vol.3, no.4, p.750-760. ISSN 1683-0789

Cuando se produce la máxima respuesta espectral de cada subportadora el resto de respuestas espectrales de subportadoras son cero. Entonces a cada símbolo PSK o QAM se le asigna una subportadora y una implementación DFT (*Discrete Fourier Transform*) y el inverso (IDFT) con lo que se logra obtener una señal de dominio en el tiempo. La forma de onda WIMAX OFDM permite la operación en entornos con un gran retardo de dispersión que caracteriza a los ambientes NLOS. Debido a los símbolos de tiempo OFDM y al uso de los prefijos cíclicos. En la señal OFDM el fading selectivo es localizado en subportadoras que son relativamente fáciles de equalizar. En la figura 1.7 se compara una señal OFDM y una señal de portadora simple, en las cuales la información es enviada en paralelo por OFDM y en serie por la portadora simple.

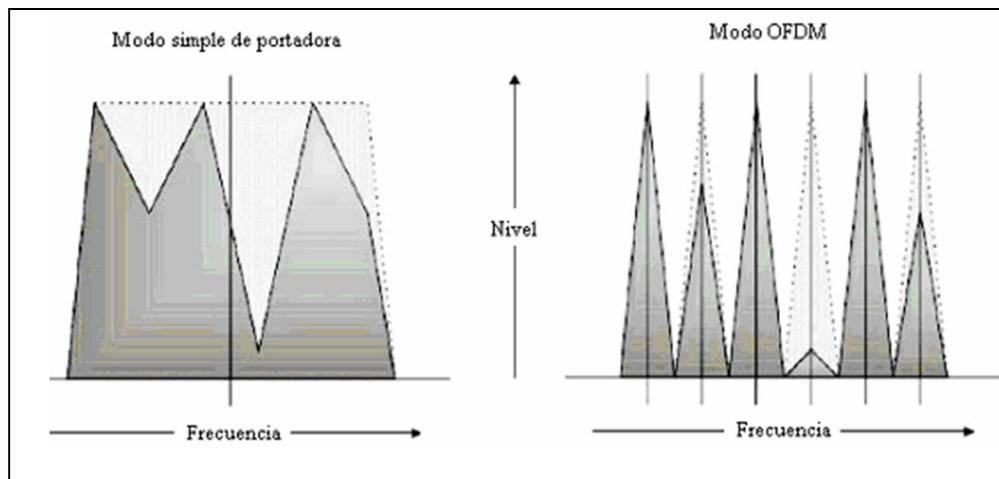
Figura. 1.7. OFDM Vs. Portadora Simple



Fuente: Carlos Sánchez Sierra. Diseño e implementación con DSP de un modulador WiMAX. Trabajo de Titulación (Ingeniería técnica de Telecomunicaciones). Universidad Politécnica de Catalunya, 2007

Entre las principales ventajas de OFDM se encuentran: el superar de forma eficaz la dispersión de retardo, el efecto multicamino, la ISI (*Intersymbol Interference*) además evita la complejidad de la ecualización adaptativa. Lo que permite tener mayores tasas de transferencias y la ecualización de portadoras individuales de OFDM, de manera más sencilla que al ecualizar una señal de portadora simple más extensa como se observa en la figura 1.8.

Figura. 1.8. Señales Recibidas Portadora Simple y OFDM. El área de puntos representa el espectro transmitido. El área sólida es la entrada del receptor.



Fuente: Carlos Sánchez Sierra. Diseño e implementación con DSP de un modulador WiMAX. Trabajo de Titulación (Ingeniería técnica de Telecomunicaciones). Universidad Politécnica de Catalunya, 2007

1.6 Modulación Adaptativa

La técnica de modulación adaptativa consiste en ajustar una señal de información a un esquema de modulación más robusto en comparación del que está utilizando, de acuerdo al comportamiento de la señal en un canal de comunicación. WIMAX utiliza 9 esquemas de modulación diferentes, con distintas características de eficiencia espectral. Entre las principales tenemos BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, y 256 QAM. Como resultado de usar esta técnica se obtiene una señal con menor tasa de bits errados y mayor velocidad de transmisión, la figura 1.9 representa un ejemplo de cómo trabajaría la modulación adaptativa en función de la distancia.

Figura 1.9. Radio de Celda Relativo para Modulación Adaptativa



1.7 Técnicas de Duplexación

El estándar WIMAX soporta FDD (*Frequency Division Duplexing*) y TDD (*Time Division Duplexing*) para permitir la interoperabilidad con los sistemas celulares y otros sistemas inalámbricos.

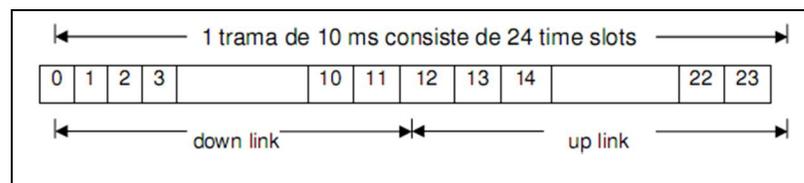
Duplexación por División de Frecuencia (FDD)

El duplexado por división de frecuencia (FDD) es cuando a cada usuario se le proporciona dos bandas de frecuencias distintas. En el FDD, cada canal duplex consiste en realidad de dos canales simplex. En cada receptor se usa un aparato especial llamado duplexor, que también se usa en la estación base, para permitir la transmisión y recepción simultáneas en cada canal duplex.

Duplexación por División de Tiempo (TDD)

TDD se consigue subdividiendo cada trama en 24 intervalos de tiempo (*time slots*), 12 de los cuales son usados para el *Down Link* y 12 para el *Up Link*. Cada trama dura 10 ms suministrando una velocidad promedio de 100 tramas duplex por segundo. Cada intervalo contiene 392 bits de datos, con 320 bits usados para información y 64 bits para chequeo de errores y control, como se aprecia en la figura 1.10.

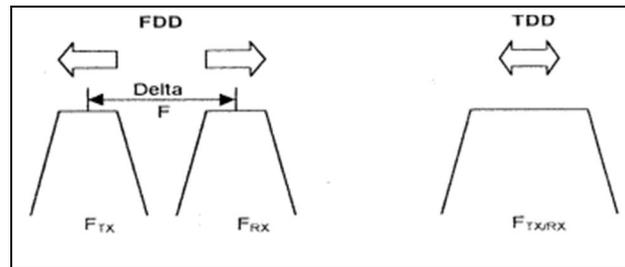
Figura 1.10 Trama TDD



Ventajas de TDD y FDD

Cuando se utiliza TDD el ancho de banda a ocupar se lo establece, mientras el ciclo de trabajo transmisor/receptor varía en el tiempo. Con FDD, el ancho de banda es variable y el ciclo de trabajo transmisor/receptor es fijo. Tanto TDD como FDD consumen una cantidad de espectro equivalente para una velocidad efectiva dada.

Figura 1.11 Distribución del Uso del Espectro con FDD y TDD



La figura 1.11 muestra dos ventajas de utilizar TDD:

- ✓ No se requiere un espacio mínimo de separación entre las bandas de transmisión y de recepción. Es decir, no se pierde capacidad en la separación transmisor-receptor (banda de guarda utilizada en FDD).
- ✓ En FDD el número de frecuencias requeridas para la reutilización es dos (una para transmitir y otra para recibir). TDD entonces, ofrece mayor reutilización de frecuencia que FDD.

1.8 Técnica de acceso al medio

TDMA (*Time Division Multiple Access*)

Acceso Múltiple por División de Tiempo permite soportar a múltiples usuarios al mismo tiempo que comparten una mancomunidad de canales de radio, de forma que cualquiera de ellos puede acceder a cualquier canal. Cada portadora o trozo de espectro se divide en pequeños periodos de tiempo o micro segmentos llamados “*time slots*”, de forma que a cada usuario se le asigna en cada momento un time slot, lo que permite multiplicar el número de usuarios.

1.9 Banda de frecuencia-frecuencia de trabajo

WIMAX utiliza la banda del espectro más estrecha de 2-11 GHz, facilitando su regulación. En este rango existen frecuencias licenciadas como: 3,5 y 10,5GHz además de frecuencias libres como: 2,4 GHz y 5,725-5,825 GHz. El

condicionante al utilizar las frecuencias bajas de este rango es el alcance, mientras que al utilizar las frecuencias altas existirían posibles problemas de interferencia. De acuerdo con la frecuencia y las antenas utilizadas se obtiene la cobertura, es por esto que se considera la incorporación antenas adaptivas con modulaciones flexibles que permitan intercambiar ancho de banda por alcance. La tabla 1.4 nos da una visión del alcance y ancho de banda para diferentes tipos de propagación de las ondas de radio.

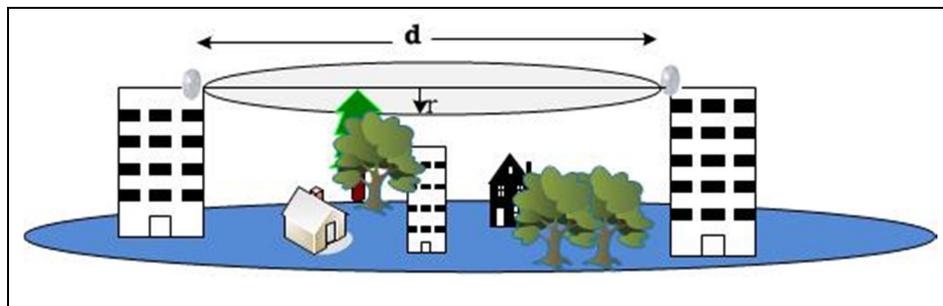
Entorno	Tamaño celda	Rendimiento
Urbanos en interiores (NLOS)	1 Km.	21 Mbps con canales 10 MHz
Suburbanos en interiores (NLOS)	2.5 Km.	22 Mbps con canales 10 MHz
Suburbanos en exteriores (NLOS)	7 Km.	22 Mbps con canales 10 MHz
Rurales en interiores (NLOS)	5 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5 MHz
Rurales en exteriores (LOS)	15 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5 MHz

Tabla 1.4 Alcances versus ancho de banda.

1.10 Propagación

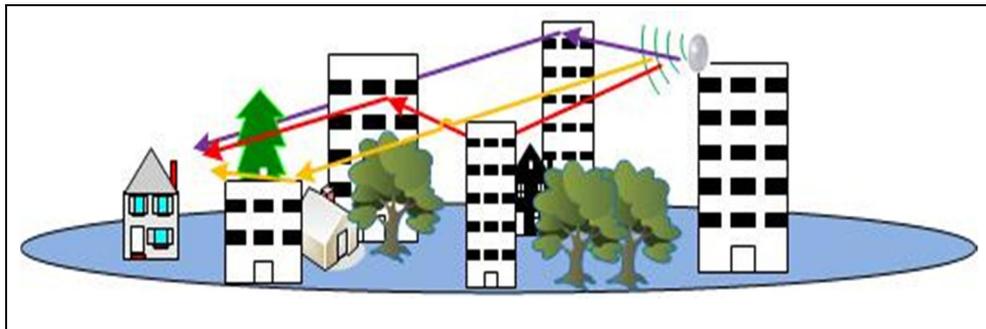
El canal de radio de un sistema de comunicación inalámbrico puede ser de dos tipos: LOS o NLOS. En enlace LOS, la señal viaja por un camino directo que no posee obstrucciones entre el transmisor y el receptor; en este tipo de enlace se requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel esté libre de cualquier obstrucción, como se puede ver en la figura 1.12. Al no tomarse en cuenta dicha consideración se produce una reducción en relación al nivel de intensidad de la señal recibida.

Figura. 1.12. Zona de Fresnel con LOS



Mientras que en un enlace NLOS, la señal alcanza al receptor por medio de diferentes formas de propagación (reflexiones, difracciones y dispersiones) como se observa en la figura 1.13. La señal que llega al receptor resulta de la formación de diferentes señales que llegan a través de las anteriores formas de propagación. Dichas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y la estabilidad es relativa, frente a la señal directa.

Figura. 1.13. Propagación NLOS



El desvanecimiento generado por el multitrayecto (*multipath*) provoca el cambio de polarización de la señal en los enlaces NLOS, dificultando el rehúso de frecuencias. A pesar de ello existen ventajas como, la disminución de la altura de las antenas, forzando a las estaciones base a operar en condiciones de NLOS.

1.11 Calidad de servicio (QoS)

Para entregar calidad de servicio, además de otros parámetros como *throughput*, latencia, retardo. Esta tecnología se maneja con cinco tipos de QoS:

- ✓ UGS (*Unsolicited Grant Service*). - Servicio garantizado sin solicitud, para servicios en tiempo real que generan paquetes de tamaño fijo de forma periódica
- ✓ R-TPS (*Real-Time Polling Service*). - Servicio en tiempo real por votación, para servicios de tiempo real que generan paquetes de tamaño variable de forma periódica.

- ✓ ER-TPS (*Extended Real-Time Polling Service*). - Servicio en tiempo real por votación extendido, propio del estándar IEEE 802.16e.
- ✓ NR-TPS (*Non-Real-Time Polling Service*). - Servicio de votación para aplicaciones en tiempo no real.
- ✓ BE (*Best Effort Service*). - Los terminales envían peticiones y esperan a que la estación base les permita transmitir, dispone con recursos sobrantes.

Corrección de errores

Es una técnica usada por los receptores para corregir errores incurridos en transmisiones, sin requerir que el transmisor realice retransmisiones de información. Se logra mediante un algoritmo simple donde el transmisor inserta suficiente información redundante en el campo de datos, permitiendo al receptor detectar y corregir errores; sin embargo la utilización de esta técnica reduce la eficiencia de la utilización del ancho de banda del canal. WIMAX utiliza la codificación convolucional y un sistema Reed-Solomon FEC.

1.12 Seguridad

Las medidas de seguridad de WIMAX incluyen la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES (*Data Encryption Standard*) con 128 bits y RSA (*Rivest, Shamir, Adelman*, Algoritmo de encriptación de clave) de 1.024 bits. El algoritmo DES, cifra bloques de 64 bits con una clave de 56 bits más 8 de paridad y el algoritmo de descifrado es muy similar, facilitando su implementación en hardware y software.

El mayor inconveniente que presenta este algoritmo es que la longitud de la clave (56 bits) es muy corta, por lo que no es utilizado para cifrar datos importantes. Para solucionar dicho inconveniente surge el algoritmo Triple DES, que utiliza tres veces DES. Adicionalmente se utiliza el sistema de encriptación con clave pública RSA, el cual es un algoritmo de encriptación con clave pública protegido por patente. El funcionamiento del RSA consiste en

hacer pública la clave de cifrado y ocultar la clave de descifrado. Al enviar un mensaje, el emisor busca la clave pública de cifrado del receptor y al llegar al receptor dicho mensaje, éste se encarga de descifrarlo usando su clave oculta.

Los mensajes enviados son representados a través de números y su funcionamiento consiste en el producto de dos números primos muy altos (mayores que 10100) que se eligen al azar y con ello conformar la clave de descifrado. La seguridad de RSA se debe a que no existe forma rápida para factorizar un número grande en factores primos empleando las computadoras tradicionales.

1.13 Compatibilidad

WIMAX con su tecnología portadora es capaz de transportar IP, TDM, T1/E1, ATM, *Frame Relay* y voz. Está pensado principalmente como tecnología de última milla, pero se puede usar para enlaces de acceso MAN o incluso WAN. La conectividad transparente requiere movilidad y compatibilidad con transiciones homogéneas y heterogéneas. Las transiciones heterogéneas incluyen el paso por diferentes redes tales como WLAN, WIMAX y redes celulares. Las transiciones homogéneas incluyen el paso por medio de puntos de conexión tales como puntos de acceso a WLAN (WiFi) o estaciones base WIMAX, dentro de la misma red. En el caso de transiciones homogéneas en un ambiente WLAN (WiFi), el primer paso es que la plataforma móvil reconozca de forma inteligente el ambiente inalámbrico inmediato del usuario y que seleccione automáticamente el mejor punto de acceso AP (*Access Point*) disponible. En el segundo paso, es designar recursos de calidad del servicio QoS y computar las asociaciones de seguridad, antes o durante el intervalo de reasociación.

CAPÍTULO 2

SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES OFRECIDOS ACTUALMENTE EN LA CIUDAD DE AZOGUES

2.1 Introducción

En este capítulo se intentan exponer de forma general, los servicios de telecomunicaciones implementados en la ciudad de Azogues. Dichos servicios que se prestan actualmente, pueden utilizar tecnologías cableadas e inalámbricas con estándares establecidos. Según la Súper Intendencia de Telecomunicaciones del Ecuador (SUPERTEL), en estos días las tecnologías más comunes son las que constituyen redes de banda ancha.

Orientándonos principalmente a redes de acceso se puede decir que; existen servicios a través de la red conmutada (PSTN) por línea telefónica (*Dial Up*), pero actualmente coexisten con otras tecnologías que permiten un gran ancho de banda como son: ADSL que permite aprovechar de manera más eficiente el bucle de abonado existente, las redes HFC (*Red Híbrida Fibra-Coaxial*) presentes en las redes de televisión por cable. Además de los radioenlaces de microondas (WiFi) y las redes de telefonía móvil, en el caso de tecnologías inalámbricas.

2.2 Servicios de telecomunicaciones cableados

2.2.1 PSTN (Public Switched Telephone Network)

Este tipo de servicio es proporcionado por Redes Telefónicas Públicas Conmutadas conocidas en inglés como PSTN. Esta red apareció únicamente

prestando el servicio de Voz, ágilmente el estándar ITU-T V.90/V.92. Certificó la capacidad de transmisión de datos a una capacidad teórica de 56 Kbps. En la tecnología PSTN, los terminales se comunican con una central de conmutación a través de un solo canal compartido por la señal del micrófono y del auricular. La voz se transmite en banda base, es decir sin modulación.

La estructura del sistema telefónico puede considerarse como un conjunto de dispositivos físicos para suministrar el servicio de conmutación telefónica, el proceso de conexión y desconexión se incorporan funciones imprescindibles como: conmutación, señalización y transmisión. La función de conmutación comprende la identificación y conexión de los abonados a una trayectoria de comunicación adecuada. La función de señalización es un complejo proceso que se encarga del suministro e interpretación de señales de control y supervisión, necesarias para la conmutación. Utiliza el protocolo SS7 (*Signalling System 7*) con excelentes resultados. Gracias a estos procesos se consigue ejecutar la transmisión por medio del canal.

Dial Up

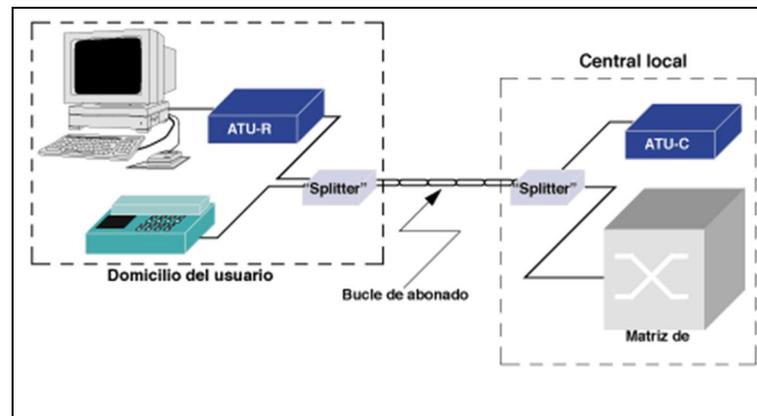
El servicio Dial-up permite acceder al servicio Internet a través de una línea telefónica analógica y un módem. A su vez está formada por otras redes más pequeñas. Con la posibilidad de transferir datos de una máquina a cualquier otra en la red. Esto se logra cuando su módem llama al servidor de su ISP (*Internet Service Provider*) y le atiende un módem que le provee la conexión de internet.

2.2.2 ADSL (*Digital Subscriber Line*)

La tecnología DSL, es una solución avanzada que utiliza las líneas telefónicas existentes, para transportar de forma conjunta voz y datos con una alta velocidad. Modula a un rango de frecuencias superiores, esto multiplexa servicios activos en un mismo instante, sin complicaciones, ya que trabajan en rangos de frecuencia distintos. Con ADSL se consiguen velocidades *Dawn Link*

de 1,5 Mbps sobre distancias de 5-6 Km, y de 9 Mbps para distancias de 3 Km. Las velocidades máximas de *Up Link* van de 16-640 Kbps, sobre los mismos tramos. La velocidad real depende de la calidad de la línea de cobre. Para un usuario común el volumen de información recibido es mucho mayor que el enviado. Es por esto que, en *Asymmetric DSL* el canal de recepción tiene mayor velocidad que el canal de envío de datos, debido a que trabaja con módems diferentes situados en la central y en casa del usuario. En la figura 2.1 vemos un esquema de una conexión simple con ADSL.

Figura 2.1. Esquema básico de una conexión ADSL



Con este par de módems se crean tres canales de información: uno descendente a alta velocidad, otro ascendente dúplex a velocidad media, y el del servicio telefónico básico o POTS. Éste último, es separado del módem digital mediante filtros (*splitters*), garantizando así la continuidad del servicio telefónico ante una caída o fallo de dicho módem. En la central del operador los módems suelen estar dispuestos en bastidores, y se conectan a la red Internet o a otras redes de datos mediante un enlace Ethernet, un router o un conmutador ATM.

Para soportar múltiples canales sobre la misma línea de abonado, los módems ADSL dividen el ancho de banda disponible de la línea telefónica mediante FDM (*Frequency Division Multiplexing*) y TDM (*Time Division Multiplexing*), complementadas con la cancelación de eco para evitar interferencias. Mediante

FDM se asigna una banda del canal de datos ascendente y otra banda para el descendente, y éstas son a su vez divididas mediante TDM en uno o más subcanales.

Evolución de la red de acceso

Los nuevos estándares del ADSL han conseguido espectaculares velocidades de transferencia, teniendo en cuenta el medio físico por el que circulan. En concreto los módems son capaces de transmitir a 8,192Mbps *Dawn Link* y 0,928 Mbps en *Up Link*. Con estas cifras el despliegue de esta tecnología supone una auténtica revolución en la red de acceso, dado que pasan de ser, a ser redes de banda ancha multiservicio.

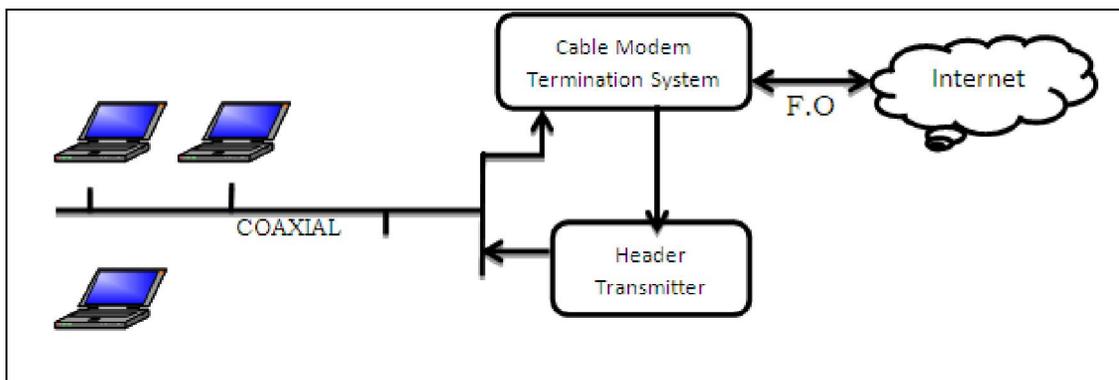
Hace pocos años surgió el ADSL2+ es una nueva tecnología de acceso a Internet de alta velocidad, debido a sus características, proporciona un mayor Ancho de Banda al cable telefónico. Este incremento se traduce en una mayor velocidad de transmisión de la información, pudiendo alcanzar hasta 20 Mbps en *Dawn Link* 1 Mbps en Up Link teóricamente. ADSL2+ permite adaptar la velocidad de transmisión dinámicamente, es decir, en función del volumen de ruido e interferencias que pudiera haber en la línea del cliente, esta tecnología ajusta la velocidad de la transmisión sin causar cortes y sin necesidad de reiniciar el módem o el router.

2.2.3 FHC (Red Híbrida Fibra-Coaxial) o cable modem

La tecnología de comunicación FHC, utiliza redes de cable coaxial que vienen reguladas por normativas generadas por comités como el IEEE 802.14 entre otros. Están diseñados sobre las especificaciones de protocolos en Capas Física y MAC (*Media Access Control*). Para implementar redes bidireccionales que reciben el nombre de redes HFC. Las especificaciones de la Capa Física definen características eléctricas del cable, tales como: técnicas de modulación, tasas y frecuencias usadas. También describen varias operaciones de calidad en el sistema final de la capa física, como: perturbaciones, corrección de errores adelantada FEC (*Forward Error Correction*), sincronización de rangos y time.

Estas redes constituyen una plataforma tecnológica de banda ancha que permite el despliegue de todo tipo de servicios de telecomunicación. Además de la distribución de señales de TV analógica y digital, el acceso de alta velocidad a redes de datos mediante cable módems (*splitter*). Por lo visto, esta red es capaz de ofrecer servicio de telefonía fija incrementado el interés de los abonados. A continuación la figura 2.2 ilustra un diagrama básico de la arquitectura de una red FHC.

Figura 2.2. Diagrama de la arquitectura de una red FHC.



En su forma más simple una red FHC se compone de:

- ✓ CMTS (*Cable Modem Termination System*).-Dispositivo central utilizado para efectuar la conexión entre la red de televisión por cable y la red de datos.
- ✓ CM (*Cable Modem*).-Dispositivo del lado cliente encargado de entregar los datos del usuario a la red HFC.
- ✓ Head End: Punto central de distribución para la red HCF donde normalmente se encuentra ubicado el CMTS. Diferentes señales son recibidas aquí, para transformarse en canales apropiados.

Este tipo de conexión que utiliza la red de distribución HFC puede transmitir en el rango entre 3 a 50 Mbps. La distancia de la conexión podría alcanzar los 100 Km, dado que ubica el haz *Downstream Data* (datos enviados desde el

Internet al computador del usuario) en un canal de 6 MHz del cable y el *Upstream Data* (datos enviados desde el usuario hacia el Internet), ocupa un espacio menor a 2 MHz. Finalmente cada canal se envía a través de una fracción del ancho de banda disponible del cable y ocupa 6 MHz. En algunos sistemas, el cable coaxial es el único medio usado para distribuir señales. Otros sistemas son híbridos, es decir tienen tramos o anillos interconectados con cables de fibra óptica que es convertida en cable coaxial al momento de realizar la distribución a los hogares.

2.3 Servicios de telecomunicaciones inalámbricos

2.3.1 Wi-Fi

Wi-Fi, es el estándar IEEE 802.11, que surgió de una modificación del estándar IEEE 802.3 Ethernet, en la capa física y capa MAC. Es decir; la diferencia única entre Wi-Fi y una red Ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN) de cable 802.3 (Ethernet). Existen diversos tipos de Wi-Fi, basado cada uno de ellos en una optimización diferente al estándar IEEE802.11 aprobado y son los siguientes:

- ✓ Los estándares IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n son preferidos en casi todo el mundo, debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible en muchos países, con una velocidad teórica de hasta 11 Mbps , 54 Mbps y 300 Mbps, respectivamente.
- ✓ Actualmente el estándar IEEE 802.11a; conocido como WiFi5, disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios ya que opera en la banda de 5 GHz.

Dado que es una tecnología inalámbrica no está exenta vulnerabilidades, es por esto que existen varias alternativas para garantizar la su seguridad. Las más comunes son la utilización de protocolos de cifrado de datos como: el WEP

(*Wired Equivalent Privacy*), el WPA (*Wi-Fi Protected Access*), o el WPA2 (*Wi-Fi Protected Access2*) que codifican la información transmitida para proteger su confidencialidad, estas seguridades son proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos. Las formas de protección son las siguientes:

- ✓ WEP.-Cifra los datos en su red de forma que sólo el destinatario deseado pueda acceder a ellos. Los cifrados de 64 y 128 bits son dos niveles de seguridad. A la vez de codificar los datos mediante una clave de cifrado antes de enviarlo al aire.
- ✓ WPA.-Es un tipo de seguridad optimizado, como generación dinámica de la clave de acceso. Las claves se insertan como de dígitos alfanuméricos y sin restricción de longitud.
- ✓ IPSEC (*Internet Protocol Security*).-En el caso de las VPN (*Virtual Private Network*) y el conjunto de estándares IEEE 802.1X, permiten la autenticación y autorización de usuarios.
- ✓ Filtrado de MAC.-De manera que sólo se permite acceso a la red a aquellos dispositivos autorizados.
- ✓ El protocolo WPA2 (estándar 802.11i), que es una mejora relativa a WPA. En principio es el protocolo de seguridad más seguro para Wi-Fi en este momento. Sin embargo requieren hardware y software compatibles.

Las redes Wi-Fi presentan un gran número de ventajas, entre las cuales podemos destacar:

- ✓ Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas.
- ✓ Una vez configuradas, las redes Wi-Fi permiten el acceso de múltiples ordenadores sin ningún problema sin gasto en infraestructura complementaria.
- ✓ La Wi-Fi Alliance asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca Wi-Fi es total, con lo que en cualquier parte del mundo podremos utilizar la tecnología Wi-Fi con una compatibilidad total.

Puesto que es una red inalámbrica, la tecnología Wi-Fi presenta una desventaja significativa en el campo de la seguridad. Existen programas capaces de capturar paquetes, trabajando con su tarjeta Wi-Fi en modo combinado, de forma que puedan calcular la contraseña de la red y de esta forma acceder a ella. Sobre todo en las claves de tipo WEP que son relativamente fáciles de conseguir con este sistema. La Wi-Fi arregló algunos de estos problemas sacando el estándar WPA y posteriormente WPA2, basados en el grupo de trabajo 802.11i. Las redes protegidas con WPA2 se consideran robustas dado que proporcionan muy buena seguridad.

2.3.2 Telefonía móvil

La primera generación de la telefonía móvil (1G), consistía en la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio y una serie de centrales telefónicas de conmutación, que posibilitaban la comunicación entre terminales portátiles. En su operación el teléfono móvil establece comunicación con una estación base, y a medida que se traslada, los sistemas que administran la red van cambiando la llamada a la siguiente estación base, en forma transparente para el usuario.

Gracias a la evolución, apareció la telefonía móvil digital, que hizo posible acceder a páginas de Internet especialmente diseñadas para móviles, conocido como tecnología WAP (*Wireless Application Protocol*). Las primeras conexiones se efectuaban mediante una llamada telefónica a un número del operador, a través de la cual se transmitían los datos de manera similar a como lo haría un módem de PC. Posteriormente la tecnología GPRS y su evolución UMTS, permiten acceder a internet a través del protocolo TCP/IP, a teléfonos móviles mediante un software adecuado. Luego aparecieron módems para PC que conectan a internet utilizando la red de telefonía móvil, consiguiendo velocidades similares a las de la ADSL.

GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM se caracterizó por ser digital y utilizar protocolos de codificación más sofisticados, conformando la segunda generación de telefonía móvil (2G). La arquitectura básica de esta tecnología distingue claramente dos partes: BSS (*Base Station Subsystem*) que está encargado de proporcionar y gestionar el interfaz radio entre las estaciones móviles y el resto del GSM y el NSS (*Network Switching Subsystem*) que debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a las redes adecuadas o a otras estaciones móviles.

El interfaz radio del GSM utiliza una combinación de FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y FH (*Frequency Hopping*). El concepto básico es que la unidad de transmisión es una serie de bits modulados, denominados ráfagas. Las ráfagas se envían en ventanas de frecuencia y tiempo que denominamos slots. Las frecuencias centrales de los slots se sitúan cada 200 KHz en la banda de frecuencias del sistema y ocurren durante 0.577ms.

Con esta unidad básica, asumiendo una sola ventana de frecuencias y TDMA el sistema de transmisión agrupa en tramas, multitramas e hipertramas, organizándose así el envío de información. Dentro de esta organización, se agrupan los distintos canales lógicos soportados en el sistema GSM para el transporte de información entre usuarios o información de control del propio sistema. De acuerdo con la información transportada, se definen dos tipos de canales lógicos: canales de control que transfieren la información de señalización y canales de tráfico que son exclusivamente para transportar la información del usuario.

GPRS (Global Packet Radio Service)

GPRS es una evolución de la red GSM; por este motivo GPRS tendrá desde sus inicios la misma cobertura que la red GSM, pero optimizando la velocidad de transferencia y ofreciendo una conexión permanente. Pudiendo combinar

hasta 8 canales para transferir datos, y cada canal puede transferir a una velocidad de 10 Kbps, aproximadamente. Los nuevos terminales GPRS cuentan con diversas prestaciones en función del número de canales que utilicen. Gracias a esto, contaremos con terminales 2 + 1 es decir; dos canales para recibir información y un canal para el envío, 3 + 1, 4 + 1, etc. Del mismo modo dichos terminales permitirán transferir datos y mantener tráfico de voz simultáneamente. El uso de nuevos terminales GPRS como módem inalámbrico disfruta de una buena aceptación, ya que se puede conectar a ordenadores portátiles o de escritorio como cualquier módem; pero evidentemente, con las ventajas de ser inalámbrico.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

El sistema universal de Telecomunicaciones Móviles es la evolución natural del GPRS. Hoy en día es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación (3G), pero no está limitada a estos dispositivos pudiendo ser utilizada por otros. Sus características son:

- ✓ Una velocidad de acceso a internet elevada, la cual también le permite transmitir audio y video en tiempo real.
- ✓ Las capacidades multimedia.
- ✓ Variedad de nuevos servicios.
- ✓ Transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas.

La principal ventaja de UMTS es el rápido acceso, sobre la segunda generación móvil (2G). Tiene la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 2 Mbps por usuario móvil. Además de introducir muchos más usuarios a la red global del sistema. La estructura de redes UMTS está compuesta por dos grandes subredes: la red de telecomunicaciones y la red de gestión. La primera es la encargada de sustentar la transmisión de información entre los extremos de una conexión. La segunda tiene como misiones la provisión de medios para la facturación y verificación de los abonados, el registro y definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de sus datos.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA RED WIMAX

3.1 Introducción

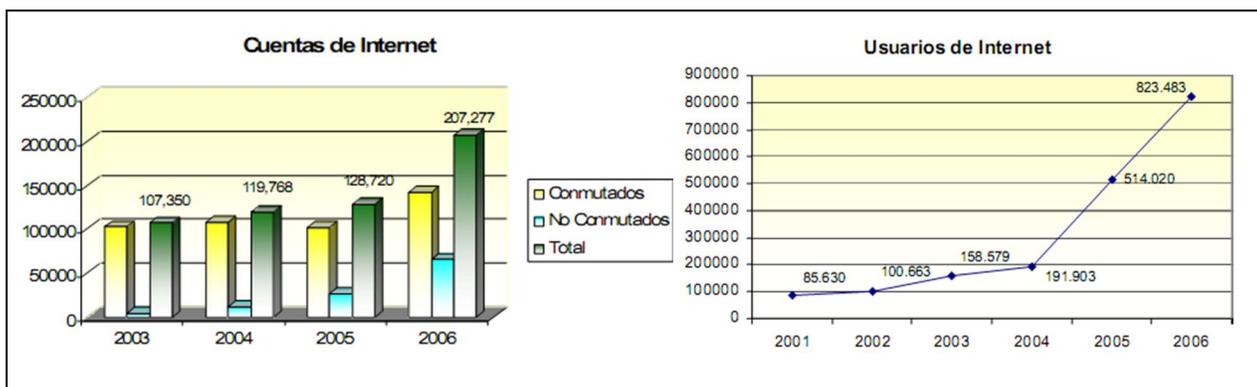
El presente capítulo considera la tasa de crecimiento de usuarios del servicio de internet en la ciudad de Azogues, que permite planificar dimensionar y diseñar la red. En primera instancia se investigó y se determinó puntos estratégicos para establecer las estaciones base. Los resultados mostraron de manera clara lo que se necesita para determinar la estructura de la red. Una vez estructurada la red fue importante definir el área de cobertura de cada estación base.

Complementario a esto se diseñará un sistema “*backhaul*” que integrará todos los nodos de la red de manera eficaz, mediante enlaces punto a punto bajo el mismo estándar. Es necesario precisar el rango de frecuencias de funcionamiento u operación. Como se dijo anteriormente existen dos tipos de banda: frecuencias licenciadas y no licenciadas (ISM). Tanto las bandas de frecuencia como los parámetros técnicos de funcionamiento de una red se deben a regulaciones asignadas por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

3.2 Tasa de crecimiento de abonados de internet

Según las últimas estadísticas de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador, el número de cuentas de Internet en los últimos años ha crecido progresivamente en todo el país, estos datos se pueden observar en la siguiente figura 3.1.

Figura 3.1 Cuentas y Usuarios de Internet en el Ecuador



Fuente: Secretaria Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador <http://www.senatel.gov.ec>

En lo que respecta a la provincia de Cañar los datos que se tienen acerca del número de usuarios del servicio, se muestran a continuación en la tabla 3.1; se puede apreciar un notable crecimiento de clientes en dicha provincia.

Tabla 3.1 Crecimiento de usuarios de internet en Cañar

DATOS DE CUENTAS Y USUARIOS DE INTERNET POR PROVINCIA							
MES:		MARZO					
AÑO:		2009					
No.	PROVINCIA	Cuentas Conmutadas	Cuentas Dedicadas	Cuentas Totales	Estimado de Usuarios Conmutados	Estimado de Usuarios Dedicados	Estimado de usuarios totales
1	Azuay	13823	4184	18007	55292	20271	75563
2	Bolivar	612	428	1040	2448	1736	4184
3	Cañar	970	297	1267	3880	2351	6231
4	Carchi	600	527	1127	2400	2125	4525
5	Chimborazo	1737	2488	4225	6948	10233	17181

DATOS DE CUENTAS Y USUARIOS DE INTERNET POR PROVINCIA							
MES:		MARZO					
AÑO:		2010					
No.	PROVINCIA	Cuentas Conmutadas	Cuentas Dedicadas	Cuentas Totales	Estimado de Usuarios Conmutados	Estimado de Usuarios Dedicados	Estimado de usuarios totales
1	Azuay	6336	11201	17537	25344	72265	97609
2	Bolivar	38	1816	1854	152	10482	10634
3	Cañar	348	1292	1640	1392	5823	7215
4	Carchi	104	1454	1558	416	6726	7142
5	Chimborazo	404	7227	7631	1406	32653	34059

Fuente: Secretaria Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador <http://www.senatel.gov.ec>

Con estos datos se estima una tasa de crecimiento cercana al 18% de posibles usuarios, la demanda del servicio tiene una clara tendencia a cuentas dedicadas. Lo que resulta beneficioso para este proyecto; ya que la tecnología WIMAX ofrece este tipo de servicio, con mayor velocidad y escalabilidad del ancho de banda ya sea en un medio doméstico o corporativo.

3.3 Determinación de lugares estratégicos

Para el desarrollo de la red resulta fundamental el reconocimiento del perfil topográfico que presenta la ciudad de Azogues. Esto será de gran ayuda para obtener en las posteriores simulaciones resultados coherentes con este tipo de tecnología. Se han determinado puntos estratégicos en los cuales se colocarán las radio bases, para esto se utilizó la tecnología conocido como GPS (*Global Positioning System*) para la obtención de las coordenadas geográficas y su altura aproximada. Con el fin de brindar cobertura a toda la ciudad. A continuación en la tabla 3.2 se presentan las coordenadas de dichos puntos.

Coordenada	Altura	Nombre
S 2°48'14,5" W 78°49'18,2"	3145,2	Amapungo (Nodo Principal)
S 2°43'17,1" W 78°49'53,2"	2926,8	Abuga (Nodo Secundario)
S 2°45'14,3" W 78°52'2,1"	2777,3	Toray (Nodo Secundario)
S 2°46'56,8" W 78°50'46,7"	2554,9	Javier Loyola (Nodo Secundario)

Tabla 3.2. Coordenadas de puntos estratégicos para las estaciones base.

Estos puntos fueron escogidos ya que tienen línea de vista directa con toda la ciudad. Este hecho resulta muy adecuado porque como ya se ha explicado la tecnología WIMAX puede trabajar sin línea de vista pero cuando ésta existe, su desempeño mejora considerablemente, con lo que se logra garantizar la cobertura total y una excelente calidad de los servicios proporcionados.

3.4 *Radio Mobile*

Para el diseño de la red inalámbrica utilizaremos el software libre *Radio Mobile*. Con el fin de evaluar el comportamiento de los diferentes parámetros y obtener la topología de red más eficiente. *Radio Mobile* permite el análisis y la simulación de sistemas de radio frecuencia. Mapas con elevaciones de terreno en forma digital se utilizarán para realizar los diferentes cálculos como: niveles de potencia recibida, cobertura, puntos de reflexión del enlace, presupuesto de potencia y la existencia de línea de vista entre dos puntos. Este software ejecuta los cálculos que permiten automatizar cualquier enlace en cualquier banda de frecuencia (HF hasta SHF), y permite observar el efecto de cambiar la ganancia de las antenas, altura de las mismas, atenuación de los cables, etc. Una vez trazado el perfil, calcula el despeje del 60% de la primera zona de Fresnel que permite una buena comunicación.

3.5 Distribución de frecuencia

Se ha seleccionado la banda 5,725 – 5,850 GHz denominadas ICM, debido a que es una banda libre y presenta mayor ancho de banda por canal hasta 10 MHz. En la tabla 3.3 se indica la distribución de frecuencia en los enlaces del *Backhaul* así como de las diferentes radiobases tomando en cuenta un ancho de banda de los canales de 10 MHz.

Frecuencia GHz	Celda/BS
F1 5.800	Enlaces para <i>Backhaul</i>
F1 5.730	Abuga
F2 5.740	
F3 5.750	Toray
F4 5.760	
F5 5.770	Javier Loyola
F6 5.780	

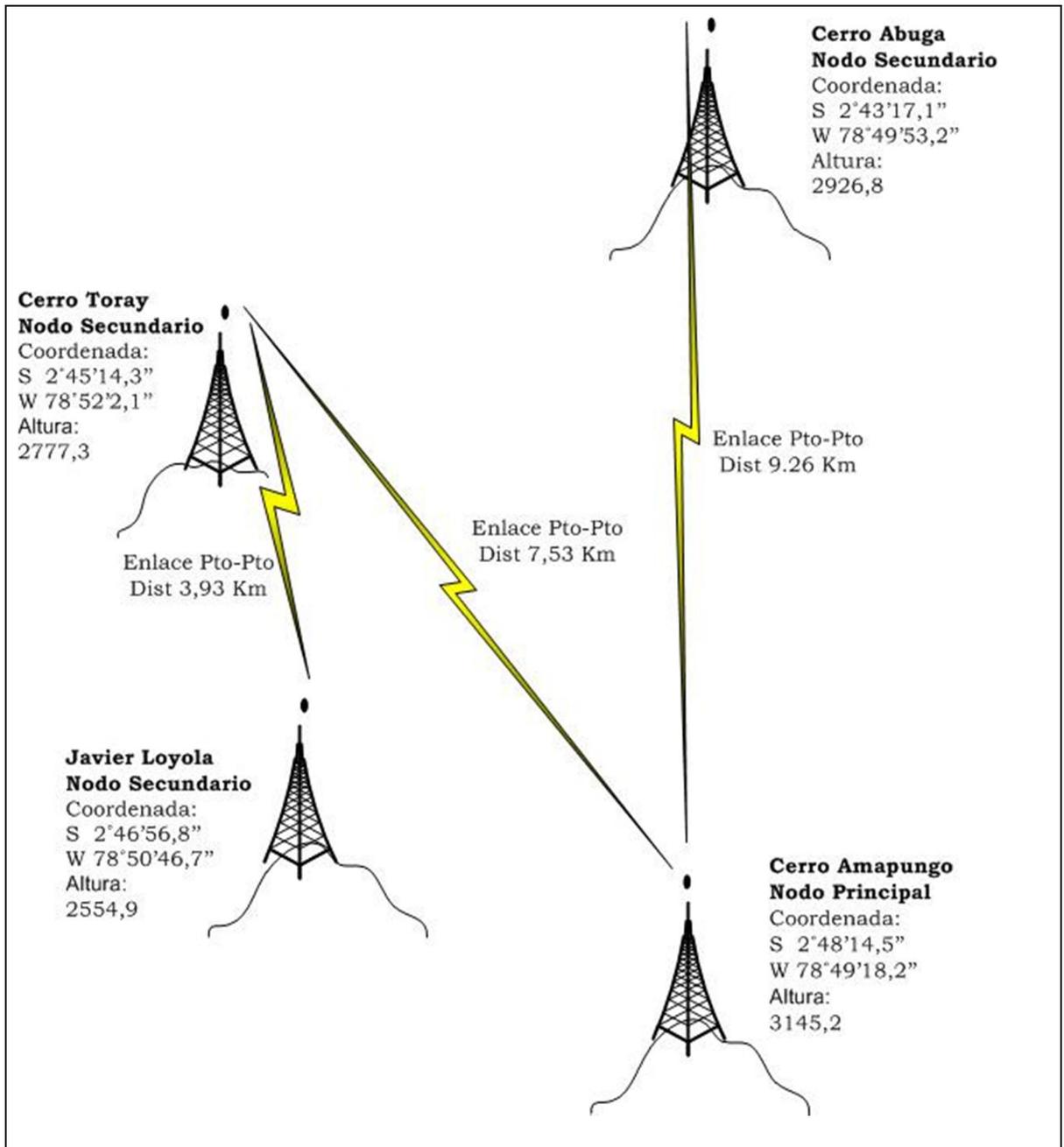
Tabla 3.3 distribución de frecuencia en los enlaces y *Backhaul*

3.6 Backhaul

Una vez que se tiene una visión clara de los diferentes sitios en los cuales se ubicarán los nodos, es necesario realizar un análisis correspondiente del *backhaul* que servirá para integrar todas las estaciones base; utilizando la misma tecnología pero con enlaces punto-punto. Varias empresas de telecomunicaciones que prestan servicios de *Carriers* o ISP (*Internet Service Provider*) tienen infraestructura en el cerro Amapungo.

De ahí que resulta conveniente para el presente proyecto disponer de un nodo principal en este lugar, cabe mencionar que los equipos de control y gestión no necesariamente tienen que estar ubicados en este nodo. Se realizará el radio enlace desde la BS (*Base Station*) situada en el nodo principal Amapungo hacia la BS ubicada en el nodo Abuga. De igual manera se realiza el enlace desde la BS Amapungo hacia la BS Toray. Y finalmente para integrar la BS Javier Loyola a la red inalámbrica, se determinó que resulta más confiable enlazarla desde la BS del nodo Toray. A continuación en la figura 3.2 se ilustra la configuración del *backhaul* de nuestra red, las estaciones base están ubicadas en los puntos previamente definidos y nos dan una clara idea de los recorridos que realizan los radio enlaces.

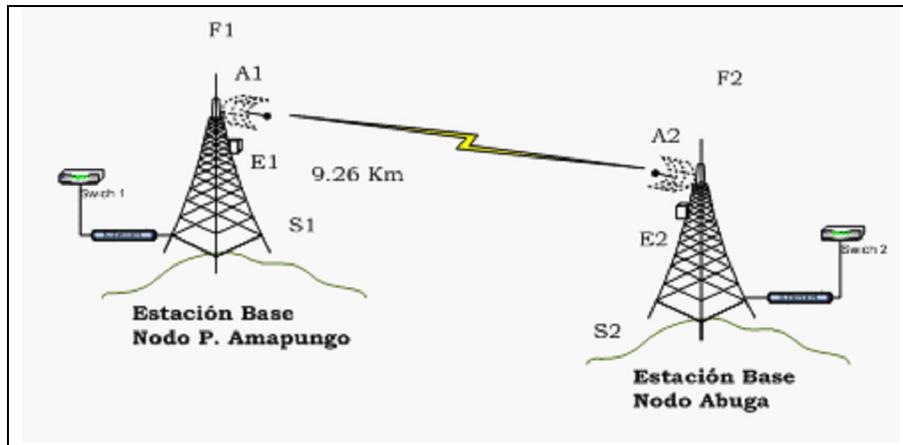
Figura 3.2 Estructura del *Backhaul* de la Red



3.6.1 Enlace Amapungo-Abuga

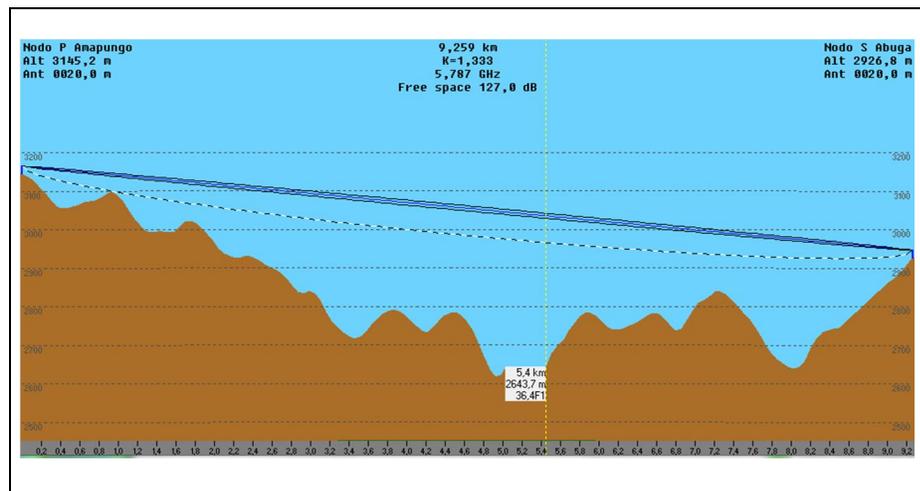
A continuación en la figura 3.3 se muestra la configuración del enlace Amapungo-Abuga.

Figura 3.3. Configuración del enlace Amapungo-Abuga



Para garantizar la eficiencia de este radio enlace se procedió a simular en el software antes mencionado (*Radio Mobile*), y el resultado de la simulación se presenta en la figura 3.4.

Figura 3.4. Simulación del enlace Amapungo-Abuga



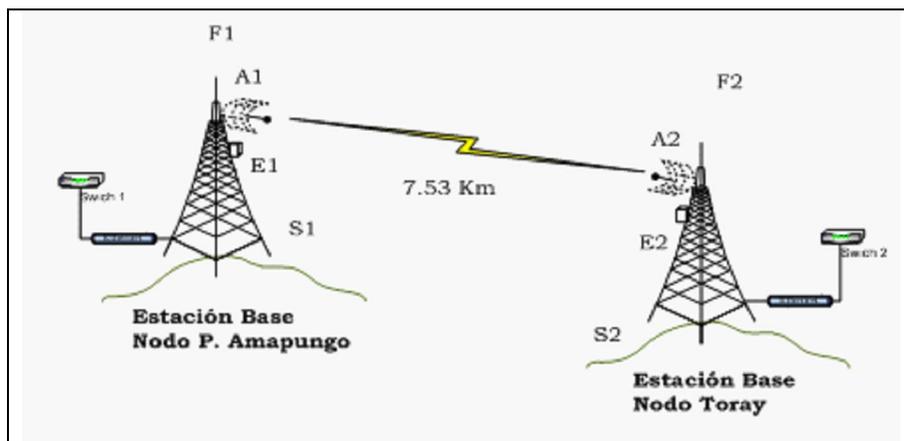
Las principales características de este radio enlace son:

Distance between Nodo S Abuga and Nodo P Amapungo is 9,2 km (5,7 miles)
 True North Azimuth = 173,3°, Magnetic North Azimuth = 174,9°, Elevation angle = 1,2906°
 Terrain elevation variation is 574,5 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 6,5F1 at 8,3km
 Average frequency is 5787,500 MHz
 Free Space = 127,0 dB, Obstruction = -1,4 dB, Urban = 6,3 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 4,1 dB
 Total propagation loss is 135,9 dB
 System gain from Nodo S Abuga to Nodo P Amapungo is 145,3 dB (yagi.ant at 173,3° gain = 19,1 dB)
 System gain from Nodo P Amapungo to Nodo S Abuga is 145,3 dB (yagi.ant at 353,3° gain = 19,1 dB)
 Worst reception is 9,4 dB over the required signal to meet
 50,000% of time, 50,000% of locations, 70,000% of situations

3.6.2 Enlace Amapungo-Toray

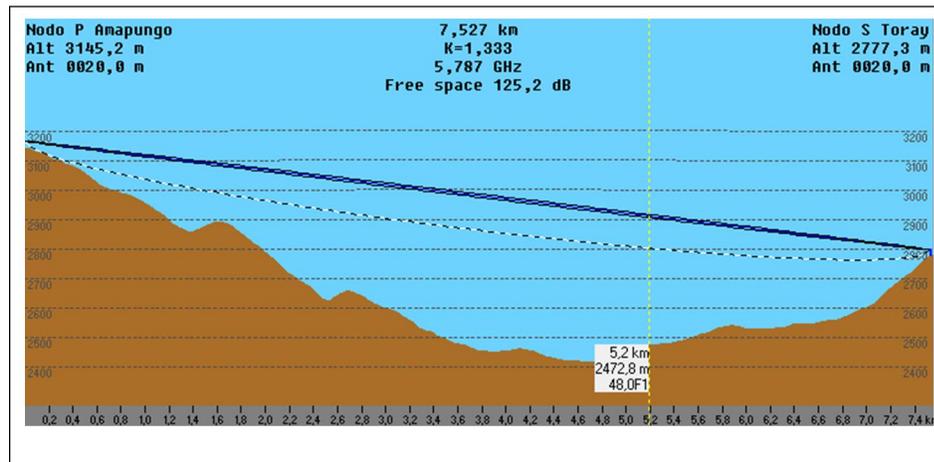
La figura 3.5 nos presenta la configuración del enlace Amapungo-Toray.

Figura 3.5. Configuración del enlace Amapungo-Toray



El perfil topográfico del enlace punto-punto entre el nodo principal Amapungo y el nodo secundario Toray se muestra en la figura 3.6.

Figura 3.6. Resultado de simular el enlace Amapungo-Toray



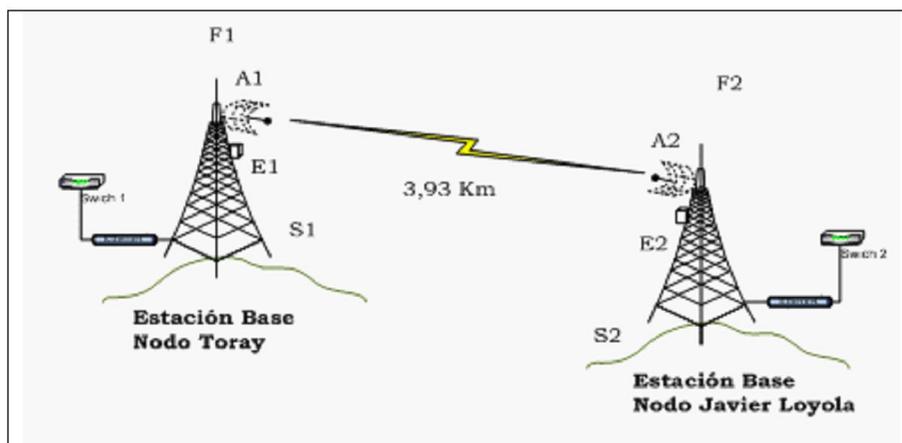
Las características del enlace según el simulador son:

Distance between Nodo P Amapungo and Nodo S Toray is 7,5 km (4,7 miles)
 True North Azimuth = 317,7°, Magnetic North Azimuth = 319,3°, Elevation angle = -2,8169°
 Terrain elevation variation is 729,4 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 12,0F1 at 0,1km
 Average frequency is 5787,500 MHz
 Free Space = 125,2 dB, Obstruction = -2,3 dB, Urban = 6,3 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 4,1 dB
 Total propagation loss is 133,3 dB
 System gain from Nodo P Amapungo to Nodo S Toray is 145,3 dB (yagi.ant at 317,7° gain = 19,1 dB)
 System gain from Nodo S Toray to Nodo P Amapungo is 145,3 dB (yagi.ant at 137,8° gain = 19,1 dB)
 Worst reception is 12,0 dB over the required signal to meet
 50,000% of time, 50,000% of locations, 70,000% of situations

3.6.3 Enlace Toray-Javier Loyola

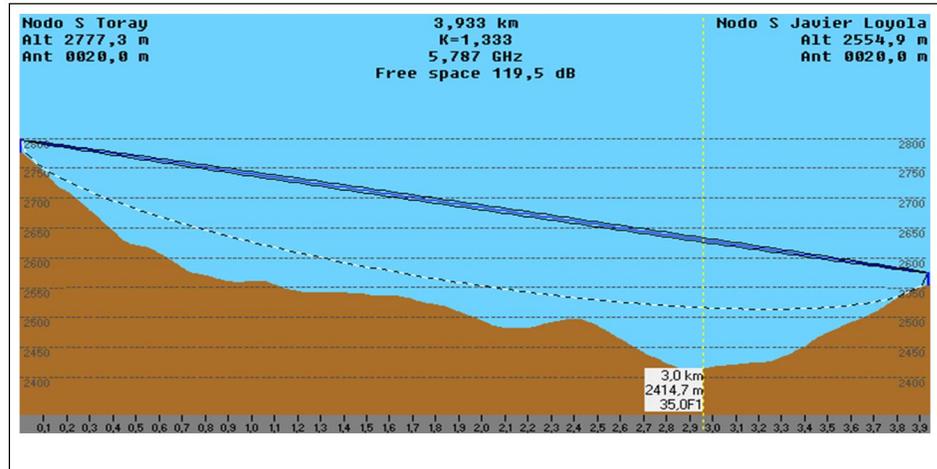
La figura 3.7 nos da una idea de la configuración del enlace Toray-Javier Loyola y la distancia.

Figura 3.7. Configuración para el enlace Toray-Javier Loyola



La figura 3.8 indica el perfil topográfico del enlace entre el nodo Toray y Javier Loyola.

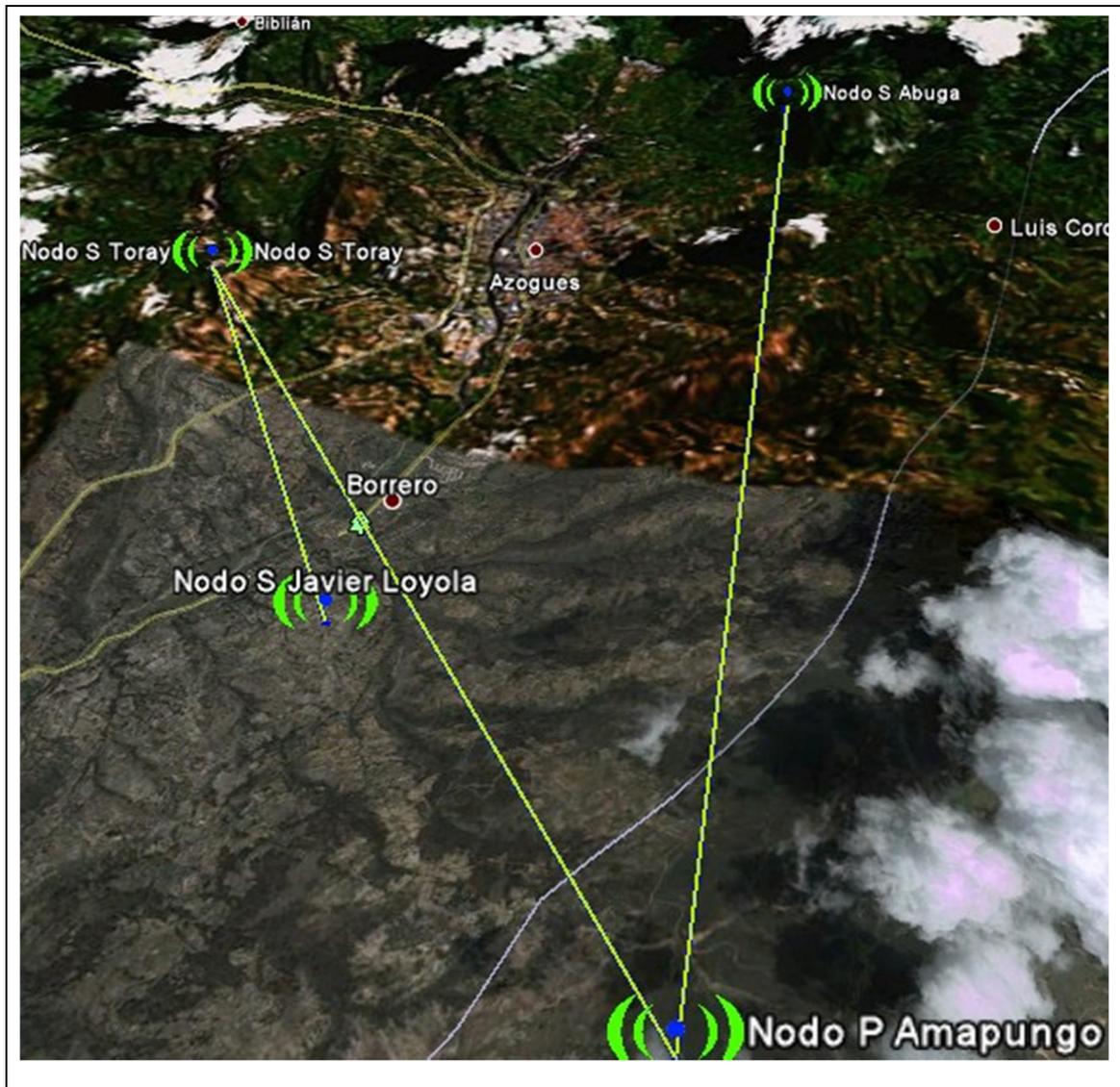
Figura 3.8. Perfil topográfico del enlace Toray-Javier Loyola



Los resultados obtenidos de simulas este radio enlace son:

Distance between Nodo S Toray and Nodo S Javier Loyola is 3,9 km (2,4 miles)
 True North Azimuth = 143,7°, Magnetic North Azimuth = 145,3°, Elevation angle = -3,2678°
 Terrain elevation variation is 363,4 m
 Propagation mode is line-of-sight, minimum clearance 18,6F1 at 3,9km
 Average frequency is 5787,500 MHz
 Free Space = 119,5 dB, Obstruction = -1,0 dB, Urban = 6,4 dB, Forest = 0,0 dB, Statistics = 4,1 dB
 Total propagation loss is 129,0 dB
 System gain from Nodo S Toray to Nodo S Javier Loyola is 145,3 dB (yagi.ant at 143,7° gain = 19,1 dB)
 System gain from Nodo S Javier Loyola to Nodo S Toray is 145,3 dB (yagi.ant at 323,7° gain = 19,1 dB)
 Worst reception is 16,3 dB over the required signal to meet
 50,000% of time, 50,000% of locations, 70,000% of situations

Radio Mobile posee herramientas para la integración con google earth. A continuación en la figura 3.9, se indican todos los radio enlaces que forman el *backhaul* de la red inalámbrica.

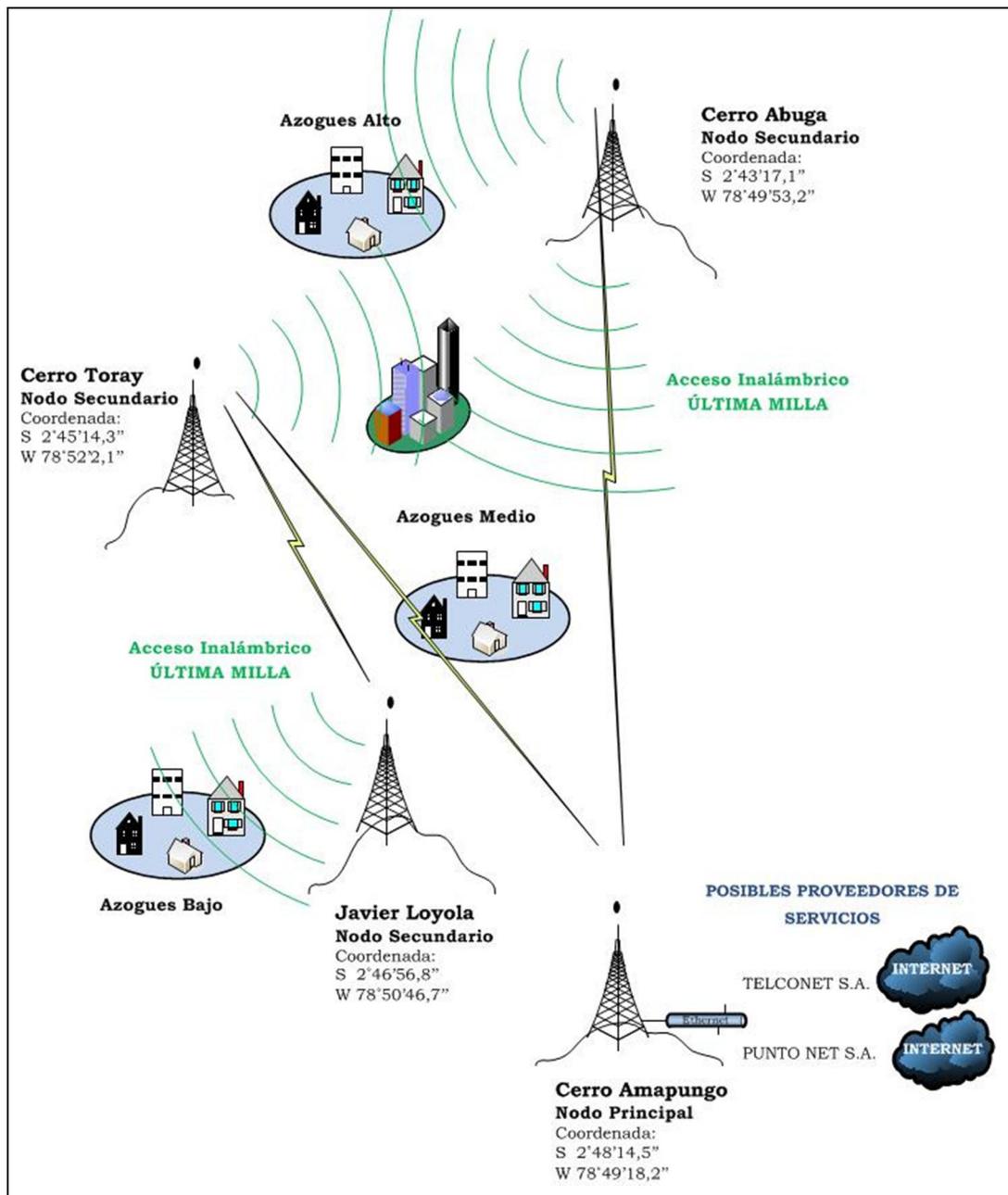
Figura 3.9. *Backhaul* de la red en google earth.

3.7 Topología de la red

Con los tres nodos secundarios: Abuga, Toray y Javier Loyola, se garantiza el servicio a los usuarios de Azogues. Con márgenes adecuados de los parámetros como: ganancia de las antenas, potencia promedio de los equipos y pérdidas. Cada radio base de acuerdo a su posición geográfica cubrirá una zona

específica, mediante enlaces punto-multipunto. La cobertura estará determinada principalmente por los ángulos de apertura de las antenas de las BS, la distribución geográfica de los usuarios y la geografía de la zona. La figura 3.10 indica la topología de la red de acceso para Azogues, considerando la ubicación de las estaciones base con respecto a las zonas de cobertura.

Figura 3.10. Topología de red para la ciudad de Azogues



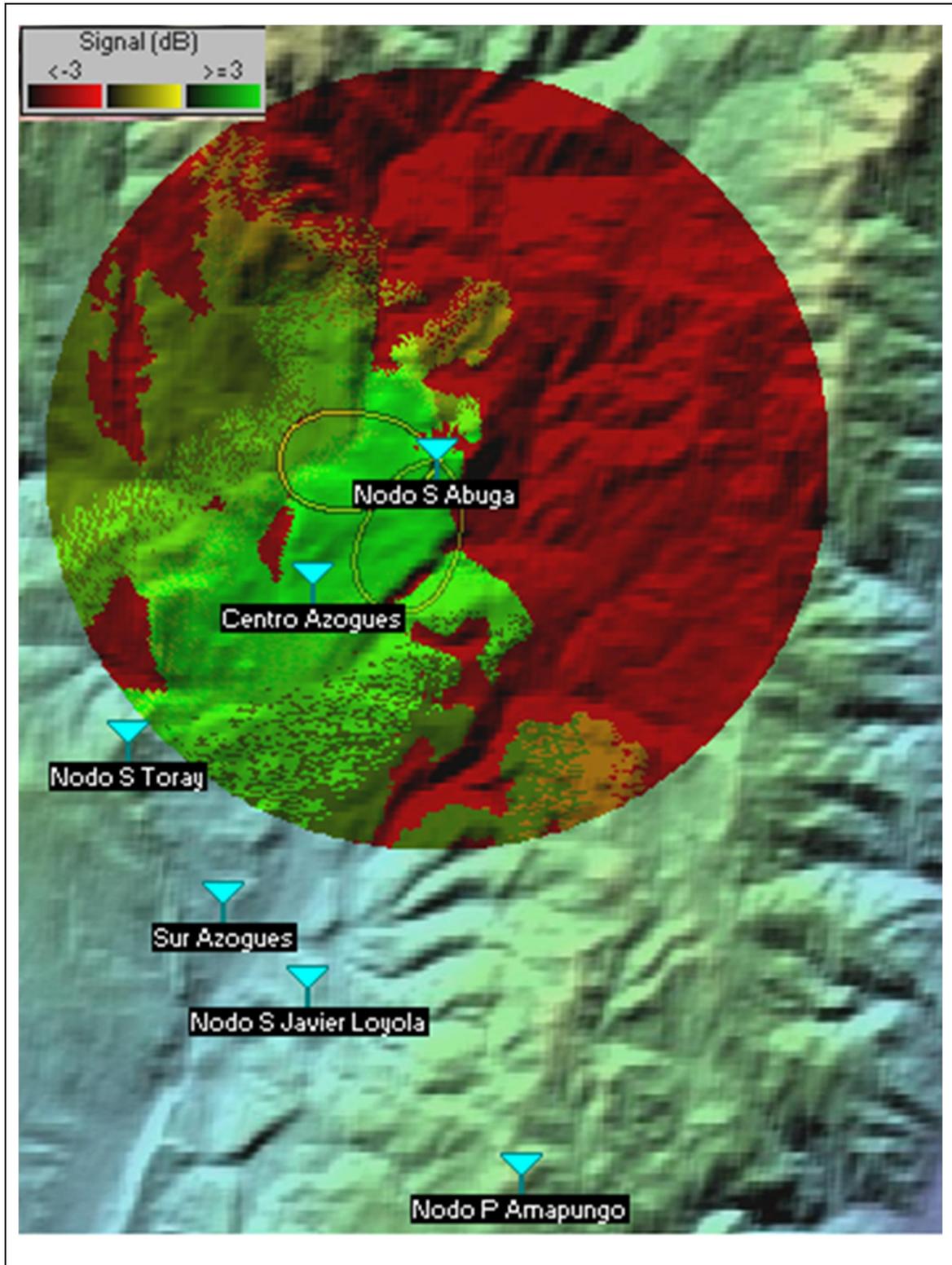
3.8 Diagramas de cobertura de las radiobases

Parte importante del diseño es comprobar las zonas de cobertura de cada estación base. Como se mencionó anteriormente la cobertura está determinada esencialmente por los ángulos de apertura de las antenas de las estaciones base, la distribución geográfica de los usuarios y la geografía de la zona. Para las estaciones base se emplean antenas sectoriales con 90° o 120° grados de apertura, dependiendo esto de la zona a ser cubierta y de la densidad de usuarios de la misma se define en número de antenas a instalar. De acuerdo a las especificaciones del protocolo IEEE 802.16-2004 cada canal podrá dar servicio a 256 usuarios, con la capa física OFDM.

3.8.2 Radiobase Abuga

La radio base ubicada en el nodo secundario Abuga está dividida en 2 sectores de 90° cada uno, debido a la densidad de usuarios de esta zona, ya que abarca el centro de la ciudad. En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 7 Km. Se tienen dos antenas: la primera de ellas orientada con un azimuth de 270° por tanto apunta al oeste y la segunda con un azimuth de 200° apuntando al sur. La zona resaltada del gráfico 3.11 representa el área de cobertura y el nivel de potencia de la señal emitida de la estación base Abuga.

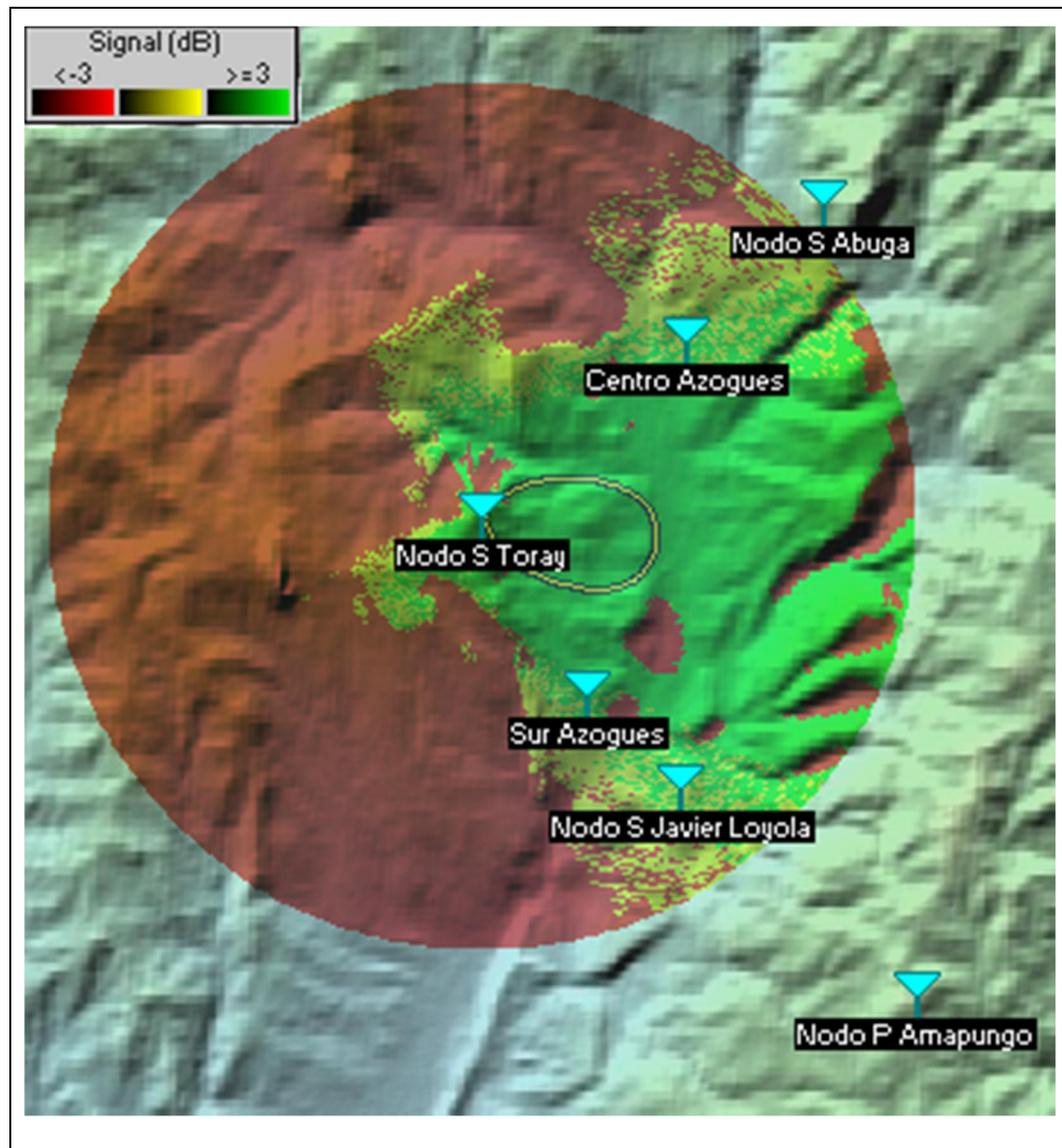
Figura 3.11 Área de cobertura y el nivel de potencia de la señal emitida BS Abuga.



3.8.2 Radiobase Toray

La BS del nodo secundario Toray, consta únicamente con una antena sectorial de 120° y está orientada con un azimuth de 100° . Fue destinada a cubrir ciertos lugares donde existen deficiencias de cobertura de la celda de Abuga, por la topografía geográfica que presenta esta ciudad y tendrá un radio de alcance cercano a los 8 Km. El área resaltada de la figura 3.12 indica la zona de cobertura de la estación base Toray.

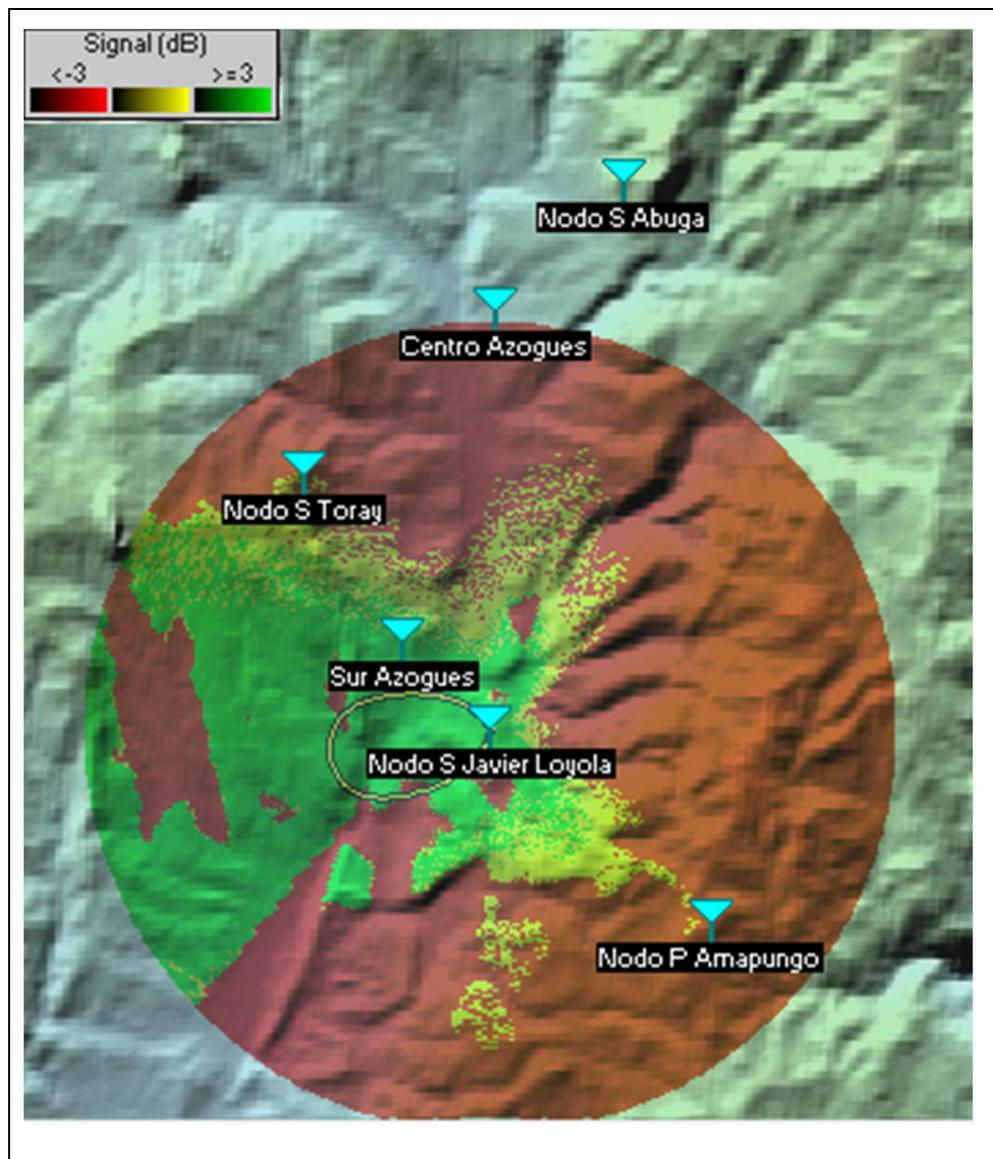
Figura 3.12 Zona de cobertura de la estación base Toray.



3.8.3 Radio Base Javier Loyola

La BS ubicada en Javier Loyola está formada por una antena sectorial de 120° y orientada con un azimuth de 260°. Es la encargada de proporcionar el servicio a la zona sur de la ciudad con un radio de alcance cercano a los 7Km. En la figura 3.13 se resalta el área de la zona de cobertura de la estación base Javier Loyola.

Figura 3.13. Área de cobertura de la estación base Javier Loyola.



3.8.4 Diagrama de la cobertura total

Finalmente la figura 3.14 representa la cobertura total de la red de acceso WIMAX para la ciudad de Azogues. Como se puede apreciar las Estaciones Base brindan cobertura total a esta ciudad.

Figura 3.14 Cobertura total de la red WIMAX en Azogues.



Los estudios realizados confirman que al utilizar ésta tecnología se consiguen varias ventajas como la inclusión de varios cientos de usuarios por canal, amplias coberturas y excelentes velocidades; para brindar un servicio de calidad inclusive en las zonas alejadas de la urbe central.

CAPÍTULO 4

ESTIMACIÓN DE COSTOS EN EQUIPOS PARA LA RED

4.1 Introducción

Una vez definida la topología de red para Azogues, se pretende proyectar una aproximación de costos de los equipos y otros dispositivos complementarios; que permitirá calcular el presupuesto de inversión así como evaluar la rentabilidad del mismo. La red inalámbrica que resultó del capítulo 3 consta de tres estaciones base, ubicadas en los nodos secundarios: Abuga, Toray y Javier Loyola. El sistema de control así como el de gestión, estarán ubicados en el nodo principal Amapungo.

En este capítulo se consideran los principales equipos a utilizar como: de core (enlaces *backhaul*), de control, de gestión, estaciones base y equipos para el usuario final. Cabe recalcar que se presenta una valoración cercana más no real; puesto que las empresas ofertantes de equipos de telecomunicaciones, suelen reducir considerablemente los costos, para ganar las subastas inversas y adjudicarse estos proyectos.

4.2 WIMAX Forum

El WIMAX Forum es un consorcio que congrega a las empresas líderes en la tecnología WIMAX, creada para certificar y promover la compatibilidad e interoperabilidad de equipos de banda ancha inalámbrica. Entre los principales objetivos que se tiene es acelerar la introducción de estos sistemas

en el mercado de telecomunicaciones. Los productos certificados por el WIMAX Forum son completamente inter-operables entre redes de banda ancha fijas y móviles. Todos estos conceptos son evaluados por el WIMAX Forum conjuntamente con los proveedores de servicio y las entidades reguladoras.

4.3 Empresas proveedoras de equipos WIMAX

Existe una larga lista de empresas proveedoras de equipos WIMAX. A continuación se enumeran únicamente las que participan tecnológicamente en el WIMAX Forum y son las más reconocidas a nivel mundial.

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| ✓ Alvarion | ✓ Cisco Systems |
| ✓ Aperto Networks | ✓ Samsung |
| ✓ Motorola | ✓ Alcatel-Lucent |
| ✓ ZTE Corporation | ✓ Nokia |
| ✓ Airspan Networks | ✓ Huawei Technologies |
| ✓ Intel Corporation | ✓ Nextnet |

Alvarion.- Es la empresa líder mundial en equipos banda ancha inalámbrica, cubre una completa gama de frecuencias con soluciones fijas y móviles, tienen millones de unidades desplegadas en más de 130 países.

4.4 Selección del proveedor

La selección de un proveedor de equipos, indistintamente del proyecto. Es un proceso complejo, ya que es necesario atravesar por una serie de fases para determinar la empresa más adecuada y otorgar la adjudicación del proyecto. Básicamente se siguen estos pasos:

- ✓ Una vez que se haya realizado los estudios para la red a implementar, se tiene una idea clara de los equipos, especificaciones y requerimientos técnicos necesarios.

- ✓ El proceso de contratación para el suministro, instalación y la puesta en marcha de un servicio deben regirse a los pliegos de contratación que marcan las especificaciones. En base a éstas las empresas proveedoras elaborarán sus ofertas técnicas y económicas.
- ✓ Se realizan concursos utilizando el método de subastas inversas para que las empresas proveedoras expongan sus mejores ofertas.
- ✓ Una vez que se cumpla el periodo de tiempo para la presentación de las ofertas, la empresa solicitante evalúa los resultados; teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y jurídicos.

Después de revisar las especificaciones técnicas de los equipos de varios fabricantes se determinó que los equipos Airspan se ajustan de mejor manera a los requerimientos de nuestro diseño. Por la simplicidad de la solución para el despliegue de nuestra red y la amplia información en su línea AsMax entre otras ventajas. Para estimar presupuestos reales de una red de telecomunicaciones, es necesario seguir los pasos antes mencionados. Los valores que aquí se presentan, son un aproximado a costos reales, ya que corresponden a datos económicos obtenidos de archivos de empresas que implementaron esta tecnología con equipos Airspan a partir del 2010 en el Ecuador y de la investigación propia para la realización de este proyecto.

4.5 Airspan Networks inc

Airspan Networks es un proveedor estadounidense de infraestructura para comunicaciones inalámbricas de voz y datos; esta en más de 95 países y suministra equipos de telecomunicaciones para al menos 300 operadoras, en bandas de frecuencias licenciadas y no licenciadas. Dado que Airspan es miembro del WIMAX Forum, ofrece una gran variedad y robustez en sus productos. Las características principales que poseen estos equipos son:

- ✓ Monitoreo y administración del ancho de banda de cada uno de los clientes.
- ✓ Soportan actualización del software del estándar 802.16-2004 a 802.16-e.
- ✓ Compatibilidad con el estándar IPv6
- ✓ Trabajan en la banda de 700 MHz a 6 GHz
- ✓ Excelente área de cobertura, alta seguridad y resistencia al desvanecimiento de la señal.
- ✓ Planeamiento para la instalación de la red y entrenamiento para la operación de sus sistemas.

3.6.1 Netspan

Los productos Airspan incluyen capacidades completas de gestión y operaciones centralizadas. Esto es aprovechado por el gestor de red Netspan para lograr las siguientes funciones:

- ✓ Gestión de averías
- ✓ Gestión de la configuración
- ✓ Manejo de alarmas
- ✓ Gestión del rendimiento
- ✓ Gestión de la seguridad

Netspan está diseñado en torno a una arquitectura cliente/servidor. Se ejecuta en una plataforma PC, haciendo uso de una base de datos SQL para almacenar la configuración, estadísticas e historial de alarmas de la red de radio. Como ventajas adicionales se tiene:

- ✓ La auto-instalación de los clientes que utilizan EasyST y ProST.
- ✓ Autenticación de red se gestiona por separado de la prestación de servicios y la activación.
- ✓ Los derechos de acceso son configurables, permitiendo otorgarle a cada operador derechos adecuados para su función.
- ✓ Acceso a la configuración y diagnóstico para cada elemento de la red de radio, incluyendo tecnologías de *backhaul*.

4.5.2 Estación Base HiperMAX

La estación base HiperMax está diseñado para trabajar con grandes redes utilizando un sistema altamente escalable y redundante. Entre las principales características encontramos:

- ✓ Es totalmente actualizable
- ✓ Soporta el estándar WIMAX móvil (SOFDMA) y el fijo (OFDM)
- ✓ Multi-canal de transmisión y recepción.
- ✓ Smart Antenna Systems (SAS) 4 u 8 canales.
- ✓ Soporte para FDD y TDD
- ✓ Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA), mejora la capacidad y reutilización de frecuencias.
- ✓ Ofrece servicios de voz, multimedia, aplicaciones de VoIP utilizando una puerta de entrada estándar de medios a la PSTN.
- ✓ Configuración de los flujos de tráfico en una corriente de Gigabit Ethernet para fines de *backhaul*.

4.5.3 Equipo del Usuario (CPE)

El CPE (*Customer Premises Equipment*) de WIMAX es un terminal *plug-and-play*, simple dedicado a proporcionar la conectividad, entre la estación base y el usuario. Para mejorar la calidad de la recepción de señal en lugares muy alejados de la estación base WIMAX, los CPEs se conectan con una antena al aire libre orientada a la estación base. Existen una variedad de CPEs, de ahí que se han elegido los que presten características de voz además, servicios de banda ancha, VoIP y punto de acceso Wi-Fi.

ProSt WiFi

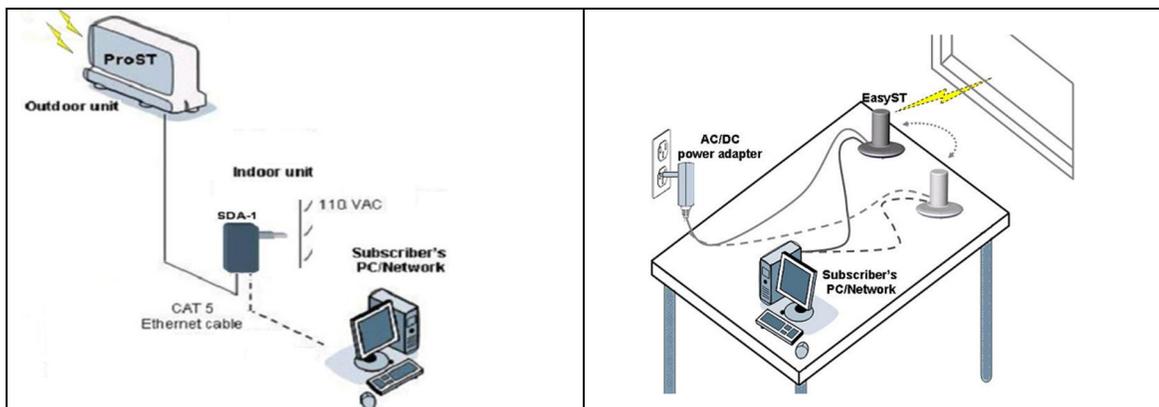
Está diseñado para un rápido y sencillo despliegue externo. Con personal capacitado puede ser instalado en menos de una hora. En la figura 4.1 se

observa el esquema de instalación. El operador gestiona el nivel de servicio y las necesidades específicas demandadas por el cliente final. Se garantiza la disponibilidad de servicios, ya que operan tanto en entornos de propagación NLOS y LOS. Las características del ProSt-WiFi son:

- ✓ 1 de 4 puertos switch
- ✓ 4 puertos con puertos a la VLAN de conmutación
- ✓ Punto de acceso. Integral 802.11b/g WiFi (SDA-WiFi)
- ✓ Integral VoIP IAD (SDA-MSG)

Figura 4.1 Instalación del equipo ProST-WiFi

Figura 4.2 Instalación del equipo EasyST



Fuente: <http://www.airspan.com>

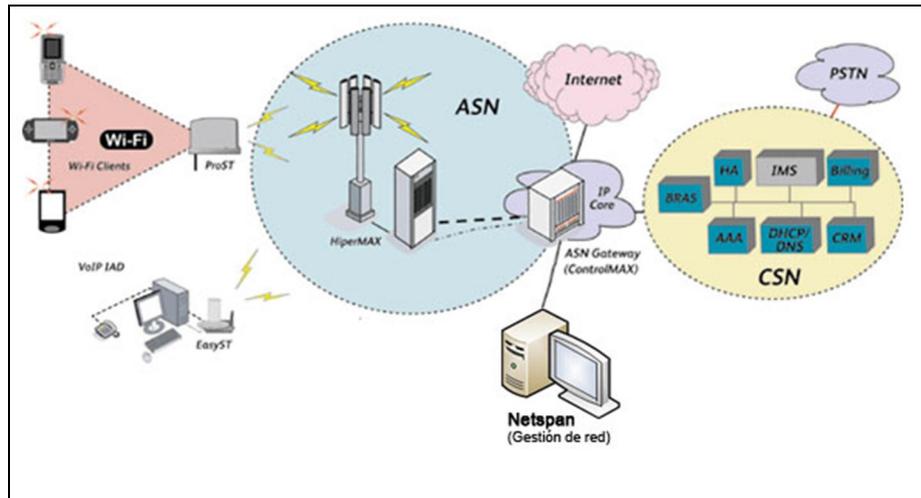
EasyST

El EasyST es un CPE para interiores, diseñado para su auto-instalación. En la figura 4.2 se ilustra el esquema su de instalación, junto al PC del usuario final. Además tiene un servidor web incorporado permitiendo una fácil configuración por el usuario final; y monitoreo a distancia por el personal del operador. Está diseñada para implementaciones combinadas de voz y datos. Otras características importantes del EasyST son:

- ✓ Desplegable en ambientes NLOS internos
- ✓ Punto de Acceso WiFi opcional IEEE 802.11b/g
- ✓ Opcional VoIP para 1 a 4 líneas POTS
- ✓ Antena auto selectiva de 7dBi o externa de 11.5 dBi

En la figura 4.3 se muestra la configuración para una red WIMAX utilizando quipos Airspan.

Figura 4.3 Configuración típica red WIMAX con equipos Airspan



Fuente: <http://www.airspan.com>

4.6 Costos de equipos WIMAX

En la tabla 4.1 se detalla una aproximación de los costos para los equipos Airspan y otros rubros necesarios para la red. Estos datos están en base a referencias del mercado ecuatoriano a partir del 2010.

Descripción	Modelo	Precio \$
Sistema de gestión	NETSPAN	19.000,00
Controlador de estaciones	Control1MAX AN-1	30.500,00
Estación Base	HiperMax	28.000,00
Estación Base Pto-Pto	HiperMax	25.000,00
CPE Outodoor	ProST	380,00
CPE Indoor	EasyST	320,00
Instalación y Puesta en Servicio	---	40.000,00
Entrenamiento (fabrica)	---	4.000,00
Repuestos	---	10.000,00

Tabla 4.1 Costos aproximados de quipos Airspan y otros rubros

Exististe equipos necesarios para complementar la red; estos se enumeran a continuación en la tabla 4.2.

Descripción	Marca	Modelo	Precio
Software de Planeación	Ericsson	Planetv	30.000,00
Router/Swich	Tellabs	8620	4.000,00
Router/Swich de frontera	Tellabs	8660	5.000,00
Equipamiento de Energía (Rectificadores, Baterías)	Unipower Telecom	PRC-1290S	2.500,00
Servidor AAA, DNS y DHCP SBC ACME I&C			80.000,00
Antena Parabólica 32.5 DBi	L-Com	HG5158DP-32	600,00

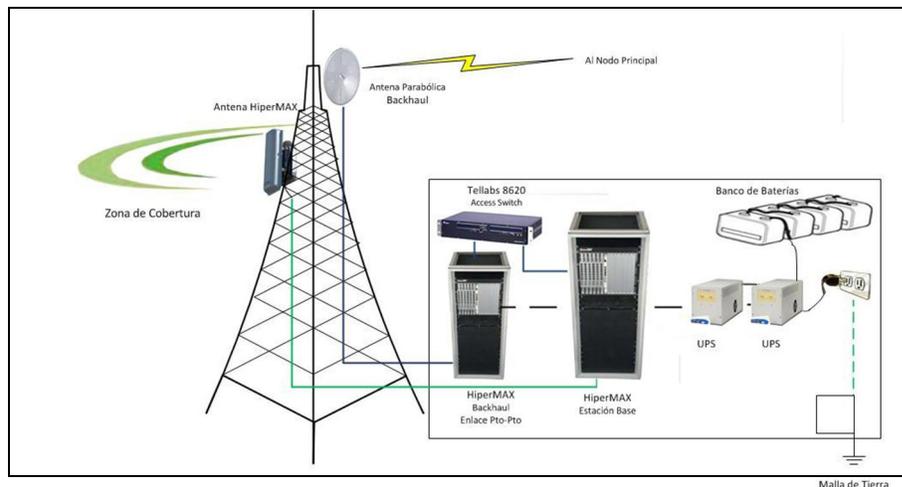
Tabla 4.2. Equipos de otras marcas

Además de los equipos de telecomunicaciones es necesario revisar otros rubros importantes, como el costo de la construcción para la torre de 10 m y la sala donde van los equipos, un valor aproximado es 8.700,00 \$.

4.7 Aproximado del costo total de la red

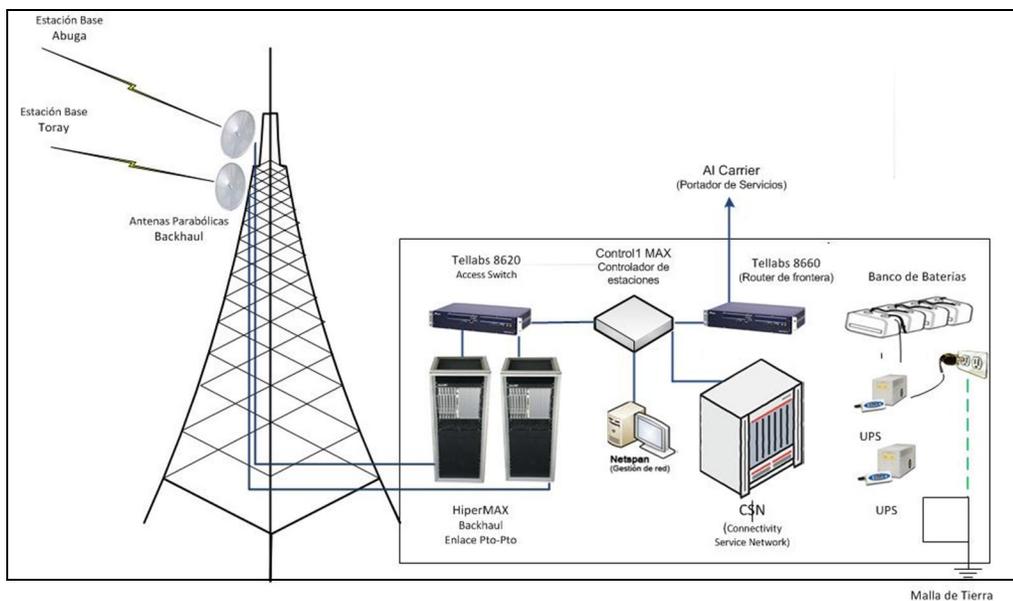
Para realizar un listado de todos los equipos y elementos necesarios de la red, se examinaron los requerimientos de los nodos secundarios y del nodo principal. En el esquema de la figura 4.4, se pueden apreciar las demandas un nodo secundario.

Figura 4.4. Requerimientos de un nodo secundario.



Las tres estaciones base de nuestro proyecto son idénticas, pero hay que tomar en consideración que los componentes de la radio base Toray varían de acuerdo a la configuración de nuestro *backhaul*. Los equipos requeridos para el sistema de control y gestión en nuestro nodo principal se muestran en la figura 4.5.

Figura 4.5. Requerimientos del nodo principal.



A continuación se presenta la tabla 4.3 en la que detallan los principales equipos y otros elementos para toda la red.

Descripción	Marca	Modelo	Cant.	Precio /u	Precio Total
Sistema de gestión	NETSPAN	Airspan	1	19.000,00	19.000,00
Controlador de estaciones	Control1MAX AN-1	Airspan	1	30.500,00	30.500,00
Estación Base	HiperMax	Airspan	3	28.000,00	84.000,00
Estación Base Pto-Pto	HiperMax	Airspan	6	25.000,00	150.000,00
CPE Outdoor	ProST	Airspan	500	380,00	190.000,00
CPE Indoor	EasyST	Airspan	500	320,00	160.000,00
Instalación y Puesta en Servicio	---	Airspan	1	40.000,00	40.000,00
Entrenamiento (fabrica)	---	Airspan	1	4.000,00	4.000,00
Repuestos	---	Airspan	1	10.000,00	10.000,00
Software de Planeación	Ericsson	Planetv	1	30.000,00	30.000,00
Router/Swich	Tellabs	8620	4	4.000,00	16.000,00
Router/Swich de frontera	Tellabs	8660	1	5.000,00	5.000,00
Equipamiento de Energía (Rectificadores, Baterías)	---	---	4	2.500,00	10.000,00
Servidor AAA, DNS y DHCP SBC ACME I&C	---	---	1	80.000,00	80.000,00
Antena Parabólica 32.5 DBi	L-Com	HG5158D P-32	6	600,00	3.600,00
Construcción de la torre 10 m y la sala para los equipos	---	---	4	6.000,00	24.000,00
Implementos Varios e Imprevistos	---	---	---	80.000,00	80.000,00
Total					936.100,00

Tabla 4.3. Aproximación de costos para los equipos de la red

El presupuesto designado para los implementos considera costos de: accesorios, cable UTP, conectores RJ-45, correas plásticas, cinta autofundente, cinta aislante, etc. etc.

CONCLUSIONES

- ✓ Si bien en la ciudad de Azogues ya se prestan servicios de internet mediante WiFi y redes cableadas, el creciente interés por parte de los usuarios para acceder a servicios de transporte de datos con alta velocidad, ha dado paso a nuevas tecnologías que ofrezcan mayores anchos de banda con mayores velocidades.
- ✓ Una de las soluciones que se ajustan a la realidad de nuestro medio es la tecnología WIMAX; ya que permite reducir los costos de implementación, operación y mantenimientos en comparación con los actuales servicios prestados por redes cableadas.
- ✓ Con el diseño de la red de acceso resultado del presente proyecto, se intenta satisfacer las necesidades de comunicación y ofrecer servicios de internet en el centro de Azogues como en las zonas más alejadas.
- ✓ La robustez del protocolo IEEE 802.16-2004 permite garantizar grandes anchos de banda para brindar servicios de datos, voz y video. Los corporativos y residenciales pueden hacer uso sin inconvenientes de nuevas aplicaciones como: video conferencias, video bajo demanda, VoIP entre otros.

Técnicas

- ✓ La capa física de WIMAX como se repasó en el capítulo 1, utiliza OFDM y OFDMA con organización TDM/TDMA lo que hace que sea un sistema extremadamente flexible, optimizando sus propiedades en función del número y tipo de usuarios a servir.

- ✓ La modulación OFDMA tiene una altísima eficiencia espectral. Lo que ofrece altas velocidades de transmisión, a la vez de dividir el espectro en varias subportadoras ortogonales. Por otra parte los métodos de duplexación FDD y TDD optimizan la asignación de bloques de frecuencia (dos bandas o una sola) dependiendo los requerimientos del canal.
- ✓ La propagación de la señal contempla modulaciones adaptativas capaces de elegir la más eficiente, mediante las comunicaciones entre la estación base y el CPE, pudiendo aplicar BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM.
- ✓ WIMAX se presenta como una red muy eficiente; ya que trata de eliminar las colisiones en la transmisión de paquetes, por lo que no requiere retransmisión de datos. Al mismo tiempo posee facilidades de conexión e incluso autoconfiguración para los equipos del usuario.

Diseño

- ✓ El diseño de la red fue estructurado de una forma básica y eficiente, de manera que se garantiza su óptimo funcionamiento, se trató al máximo de ahorrar recursos y sobre todo optimizar las zonas de cobertura. Está diseñada para expandirse ubicando más estaciones base en lugares estratégicos.
- ✓ Para los enlaces principales del *backhaul* fue necesario inspeccionar los lugares previstos para el emplazamiento de las radio bases, a la vez de realizar simulaciones con el software *Radio Mobile* y verificar que sea un lugar estratégico.

- ✓ El tamaño de las celdas puede variar dependiendo de la topografía como también del número de usuarios destinados a recibir el servicio. Es de vital importancia establecer el área de cobertura, para tener una idea del alcance de la estación base; así como de los lugares donde existirían límites bajos de señal.

- ✓ Las antenas de las estaciones base pueden tener algunas opciones en sus ángulos de apertura con lo que la zona de cobertura de la celda se divide. Por ejemplo si se tiene un ángulo de apertura de 90° la celda estaría dividida en 4 sectores.

- ✓ Las características presentadas en el capítulo 4 del equipamiento necesario para la red guardan relación directa con las características exhibidas en los manuales de usuario disponibles en la página web de Airspan.

RECOMENDACIONES

- ✓ En el caso de proceder en un futuro con la implementación de la red inalámbrica es recomendable estar actualizado con los ordenamientos y exigencias legales dispuestos por los organismos que regulan las telecomunicaciones en el Ecuador.
- ✓ Los equipos que conforman la red de acceso inalámbrico con WIMAX deben cumplir con las especificaciones proporcionadas por el reglamento de homologación del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).
- ✓ Es preciso verificar la confiabilidad del sistema antes de que entre en funcionamiento. Este parámetro es de vital importancia al momento de definir la calidad de nuestro servicio y la confianza del usuario en el proveedor.
- ✓ Las interferencias por el clima u otros factores inesperados podrían degradar la calidad del servicio. Para superar estas dificultades es necesario realizar todo tipo de pruebas durante un determinado tiempo, así finalmente el sistema podrá brindar el servicio sin complicaciones.
- ✓ Para la distribución de frecuencias se deberá realizar un análisis de espectro en cada nodo y determinar las frecuencias que presentan menor interferencia.
- ✓ Para desplegar puntos de acceso wifi es recomendable utilizar equipos WIMAX-WiFi como el ProST-WiFi, los mismos que se ubicarán en lugares estratégicos para brindar una excelente cobertura.
- ✓ El gestor de red Netspan requiere un constante monitoreo, ya que se deberán corregir posibles fallas. Es posible ingresar al sistema Netspan

desde cualquier lugar en el que haya cobertura de nuestra red, mediante cualquier navegador web y los permisos de súper usuario. Pero la mejor solución es contratar una IP pública, con lo que se tendría acceso al Netspan desde cualquier parte del mundo a través de internet.

- ✓ El proyecto trabaja con el protocolo IEEE 802.16-2004 o WIMAX fijo, sin embargo es posible la migración al estándar móvil, ya que los equipos son actualizables al protocolo IEEE 802.16e.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

[1] ADSL Forum

“Características de ADSL” [16 de Agosto del 2011] Disponible en la web:

[http:// www.adslforum.com](http://www.adslforum.com)

[2] AIRSPAN

“Broadband Wireless Solutions”

[6 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

<http://www.airspan.com/products/>

<http://www.airspan.com/products/network-products/netspan/>

“Highly flexible WiMAX base station for high availability services”

[6 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

<http://www.airspan.com/pdfs/HiperMAX%20Datasheet.pdf>

<http://www.airspan.com/products/hipermax-flexible-wimax-base-station/>

“Integrated micro-cell WiMAX base stations”

[6 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

<http://www.airspan.com/products/micromax-micro-cell-wimax/>

“ProST and ProST-WiFi” [6 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

<http://www.airspan.com/products/end-user-devices/prost-and-prost-wifi/>

“Self-Installable, Indoor Customer Terminal Equipment”

[6 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

[http://www.airspan.com/2005/04/19/airspan-demonstrates-the-](http://www.airspan.com/2005/04/19/airspan-demonstrates-the-world%E2%80%99s-first-self-installable-indoor-customer-terminal-equipment/)

[world%E2%80%99s-first-self-installable-indoor-customer-terminal-equipment/](http://www.airspan.com/2005/04/19/airspan-demonstrates-the-world%E2%80%99s-first-self-installable-indoor-customer-terminal-equipment/)

[3] ALVARION

“4Q Wireless Broadband “Wimax Solutions”

[15 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

<http://www.alvarion.com>

[5] CISCO

“Routers and Switches” [15 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:
<http://www.cisco.com/en/US/products/index.html>

[6] Consejo Nacional de Telecomunicaciones/ Secretaria Nacional de Telecomunicaciones

“Datos de cuentas y usuarios de internet por permisionario, 2009, 2010”
[16 de Agosto del 2011] Disponible en la web:

<http://www.conatel.gob.ec/>

[7] IEEE Articles

“IEEE 802.16A Standar and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access
Copyright© Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum”
[18 Julio 2011] Disponible en la web:

<http://ieee802.org/16/>

<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/7742/34234/01632481.pdf>.

[8] Intel

“Productos Intel® WiMAX/WiFi Link 5350 e Intel® WiMAX/WiFi Link 5150”
[15 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:

http://www.intel.com/support/sp/wireless/wmax/5350_5150/sb/cs-029594.htm?wapkw=%28wimax%29

[9] International Telecommunication Union (ITU)

“Broadband Wireless Access Broadband Wireless Access”
[18 de Julio del 2011] Disponible en la web:

www.itu.int/ITU-T/worksem/ngn/200604/presentation/s6_nohara.pdf

“New Technology, Markets and New Technology, Markets and Changing
Spectrum Requirements Changing Spectrum Requirements “
[18 de Julio del 2011] Disponible en la web:

www.itu.int/.../Ron%20Rensick%20-%20ITU%20Geneva%20Jan%2006%20public.pdf

<http://www.itu.int>

[11] Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador

*“Listado de empresas del sector de telecomunicaciones”
[16 de Agosto del 2011] Disponible en la web:*

<http://www.supertel.gob.ec/>

[12] Tecnología DSL [16 de Agosto del 2011] Disponible en la web:

www.monografias.com/trabajos5/tecdsl/tecdsl.shtml

www.vazart.net/presentaciones/xDSL.pdf - Colombia

[13] TELLABS

*“Tellabs® 8660 Edge Switch”
[15 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:*

www.tellabs.com/products/8000/tlab8660es.pdf Similares

*“Tellabs® 8620 Access Switch”
[15 de Septiembre del 2011] Disponible en la web:*

www.tellabs.com/products/8000/tlab8620as.pdf Similares

[14] WiMAX NLOS Features.

*“Wireless Broadband 2007: WIMAX & CO”
[30 de Julio del 2011] Disponible en la web:*

<http://www.wimaxforum.org/documents/download/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>

[15] WIMAX Forum

*“WiMAX VoIP Solutions for 4G Networks”
[18 de Julio del 2011] Disponible en la web:*

<http://www.wimaxforum.org/resources/documents/marketing/whitepapers>

“WiMAX and Health” [18 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimaxforum.org/resources/documents/marketing/whitepapers>

“WiMAX a Wireless Solution for Fixed Wireless Access in Emerging Markets” [18 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimaxforum.org/resources/documents/marketing/whitepapers>

“Leveraging 802.16e WiMAX™ Technology in License-Exempt Bands” [18 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimaxforum.org/resources/documents/marketing/whitepapers>

“Product Guide (PDF)” [18 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimaxforum.org>

[16] WiMax.com 4Q Wireless Broadband Solutions

“WiMAX Tutorial” [25 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimax.com/table/wimax-tutorial/>

“What is WiMAX?” [25 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimax.com/general/what-is-wimax>

“Analysis of WiMAX Data Rate Performance” [25 de Julio del 2011] Disponible en la web:

<http://www.wimax.com/whitepapers/whitepapers>

<http://www.wimax.com>