

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRONICA

CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO EN
INGENIERIA

DISEÑO DE LA RED INALAMBRICA WIMAX DE ANDINATEL S.A.
PARA EL SECTOR DE TUMBACO

JORGE LOPEZ A.

SANGOLQUI – ECUADOR

2007

CERTIFICADO

Certifico que el presente proyecto de grado titulado: “DISEÑO DE LA RED INALAMBRICA WIMAX DE ANDINATEL S.A. PARA EL SECTOR DE TUMBACO” ha sido desarrollado en su totalidad por el Sr. Jorge Esteban López Álvarez con CI: 171536362-6 bajo nuestra dirección.

Atentamente.

Ing. Darwin Aguilar
DIRECTOR

Ing. Román Lara
CODIRECTOR

RESUMEN

Se realizó el diseño de una red Wimax para el sector de valle de Tumbaco que consta de una estación base con dos enlaces, el primero es un enlace punto a punto por radio, el cual conecta al Cerro Ilaló con la Estación Terrena. Este enlace permitirá la interconexión de la plataforma inalámbrica con toda la red de telecomunicaciones de ANDINATEL S.A. garantizando el servicio de voz y datos para los clientes ubicados en el sector de tumbaco. El segundo enlace es Wimax, en el cual se realiza un enlace punto – multipunto de última milla, desde la antena ubicada en el cerro Ilaló hacia cada uno de los usuarios en el sector del Valle de Tumbaco.

Para los enlaces se realizó los cálculos de línea de vista (Factor de Tolerancia C), Zona de Fresnel, Pérdidas totales y Margen de desvanecimiento, entre otros, con lo que conseguimos garantizar que el sistema Wimax funcione de una manera óptima. Los Equipos utilizados son “symmetry” que constan de una Estación de base (CBS5000), CPEs (SSU5000), Antenas y Software de Administración para la red.

Lo que se obtuvo es una red Wimax, que permite utilizar aplicaciones como; voz sobre IP, video conferencias e Internet de alta velocidad y así poder satisfacer las necesidades del sector de Tumbaco con un mayor número de usuarios, puesto que ANDINATEL S.A. tiene instalada una central digital, que se encuentra muy limitada en su capacidad, ya que está ocupada en un 95% y esto no permite satisfacer las necesidades de demanda requeridas para este sector, también se logra integrar la red Wimax de Tumbaco con el anillo de fibra óptica que tiene ANDINATEL S.A. para si poder brindar un servicio de alta calidad y con todos los beneficios que ofrece ANDINATEL S.A. en todo el país.

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado lo dedico a mi familia y en especial a mi hijo, que aunque él no lo sabe todavía es la parte más importante de mi vida, mi razón de existir y por él cual yo lucharé siempre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por brindarme la oportunidad de estudiar y por ser un apoyo incondicional durante toda mi vida, a mis hermanos por haberme brindado el apoyo durante mi vida universitaria, a mis compañeros por todas las alegrías y tristezas que vivimos juntos, a mis amigos por haberme dado la responsabilidad de guiar su camino y a mi mujer por haberme regalado la ilusión de una nueva vida.

PRÓLOGO

La actual central telefónica del sector de Tumbaco presenta problemas críticos de funcionamiento, limitaciones operativas y de servicios lo cual hasta el momento han permitido proveer solamente de servicio de voz. Como hemos visto los avances tecnológicos en el mundo han crecido a una gran velocidad, con lo cual se ha hecho necesario utilizar las nuevas tecnologías para poder brindar servicios integrados de voz, datos y video. El disponer de redes de banda ancha (Wimax) permite utilizar aplicaciones como voz sobre IP, video Conferencias e Internet de alta velocidad.

ANDINATEL S.A. ha realizado el Diseño de Planta Externa para el Sector de Tumbaco, el presupuesto referencial para la elaboración de este proyecto asciende aproximadamente a 1,946,000.00 dólares americanos, en el cual incluye la construcción de planta externa, red primaria (fibra óptica y cobre), red secundaria, canalización, costos de los DLC's y costos de la ampliación de los enlaces de transmisión internos desde la central de ANDINATEL S.A. en el sector de Tumbaco hacia otras centrales publicas para realizar el enrutamiento de tráfico.

Con la finalidad de brindar los servicios indicados y otros adicionales, ANDINATEL S.A. requiere realizar el análisis y diseño de una red inalámbrica basada en Wimax, el proyecto permitirá realizar el análisis de costos, tiempos de implementación y beneficios adicionales que podrán ser ofrecidos por parte de ANDINATEL S.A. para el sector del Valle de Tumbaco, en comparación al proyecto de planta externa con equipos DLCs que ANDINATEL S.A. pretende implementar.

INDICE

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1. Sistemas de Comunicación Inalámbricos	3
1.1. Bluetooth	4
1.2. WLL (Wireless Local Loop)	6
1.2.1. Wi-Fi (Wireless Fidelity)	8
1.2.2. Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)	10
1.3. Propagación en espacio libre	11
1.3.1. Propagación de las ondas de radio	11
1.3.2. Margen de Desvanecimiento	12
1.3.3. Índice de Refracción	14
1.3.4. Interferencia de dos ondas de radio	15
1.3.5. Alcance de Línea de Vista	18
1.3.6. Curvatura de la Tierra o Factor K	19
1.3.7. Zona de Fresnel	22
1.3.8. Cálculo del Factor de Tolerancia C	25
1.3.9. Pérdidas Totales	26
CAPITULO II	29
ANÁLISIS DEL PROYECTO DE PLANTA EXTERNA DE ANDINATEL S.A.	29
2. Descripción del Proyecto mediante Cobre y Fibra Óptica	33
2.1. Análisis del estudio de Demanda	35
2.2. Cobertura prevista en el diseño de la red de Planta Externa	40

2.3.	Resultados y costos del proyecto	41
2.3.1.	Costos Referenciales De Equipos Dlc'S	41
2.3.2.	Costos Referenciales De Construcción De Planta Externa	42
2.3.3.	Presupuesto De Planta Externa	42
2.3.4.	Presupuesto Referencial De Proyecto	43
CAPITULO III		44
SISTEMAS INALÁMBRICOS Y TELEFONÍA IP		44
3.	WIMAX	44
3.1.	INTRODUCCIÓN	44
3.1.1.	Normas IEEE	47
3.1.2.	Características de WiMAX	53
3.1.3.	Aplicaciones de WiMAX	54
3.1.4.	Seguridades sobre redes Inalámbricas (Wimax) y VOIP	55
3.2.	TELEFONÍA IP	59
3.2.1.	Introducción	59
3.2.2.	Voz sobre IP	60
3.2.3.	Fundamentos de Telefonía IP	65
3.2.4.	Protocolos	67
3.2.5.	Modos de Funcionamiento	86
CAPITULO IV		89
DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA		89
4.	Estudio de Demanda	89
4.1.	Estudio de Terreno	91
4.1.1.	Alzados punto a punto	92
4.1.2.	Análisis para la Ubicación de Antenas	93
4.2.	Diseño de la Topología de la red	96
4.2.1.	Estudio de Propagación de la señal	98
4.2.2.	Distribución de Celdas	105

4.3.	Análisis para la Administración de la red	115
4.3.1.	Software de Administración	115
4.3.2.	Administración de la Red	118
4.3.3.	Seguridades para sistemas inalámbricos (Wimax)	122
CAPITULO V		125
ANÁLISIS DE LA RED INALÁMBRICA Y LA RED DE PLANTA EXTERNA		125
5.	Ventajas y Desventajas	125
5.1.	Ventajas de la Red Wimax	125
5.2.	Desventajas de la Red Wimax	126
5.3.	Comparación Técnico-Económico	126
5.3.1.	Presupuesto Referencial De Proyecto Wimax	126
5.4.	Factibilidad de implementación	130
CAPITULO VI		131
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		131
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Factor de Rigurosidad del terreno	13
Tabla 1.2: Factor de Análisis climático anual	13
Tabla 2.1: Anillo 1 DLC, Tumbaco Ruta 5	30
Tabla 2.2: Anillo DLC, Tumbaco Ruta 6	31
Tabla 2.3: Capacidad del Proyecto para la Gerencia de Accesos	32
Tabla 2.4: Estudio de Demanda de la Empresa ISVOS CIA. LTDA	36
Tabla 2.5: Estudio de Demanda de la empresa CEDATOS–GALLUP Internacional	37
Tabla 2.6: Estudio de Demanda de la empresa CEDATOS–GALLUP de los Servicios Adicionales	37
Tabla 2.7: Estudio de Demanda de la empresa CEDATOS–GALLUP de transmisión de datos y televisión codificada	38
Tabla 2.8: Estudio de Demanda de Internet	39
Tabla 2.9: Descripción y costos de los Equipos DLCs	42
Tabla 2.10: Especificaciones del Proyecto de Planta Externa	43
Tabla 2.11: Costos Referenciales del Proyecto de Planta Externa	43
Tabla 2.12: Costos Totales del Proyecto de Planta Externa con DLCs	44
Tabla 3.1: Características del estándar 802.16 (WiMAX)	53
Tabla 4.1: Resultado de encuesta realizada en Octubre 2006	90
Tabla 4.2: Coordenadas Exactas de Antena Wimax en cerro Ilalo	95
Tabla 4.3: Zona de Fresnel ENLACE 1	100
Tabla 4.4: Zona de Fresnel ENLACE 2	104
Tabla 5.1: Costo referencial del Proyecto WIMAX	126
Tabla 5.2: Ingresos por trafico de Andinatel S.A	128
Tabla 5.3: Egresos anuales de Andinatel S.A	128
Tabla 5.4: Utilidad Bruta del proyecto de Andinatel S.A	129

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diagrama de distribución de una red inalámbrica	4
Figura 1.2: Refracción entre dos medios	14
Figura 1.3: Propagación de Ondas en un enlace	16
Figura 1.4: Comparación entre rayos r1 y r2	17
Figura 1.5: Línea de Vista teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra	19
Figura 1.6: Zona de Fresnel	24
Figura 1.7: Primera Zona de Fresnel	24
Figura 1.8: Factor de Tolerancia C	25
Figura 2.1: Diseño anillos DLC para sector de Tumbaco	30
Figura 2.2: Esquema de la Red telefónica con DLC	34
Figura 2.3: Cobertura prevista con Red de Planta Externa	40
Figura 3.1: Espectro Wimax (Fuente Fujitsu)	54
Figura 3.2: Escenarios Wimax	55
Figura 3.3: Esquema de ejemplo de VoIP	63
Figura 3.4: Arquitectura General de Telefonía IP	67
Figura 3.5: Familia de protocolos para H.323	73
Figura 3.6: Fase de mantenimiento de la registración entre GW y GK	76
Figura 3.7: Esquema básico de comunicación SIP	84
Figura 4.1: Encuesta realizada en el sector de Tumbaco en Octubre 2006	90
Figura 4.2: Sector de los valles de Quito	91
Figura 4.3: Coordenadas del Cerro Ilalo	92
Figura 4.4: Relación de la Carta topográfica en escala 1:50000	94
Figura 4.5: Ubicación de Antena Wimax	95
Figura 4.6: Topología de la red Wimax	96
Figura 4.7: Comunicación del Sistema Wimax con la red de Andinatel S.A	97
Figura 4.8: Levantamiento de zona de Fresnel Enlace 1	98
Figura 4.9: Levantamiento de zona de Fresnel Enlace 2	105
Figura 4.10: Cobertura prevista para el sistema Wimax	106
Figura 4.11: Diagrama de colocación de equipos Wimax	107

Figura 4.12: Estación Base Wimax	110
Figura 4.13: CPE Wimax	112
Figura 4.14: Sistema Wimax	114
Figura 4.15: Interfaz de Administración del Sistema Wimax	116
Figura 4.16: Interfaz de Alarmas del Sistema Wimax	117

GLOSARIO

- ADSL** - Asymmetric Digital Subscriber Line, Subscriptor de línea digital asincrónico.
- AES** - (Advanced Encryption Standard), algoritmo de encriptación que utilice llaves de 128, 192 o 256 bits, que para mayor seguridad, deben tenerse passwords de más de 32.
- Backbone** - se refiere a las principales conexiones troncales de Internet.
- Bugs** - Agujeros de seguridad
- BWA** - Broadband Wireless Access, Ancho de banda de acceso inalámbrico
- DDoS** - Denial-of-service attack, sistema de detección de ataques
- Debugging** - Proceso por el cual se encuentran defectos en el código fuente de un programa.
- DES** - Data Encryption Standard, algoritmo que cifra la información tomando cadenas de 64 bits de largo, y haciendo procesos de cambios de base de binario a hexa.
- DLC** - Digital Loop Carrier,
- DSL** - Digital Subscriber Line, Subscriptor de línea Digital
- FDD** - Frequency division duplex, Comunicación bidireccional en división de frecuencia.
- Hot Spots** - es una zona con cobertura Wi-Fi, en el que un punto de acceso (access point) o varios proveen servicios de red a través de un proveedor de Internet inalámbrico (WISP)
- IPSEC** - IP security, Seguridad del protocolo de Internet
- LMDS** - Local Multipoint Distribution Service, Servicio de distribución local multipunto.
- LOS** - Line of Sight access, Acceso Con línea de Vista
- MAN** - Metropolitan Area Network, Red de área metropolitana
- MMDS** - Multichannel multipoint distribution service, servicio de distribución multicanal y multipunto.
- NLOS** - Non-Line of Sight access, Acceso Sin Línea de Vista

NOC	- Network Operations Center, Operador central de la red
OFDM	- Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexación por división de frecuencia ortogonal.
OFDMA	- Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Acceso a Multiplexación por división de frecuencia ortogonal
PBX	- Es una central telefónica que es utilizada para negocios privados
PDAs	- Personal digital assistants, Asistente Digital personal
PMP	- Point to Multipoint, Punto - Multipunto
PSTN	- Public Switched Telephone Network, conmutador de red telefónica publica.
QoS	- Quality of Service, Calidad de servicio
QSIG	- Protocolo de señalización entre una PBX en una Red Privada de Servicios.
RFC	- Request for Comments, requerimiento para comentario.
RSA	- El sistema criptográfico con clave pública RSA es un algoritmo asimétrico cifrador de bloques, que utiliza una clave pública, la cual se distribuye (en forma autenticada preferentemente), y otra privada, la cual es guardada en secreto por su propietario.
RTP	- Real Time Protocol, que permite la transmisión de datos en “tiempo real”, pero provee mecanismos para el envío rápido de información.
SDH	- Synchronous Digital Hierarchy, Herencia digital sincrónica
Softswich	- El softswitch actúa como gestor en el momento de interconectar las redes de telefonía tradicional, e incluso las redes inalámbricas 3G con las redes de conmutación de paquetes(IP), buscando como objetivo final lograr la confiabilidad y calidad de servicio similar a la que brinda una red de conmutación de circuitos con un menor precio.
Spoofing	- Robo de identidad
SS7	- Signaling System #7, protocolo de señalización
SRTP	- Secure Real-time Transfer Protocol, Es el mismo protocolo RTP pero con funciones de Seguridad; tales como: confidencialidad y verificación

de la información. Este protocolo es de gran utilidad para VoIP ya que no interfiere en la calidad de la conversación.

- TDD** - Time division duplex, Comunicación bidireccional en división de tiempo

- Tunneling** - La técnica de tunneling consiste en encapsular un protocolo de red sobre otro (protocolo de red encapsulados) creando un túnel dentro de una red de comunicaciones (o red de computadoras).

- UDP** - User Datagram Protocol, es el encargado de soportar los programas que tienen acceso a Internet, estas aplicaciones incluyen programas cliente-servidor, video conferencias.

- UDP/IP** - User Datagram Protocol (UDP) es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas

- UMTS** - Universal Mobile Telecommunications System, Sistema universal de telecomunicaciones móviles.

- WEP** - Wired Equivalent Privacy

- WFQ** - Weighted Fair Queuing

- WMAN** - wireless Metropolitan Area Network, Red inalámbrica de área metropolitana.

- WPA** - Wi-Fi Protected Access, Protección del acceso Wi-Fi

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El acceso inalámbrico de banda ancha (BWA-broadband wireless access) se ha convertido en la mejor manera de resolver el problema de la demanda para la conexión rápida de Internet y de los servicios integrados como son: datos, voz y vídeo. BWA (broadband wireless access) puede extender redes de fibra óptica y por este medio proporcionar más capacidad que las redes alámbricas (tradicionales), de esta forma se podrán brindar mejores servicios para las líneas de suscriptores digitales (DSL-Digital Subscriber Line).

Uno de los aspectos más importantes de la tecnología de BWA (broadband wireless access), es que las redes se pueden crear en solo semanas desplegando un número pequeño de estaciones base en edificios o postes para crear sistemas de gran capacidad del acceso.

En los últimos años, la gran cantidad de publicidad y confusión en torno a WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), obligó a crear un estándar al que todos pudieran regirse para este tipo de tecnología inalámbrica al cual se lo llamó WIMAX, que no es mas que el nombre comercial que recibió un grupo de tecnologías inalámbricas basadas en el estándar IEEE 802.16. Este estándar es una potente solución a las necesidades de redes de acceso inalámbricas de banda ancha BWA (broadband wireless access) de amplia cobertura y elevadas prestaciones. Ofrece una gran capacidad (hasta 75 Mbps por cada canal de 20 MHz), e incorpora mecanismos para la gestión de la calidad de servicio (QoS).

WiMAX permite amplias coberturas tanto con línea de vista entre los puntos a conectar (LOS) como sin línea de vista (NLOS) en bandas de frecuencias de uso común o licenciadas, asegura la interoperabilidad con el estándar para redes de área metropolitana inalámbricas o WMAN, en principio requiere estaciones base formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a multitud de estaciones que dan cobertura y servicio a edificios completos, convirtiéndose en una tecnología complementaria con WLAN. Su instalación es sencilla y rápida, y su precio mucho mas competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico.

Actualmente, en el sector del Valle de Tumbaco, ANDINATEL S.A. tiene instalada una central digital, que ofrece únicamente servicios de voz y que se encuentra muy limitado en su capacidad. La central tiene una capacidad máxima de 9.728 líneas y se encuentran utilizadas en un 95%, esto ya no permite satisfacer las necesidades de demanda requeridas para este sector. Según un estudio de demanda realizado por ANDINATEL S.A. en Enero del 2006, se requiere brindar servicio a 4000 clientes adicionales.

Adicional a la capacidad, la central telefónica del sector de Tumbaco presenta problemas críticos de funcionamiento, limitaciones operativas y de servicios lo cual hasta el momento han permitido proveer solamente de servicio de voz. Como hemos visto los avances tecnológicos en el mundo han ido creciendo a gran velocidad, con lo cual se ha hecho necesario utilizar las nuevas tecnologías para brindar servicios integrados de voz, datos y video. El disponer de redes de banda ancha (WiMAX) permite utilizar aplicaciones como voz sobre IP, video conferencias e Internet de alta velocidad.

La red de acceso constará de una estación base que conectará directamente al softswitch a través de un sistema de transmisión por cable de fibra óptica, lo que le permitirá la interconexión de esta plataforma con toda la red de telecomunicaciones

de ANDINATEL S.A. y garantizará el servicio de telecomunicaciones para los clientes ubicados en el sector de TUMBACO.

1. Sistemas de Comunicación Inalámbricos

Actualmente las transmisiones inalámbricas constituyen una eficaz y poderosa herramienta que permite la transferencia de voz, datos y video, sin la necesidad de utilizar cables para establecer la conexión.

Esta transferencia de información se logra a través de la emisión de ondas de radio, permitiendo así tener dos grandes ventajas las cuales son la movilidad y flexibilidad del sistema en general.

En esta red punto-multipunto PMP (point to multipoint), de tecnología de acceso inalámbrico en la banda ancha, se aplica el Estándar IEEE 802.16 para un radio de cobertura de aproximadamente 50 Km. (30 millas) a 75 Mbps (teóricamente 20 veces más rápido que banda ancha).

WiMax permite la formación de redes de área metropolitanas por su radio de cobertura (Metropolitan Area Network – MAN) en el espectro de 10 a 60 GHz cuando existe línea de vista en el enlace. Si no existe línea de vista NLOS (non-line of sight access) en el espectro de 2 a 11 GHz con un radio de cobertura que puede variar entre 50 a 80 Km. (31 a 50 millas) para enlaces PMP.

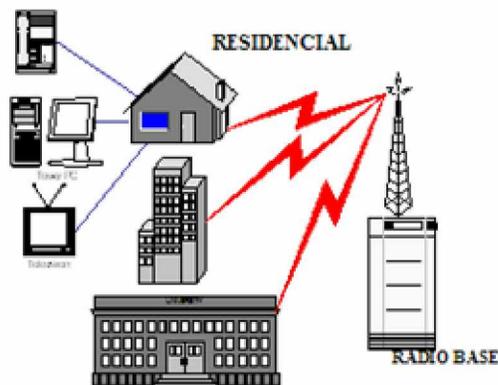


Figura 1.1. Diagrama de distribución de una red inalámbrica

1.1. Bluetooth

Es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales

La tecnología Bluetooth comprende hardware, software y requerimientos de inter-operatividad, por lo que para su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática.

El primer objetivo para los productos Bluetooth de primera generación eran los entornos de la gente de negocios que viaja frecuentemente. Por lo que se debería pensar en integrar el chip de radio Bluetooth en equipos como: PCs portátiles,

teléfonos móviles, PDAs (Personal digital assistants) y auriculares. Esto originaba una serie de cuestiones previas que deberían solucionarse tales como:

- El sistema debería operar en todo el mundo.
- El emisor de radio deberá consumir poca energía, ya que debe integrarse en equipos alimentados por baterías.
- La conexión deberá soportar voz y datos, y por lo tanto aplicaciones multimedia.

Para poder operar en todo el mundo es necesaria una banda de frecuencia abierta a cualquier sistema de radio independientemente del lugar del planeta donde nos encontremos. Sólo la banda ISM (médico-científica internacional) de 2,45 Ghz cumple con éste requisito, con rangos que van de los 2.400 Mhz a los 2.500 Mhz.

Debido a que la banda ISM está abierta a cualquiera, el sistema de radio Bluetooth deberá estar preparado para evitar las múltiples interferencias que se pudieran producir. Éstas pueden ser evitadas utilizando un sistema que busque una parte no utilizada del espectro o un sistema de salto de frecuencia. En los sistemas de radio Bluetooth se suele utilizar el método de salto de frecuencia debido a que ésta tecnología puede ser integrada en equipos de baja potencia y bajo costo. Éste sistema divide la banda de frecuencia en varios canales de salto, donde, los transceptores, durante la conexión van cambiando de uno a otro canal de salto de manera pseudo-aleatoria. Con esto se consigue que el ancho de banda instantáneo sea muy pequeño y también una propagación efectiva sobre el total de ancho de banda.

Para asegurar la protección de la información se ha definido un nivel básico de encriptación, que se ha incluido en el diseño del chip de radio para proveer de

seguridad en equipos que carezcan de capacidad de procesamiento, las principales medidas de seguridad son:

- Una rutina de pregunta-respuesta, para autenticación
- Una corriente cifrada de datos, para encriptación
- Generación de una clave de sesión (que puede ser cambiada durante la conexión)

Tres entidades son utilizadas en los algoritmos de seguridad: la dirección de la unidad Bluetooth, que es una entidad pública; una clave de usuario privada, como una entidad secreta; y un número aleatorio, que es diferente por cada nueva transacción.

Como se ha descrito anteriormente, la dirección Bluetooth se puede obtener a través de un procedimiento de consulta. La clave privada se deriva durante la inicialización y no es revelada posteriormente. El número aleatorio se genera en un proceso pseudo-aleatorio en cada unidad Bluetooth.

1.2. WLL (Wireless Local Loop)

Es habitual oír hablar de WLL "Wireless Local Loop" o Acceso Local Inalámbrico, englobando en este concepto otros sistemas de mayor capacidad como los de Acceso Radio Punto - Multipunto de Banda Ancha. En realidad es una cuestión de la capacidad de transmisión y no hay un límite normado para separar unos de otros, podemos diferenciar como sistemas WLL aquellos que no alcanzan la capacidad de 2Mbps por enlace.

Wireless Local Loop es un sistema en el cual la central de comunicaciones local y los suscriptores, se conectan usando la tecnología de radio bases en lugar de hacerlo a través de cables. Los servicios de acceso de WLL (Wireless Local Loop) generalmente están basados en tipos diferentes de tecnologías: análogas o digitales, LMDS (Local Multipoint Distribution Service), o distintos sistemas desarrollados para aumentar las capacidades de la telefonía inalámbrica.

El sistema WLL fijo tiene cuatro usos potenciales: para llevar los servicios de telefonía a las áreas desatendidas en el mundo; para proveer de servicios avanzados a las áreas de negocios; para reemplazar los sistemas cableados en las zonas comerciales y residenciales; y como una alternativa de tecnología de bucle local para mercados nuevos o liberalizados. WLL está siendo implementado en países en desarrollo que no cuentan con sistemas de cableados adecuados. De manera que WLL ofrece las ventajas de una instalación y configuración rápida, lo cual elimina los altos costos asociados al tendido de cables. De hecho, algunos países en vías de desarrollo utilizan casi exclusivamente, sistemas inalámbricos y no están invirtiendo en fibra u otras alternativas cableadas. La tecnología WLL es particularmente atractiva en lugares donde la topología del terreno hace que la instalación de cables sea problemática. WLL también puede satisfacer la necesidad de expandir el número de usuarios conectados a la red, rápidamente.

El término Wireless Local Loop, también es usado para referirse a sistemas móviles de bajo poder. Semejantes sistemas están típicamente basados en microteléfonos de uso dual que pueden ser operados a través de estaciones bases de la red de la oficina o del hogar para uso de telefonía inalámbrica y a través de la red pública cuando los usuarios están fuera del alcance de la estación base matriz. Los costos en infraestructura tienden a ser menores que la de los sistemas celulares, ya que las estaciones base son más simples; sin embargo, la movilidad de tales

sistemas tiende a ser limitada ya que las celdas son más pequeñas y están restringidas a un área geográfica específica.

1.2.1. Wi-Fi (Wireless Fidelity)

Wi-Fi (Wireless Fidelity) empezó a hacerse popular como una tecnología que, al igual que Bluetooth, interconectaba diferentes periféricos al ordenador o al Palm sin necesidad de cables, aunque a diferencia de éste, tiene un mayor rango de alcance. Entonces era conocida con el poco comercial nombre de 802.11.

Wi-Fi es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11. Wi-Fi, se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, pero es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance (anteriormente la Wireless Ethernet Compatibility Alliance), la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11x., Hay, al menos, dos tipos de Wi-Fi, basado cada uno de ellos en un estándar IEEE 802.11 como son: IEEE 802.11b e IEEE 802.11g que disfrutaron de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbps y 54 Mbps, respectivamente. Existe también el estándar IEEE 802.11n que trabaja a 2.4 GHz a una velocidad de 108 Mbps. Aunque estas velocidades de 108 Mbps son capaces de alcanzarse ya con el estándar 802.11g gracias a técnicas de aceleramiento que consiguen duplicar la transferencia teórica. Actualmente existen ciertos dispositivos que permiten utilizar esta tecnología, denominados Pre-N, sin embargo, no son del todo seguros ya que el estándar no está completamente revisado y aprobado.

En los Estados Unidos y Japón, se maneja también el estándar IEEE 802.11a, conocido como WIFI 5, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. En otras zonas, como la Unión Europea, 802.11a no está aprobado todavía para operar en la banda de 5 GHz, y los reguladores europeos están todavía considerando el uso del estándar europeo HIPERLAN.

La tecnología inalámbrica Bluetooth también funciona a una frecuencia de 2.4 GHz por lo que puede presentar interferencias con Wi-Fi, sin embargo, en la versión 1.2 y mayores del estándar Bluetooth se ha actualizado su especificación para que no haya interferencias en la utilización simultánea de ambas tecnologías.

Uno de los problemas más graves a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi es la seguridad. Un muy elevado porcentaje de redes son instaladas por administradores de sistemas y redes por su simplicidad de implementación sin tener en consideración la seguridad y, por tanto, convirtiendo sus redes en redes abiertas, sin proteger la información que por ellas circulan. Existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes. Las más comunes son la utilización de protocolos de seguridad de datos específicos para los protocolos Wi-Fi como el WEP y el WPA que se encargan de autenticación, integridad y confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos, o IPSEC (túneles IP) y el conjunto de protocolos IEEE 802.1X, proporcionados por otros dispositivos de la red de datos y de reconocida eficacia a lo largo de años de experiencia. Actualmente existe el protocolo de seguridad llamado WPA2, que es una mejora relativa a WPA, es el mejor protocolo de seguridad para Wi-Fi en este momento. Para su utilización en PCs con Windows XP se requiere el Service Pack 2 y una actualización adicional.

1.2.2. Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.MAN) proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología portátil LMDS.

Integra la familia de estándares IEEE 802.16 y el estándar HyperMAN del organismo de estandarización europeo ETSI. El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66 GHz y requería torres LOS. La nueva versión 802.16a, ratificada en marzo de 2003, utiliza una banda del espectro más estrecha y baja, de 2-11 GHz, facilitando su regulación. Además, como ventaja añadida, no requiere de torres LOS sino únicamente del despliegue de estaciones base (BS) formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a unas 200 estaciones suscriptoras (SS) que pueden dar cobertura y servicio a edificios completos. Su instalación es muy sencilla y rápida (culminando el proceso en dos horas) y su precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico como Wi-Fi.

Esta tecnología de acceso transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias. Está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 48 kilómetros permitiendo la conexión sin línea vista, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con una eficiencia espectral de 5.0 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz. Este estándar soporta niveles de servicio (SLAs) y calidad de servicio (QoS).

1.3. Propagación en espacio libre

Las ondas de radio u ondas Hertzianas son ondas electromagnéticas. Como una onda de radio es una vibración, al cabo de un período, la onda habrá recorrido una distancia llamada longitud de onda. La longitud de onda es una característica esencial en el estudio de la propagación; para una frecuencia dada depende de la velocidad de propagación de la onda. El ámbito de las frecuencias de las ondas de radio se extiende de algunas decenas de kilohertzios hasta los límites de los infrarrojos.

En espacio libre, cuanto más se aleje de la antena, la intensidad del campo electromagnético irradiado es más débil. Esta variación es regular en un medio homogéneo, en el vacío, por ejemplo. En un medio no homogéneo, como por ejemplo, en la superficie de la Tierra, numerosos fenómenos contradicen esta norma: es frecuente que la onda recibida interfiere directamente con un reflejo de esta onda sobre el suelo, un obstáculo o sobre una capa de la ionosfera.

Para una buena recepción, es necesario que el campo eléctrico de la onda captada tenga un nivel suficiente. El valor mínimo de este nivel depende de la sensibilidad del receptor, de la ganancia de la antena y la comodidad de escucha deseada. En el caso de las transmisiones numéricas la comodidad de escucha es sustituida por el nivel de fiabilidad requerido para la transmisión. La intensidad del campo eléctrico se mide en voltio/metro.

1.3.1. Propagación de las ondas de radio

Puede ser esencial entender los principios de la propagación de las ondas para poder predecir las oportunidades y las condiciones para establecer una conexión de

radio entre dos puntos de la superficie de la Tierra o entre la Tierra y un satélite. Entender estos principios permite por ejemplo:

- El cálculo de la potencia mínima de una emisora de radiodifusión con el fin de garantizar una recepción cómoda sobre una zona determinada;
- La determinación de la posición de un enlace para la radiotelefonía móvil;
- La estimación de las oportunidades de establecer una conexión transcontinental sobre ondas cortas;
- El estudio de los fenómenos de interferencia entre emisores;
- El cálculo del campo electromagnético cerca de un equipo emisor (radar, enlace, emisora de televisión...) para determinar los riesgos incurridos por la población que se encuentra cerca.

Según la frecuencia, el tiempo con relación al ciclo solar, la temporada, la hora del día, la dirección y la distancia entre el emisor y la estación receptora se tiene que el nivel de la señal recibida en el trayecto se elevará a más o menos ejecutable.

En la práctica es frecuente que dos o varios fenómenos se apliquen simultáneamente al trayecto de una onda: reflexión y difusión, difusión y refracción... Estos fenómenos aplicados a las ondas radioeléctricas permiten a menudo establecer conexiones entre puntos que no están en vista directa.

1.3.2. Margen de Desvanecimiento

Es un “factor de acolchonamiento” que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio, tal como la propagación de múltiples trayectorias, sensibilidad a superficie rocosa, condiciones

climatológicas, objetivos de confiabilidad y es válido para una distancia máxima de 400 Km.

Se define sobre el mismo el Margen de Desvanecimiento FM (Fading Margin) como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER. El Fm se calcula como:

$$F_m \text{ (dB)} = 30 \times \log D + 10 \times \log (6 \times A \times B \times F) - 10 \times \log (1 - R) - 70$$

En donde:

D: Distancia del transmisor al objetivo, en Km.

F: Frecuencia de la portadora en GHz.

R: Objetivo de confiabilidad de la transmisión, en formato decimal.

A: Factor de Rugosidad (Tabla 1.1)

B: Factor Climático (Tabla 1.2)

Tabla 1.1. Factor de Rigurosidad del terreno

A – Factor de Rugosidad de Terreno (Valores característicos)	
4,00	Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.
3,00	Sembrados densos; pastizales; arenales
2,00	Bosques (la propagación va por encima)
1,00	Terreno normal
0,25	Terreno rocoso (muy) disparejo

Tabla 1.2. Factor de Análisis climático anual

B - Factor de Análisis climático anual (del tipo promedio, anualizado)	
1,000	área marina o condiciones de peor mes
0,500	Prevalecen áreas calientes y húmedas

0,250	Áreas mediterráneas de clima normal
0,125	Áreas montañosas de clima seco y fresco

1.3.3. Índice de Refracción

La refracción es el cambio en la dirección de propagación de una onda, cuando pasa de un medio a otro en el que su velocidad es distinta, o cuando hay una variación espacial de la velocidad de la onda en el mismo medio.

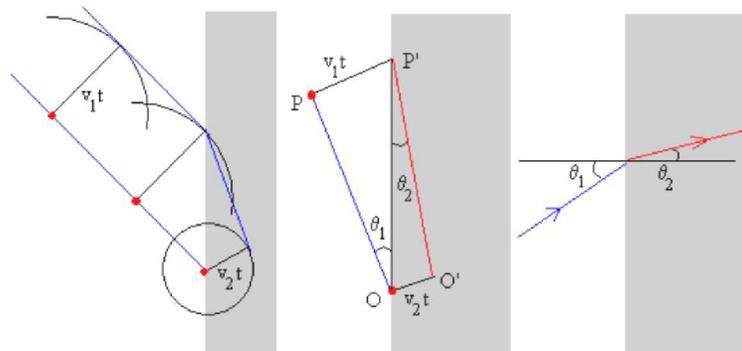


Figura 1.2. Refracción entre dos medios

A la izquierda de la figura 1.2, se ha dibujado el frente de ondas que se refracta en la superficie de separación de dos medio, cuando el frente de ondas incidente entra en contacto con el segundo medio. Las fuentes de ondas secundarias situadas en el frente de ondas incidente, producen ondas que se propagan en todas las direcciones con velocidad v_1 en el primer medio y con velocidad v_2 en el segundo medio. La envolvente de las circunferencias trazadas nos da la forma del frente de ondas después de tiempo t , una línea quebrada formada por la parte del frente de ondas que se propaga en el primer medio y el frente de ondas refractado que se propaga en el segundo.

El frente de ondas incidente forma un ángulo θ_1 con la superficie de separación, y frente de ondas refractado forma un ángulo θ_2 con dicha superficie.

La relación entre los ángulos θ_1 y θ_2 es:

$$\frac{v_1}{\text{sen } \theta_1} = \frac{v_2}{\text{sen } \theta_2}$$

Se denomina índice de refracción, al cociente entre la velocidad de la luz c en el vacío y la velocidad v de la luz en un medio material transparente.

$$n = c/v$$

La ley de Snell de la refracción se expresa en términos del índice de refracción

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$$

1.3.4. Interferencia de dos ondas de radio

Es necesario distinguir la interferencia causada por dos señales independientes, en frecuencias muy cercanas, aparece el fenómeno de interferencia cuando la onda directa irradiada por un emisor se recibe al mismo tiempo que una onda reflejada. En este último caso, los tiempos de recorrido de las dos ondas son diferentes y las dos señales recibidas son desfasadas.

Los fenómenos de interferencias pueden ser muy molestos cuando el tiempo de recorrido de la onda indirecta varía. La amplitud de la señal recibida varía entonces a un ritmo más o menos rápido.

Dadas dos antenas, una transmisora y otra receptora, ubicadas a cierta distancia, a la receptora le pueden llegar las señales de la transmisora por varios caminos:

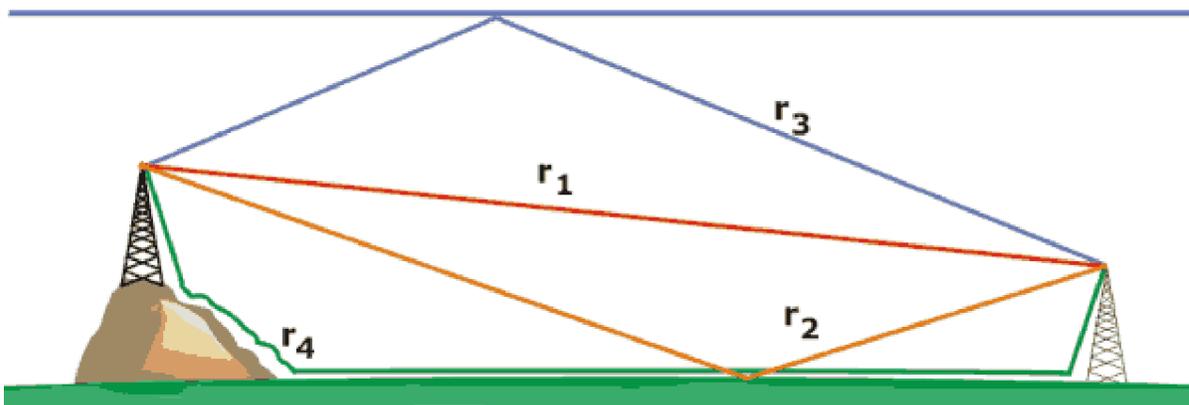


Figura 1.3. Propagación de Ondas en un enlace

- La onda directa (rayo r1).
- La onda reflejada en la tierra (rayo r2).
- La onda refractada en la ionosfera (rayo r3).
- La onda de superficie (rayo r4).

(La onda directa y la reflejada en tierra se denominan: "La onda espacial"; la onda espacial + la onda de superficie se denominan colectivamente: "La onda terrestre").

De estas cuatro formas principales de propagación y en el espectro que nos interesa, se pueden eliminar dos: La onda refractada en la ionosfera, pues tal mecanismo no es frecuente debido a que el índice de refracción de la misma es insuficiente para devolver la señal a la tierra. La onda de superficie pues las pérdidas en la tierra son muy elevadas a tales frecuencias y la señal es absorbida muy

rápidamente. Por ello solo tomaremos en cuenta lo que sucede con las ondas directa y reflejada en la superficie de la tierra (onda espacial).

Se puede ver claramente en la figura 1.4 que la distancia que debe recorrer el rayo 1 es más corta que la que debe recorrer el rayo 2, esto implica que las señales que arriban a la antena, normalmente no estarán en fase. Para averiguar esta diferencia de fase se debe hallar cuál es la diferencia de caminos recorridos por los rayos 1 y 2.

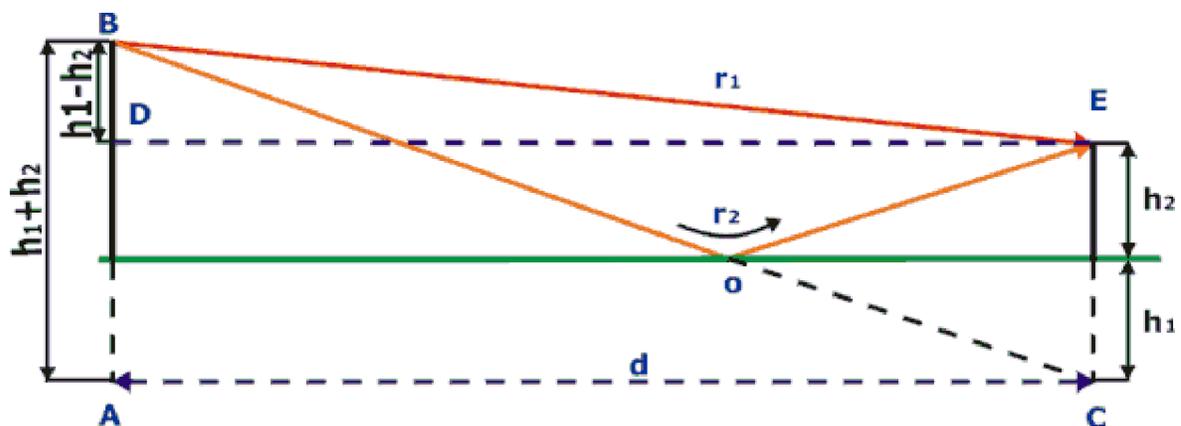


Figura 1.4. Comparación entre rayos r_1 y r_2

A la antena receptora, pues, llegan dos señales senoidales con igual frecuencia y distinta fase que se superponen. Falta una última consideración cuando la onda incide sobre la tierra con un ángulo dado sufre un cambio de fase que depende de:

- La polarización de la onda (si es vertical u horizontal).
- El ángulo de incidencia.
- La constante dieléctrica y la conductividad de la tierra.
- La longitud de onda.

Todos estos factores (que intervienen en el llamado "coeficiente de reflexión"), se combinan de modo tal que, en puntos alejados de la antena trasmisora donde el ángulo de incidencia de los rayos es grande (rayo "rasante"; recordando que el ángulo de incidencia se mide con respecto a la normal a la superficie terrestre), se puede considerar que la onda se refleja con la misma magnitud (es decir, sin pérdida apreciable de energía) y con un desfase de 0° o 180° para ondas polarizadas horizontal y vertical respectivamente.

1.3.5. Alcance de Línea de Vista

Teniendo en cuenta la esfericidad de la tierra, se puede calcular la distancia en línea recta entre dos puntos elevados sobre el terreno, imaginándola una esfera totalmente lisa, es decir exenta de irregularidades. Tal esfera resulta de suponer que el planeta tiene toda su superficie al nivel del mar. A tal cuerpo imaginario se lo denomina "geoide" (en realidad el geoide no determina una esfera perfecta dado que el radio del planeta es ligeramente mayor en el Ecuador que en los polos; tal ensanchamiento es de aproximadamente 21,3 Km y es despreciable para los fines que no ocupan).

Podría pensarse que al suponer a la tierra "lisa" se comete un error importante; en efecto, así sería si no se contara de la altura sobre el nivel del mar de los distintos puntos geográficos, pero afortunadamente se puede encontrar tal información en las sociedades geográficas (en nuestro país, el Instituto Geográfico Militar).

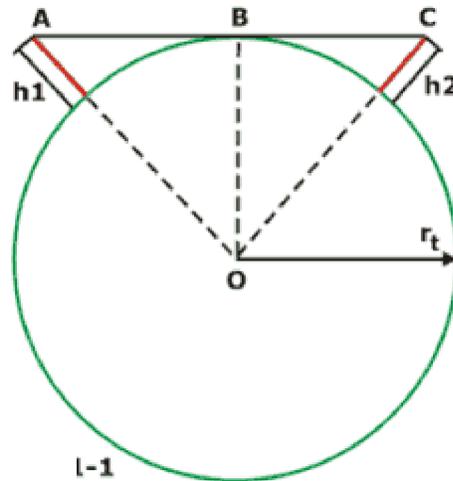


Figura 1.5. Línea de Vista teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra

De esta manera las alturas que habremos de considerar en los cálculos, serán la de los puntos en cuestión sobre la superficie real, más la altura de los mismos sobre el nivel del mar. Para este efecto y para obtener menos errores en nuestros cálculos se utiliza el llamado Factor K que implica poder dar una pequeña variación a las alturas dependiendo del lugar donde se encuentren, y ahí podemos observar si existe o no línea de vista entre las antenas.

1.3.6. Curvatura de la Tierra o Factor K

El Valor de K no es simplemente constante, este depende de las condiciones atmosféricas. De resultados experimentales que han obtenido las variaciones de K, estas variaciones dependían de la latitud pero permanecían constante la variación en la longitud.

Se observó también que K varía en las diferentes estaciones así se determinó que K es mayor en el verano que en el invierno, determinándose valores razonables para K como son:

- En Zona fría: $K= 4/3$ a $2/3$
- En Zona Templada $K= 4/3$
- En Zona Tropical $K= 4/3$ a 2

Con estos valores nosotros podemos calcular la variación de la altura curvatura de la tierra (hk), para esto nosotros podemos partir de la definición de la formula que es:

$$hk = \frac{d1.d2}{2.K.a}$$

Donde: hk = altura de la curvatura de la tierra
 $d1$ = distancia 1 hasta el obstáculo
 $d2$ = distancia 2 hasta el obstáculo
 K = Curvatura de la tierra
 a = Radio de la Tierra = 6370 Km

También se denomina a a_e al Radio equivalente de la Tierra

$$a_e = K.a$$

Con esto podemos obtener la variación de la tierra o la tierra equivalente dependiendo del lugar donde se encuentre el enlace. Como podemos observar en valor en zona templada es de $K=4/3$ que es el sitio base de el cual se pueden tomar las variaciones entonces tenemos:

- Para 4/3

$$hk_{4/3} = \frac{d1.d2x10^6}{2.(4/3).(6370x10^3)}$$

$$hk_{4/3} = \frac{d1.d2}{16.98} [Km]$$

- Para 2/3

$$hk_{2/3} = \frac{d1.d2x10^6}{2.(2/3).(6370x10^3)}$$

$$hk_{2/3} = \frac{d1.d2}{10.2} [Km]$$

- Para 2

$$hk_2 = \frac{d1.d2x10^6}{2.(2).(6370x10^3)}$$

$$hk_2 = \frac{d1.d2}{25.48} [Km]$$

- Variación de 2/3 a 4/3

$$\Delta hk_{2/3a4/3} = hk_{2/3} - hk_{4/3}$$

$$\Delta hk_{2/3a4/3} = \frac{d1.d2}{25} [Km]$$

- Variación de 4/3 a 2

$$\Delta hk_{4/3a2} = hk_{4/3} - hk_2$$

$$\Delta hk_{4/3a2} = \frac{d1.d2}{51} [Km]$$

Como podemos observar la variación de K, cuando pasa de un valor $K= 4/3$ (Zona Templada) para un invierno riguroso $K= 2/3$ significa que un obstáculo va a tener un aumento de:

$$\frac{d1.d2}{25} [Km]$$

Y en cambio cuando en verano K varía de $4/3$ a $K= 2$ la altura del obstáculo disminuye de:

$$\frac{d1.d2}{51} [Km]$$

Con esto tenemos que tener muy en cuenta que para nuestro enlace tenemos que tener libre nuestra primera zona de fresnel (ho), con lo que necesitamos que por lo menos este libre en los siguientes casos

- ho completamente libre para $K = 4/2$ y $K= 2$
- 0.6 ho libre para cuando $K= 2/3$ (60% libre en el peor de los Casos)

1.3.7. Zona de Fresnel

Tanto en óptica como en comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas.

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un

aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido. Debiendo considerar la curvatura de la tierra (K), que generalmente puede tomar valores de $K=2/3$ (peor caso) y $K=4/3$ (caso optimo)

La noción de la zona de Fresnel es muy útil para las transmisiones Radioeléctricas, el margen sobre obstáculos se calcula con relación al radio de la primera zona de Fresnel. La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de una antena de radio. Esta zona se debe determinar primero, para mantenerla libre de obstrucciones.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de K (curvatura de la tierra) considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con $K=2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel.

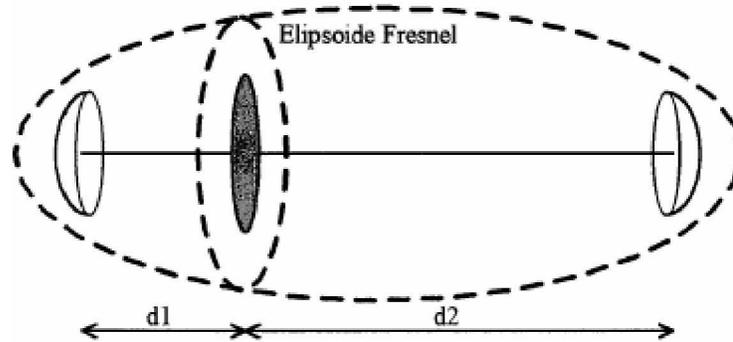


Figura 1.6. Zona de Fresnel

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. La primera zona de Fresnel es un elipsoide, en la cual la diferencia entre la distancia total sobre los Locus desde los 2 focos y la trayectoria directa es constante igual a $\lambda/2$. En este punto, La primera zona de Fresnel por definición :

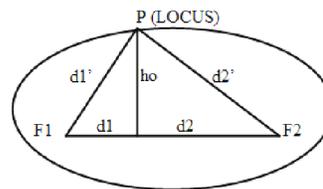


Figura 1.7: Primera Zona de Fresnel

Como podemos ver en la figura 1.7 tenemos:

$$(d1' + d2') - (d1 + d2) = \lambda / 2$$

Con la que tenemos que la primera zona de Fresnel se calcula:

$$ho = \sqrt{\lambda \frac{d1 * d2}{d}}$$

$$d = d1 + d2$$

Las distancias tienen que estar en metros.

1.3.8. Cálculo del Factor de Tolerancia C

El Factor de Tolerancia C es la distancia que existe entre el haz radioeléctrico y la montaña más significativa o el obstáculo más alto del enlace como se puede ver en la figura 1.8:

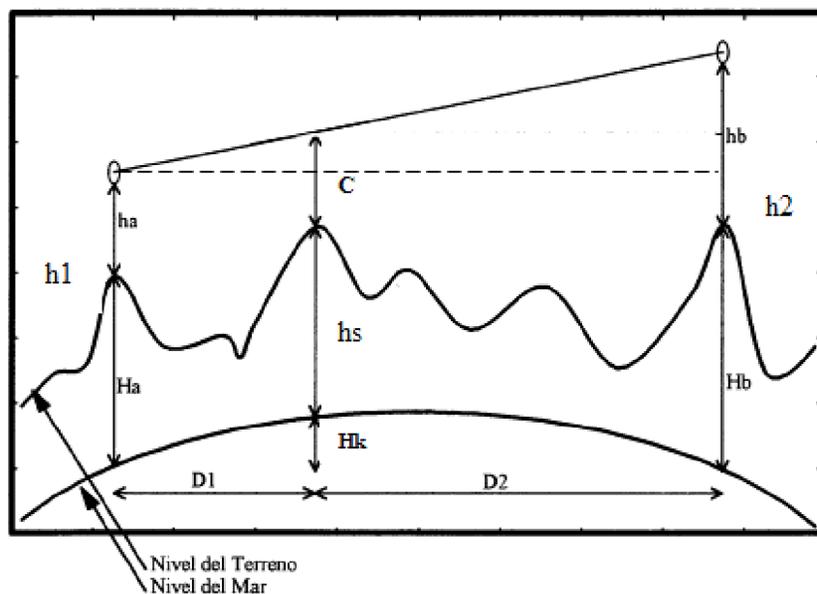


Figura 1.8. Factor de Tolerancia C

En donde podemos apreciar en la figura 1.8:

$$h_1 = H_a + h_a$$

$$h_2 = H_b + h_b$$

Con lo que por semejanza de triángulos y por reemplazo de fórmulas obtenemos que para calcular el factor de tolerancia C tenemos:

$$C = h1 + \frac{D1}{D2}(h2 - h1) - hs - hk$$

Donde: hs= Altura del obstáculo
 hk= Altura de la Curvatura de la tierra entre el enlace A y B

1.3.9. Pérdidas Totales

El cálculo del balance de potencias es el procedimiento que se utiliza normalmente para estimar de una manera rápida si un radio enlace funcionará adecuadamente. No obstante, debe tenerse en cuenta que se trata de un cálculo teórico, y que por lo tanto está sujeto a variaciones debidas a múltiples factores: apuntamiento de las antenas, reflexiones, interferencias no deseadas, etc. Así pues, se puede utilizar durante la fase inicial de diseño del radio enlace, pero en cualquier caso habrá que realizar las oportunas comprobaciones, medidas y ajustes durante la posterior fase de instalación para asegurar el buen funcionamiento del sistema. En la práctica, los radio enlaces se suelen diseñar para obtener un margen de pérdidas de unos 5-6 dB, aunque este valor es muy dependiente de la distancia, frecuencia y tipo de sistema.

Las pérdidas totales del Radio Enlace se calculan de la siguiente manera:

$$L_T = L_e + L_g + L_c$$

Donde: L_T = Pérdidas Totales
 L_e = Pérdidas en el Espacio Libre
 L_g = Pérdidas en las Guía de Onda
 L_c = Pérdida en los Circuladores

- **Pérdidas Espacio Libre**

Se trata de las pérdidas de propagación que sufre la señal radioeléctrica en condiciones de espacio libre: sin ningún obstáculo en el camino, es decir, visión directa entre las antenas. En esta magnitud no suelen incluirse otras pérdidas adicionales debidas a lluvia, absorción atmosférica, etc. Estas pérdidas están relacionadas directamente con la distancia del radioenlace y la frecuencia de funcionamiento mediante la siguiente expresión:

$$L_e \text{ (dB)} = 92,44 + 20 \log_{10} f \text{ (GHz)} + 20 \log_{10} d \text{ (km)}$$
 (Fórmula de Friis)

- **Pérdidas en las Guías de Onda**

La Pérdida en la guía de onda viene dada por el fabricante, y se encuentra expresada en atenuación [dB]/metro[m], la distancia total de la guía de onda debe tomarse desde la torre hasta la caseta de comunicaciones, por tanto la pérdida en guías de onda esta dado por:

$$L_g = (h + d) * At / m * 2$$

Donde: L_g = Pérdidas en la guía de onda
 h = Altura de la Torre
 d = Distancia a la caseta de comunicaciones
 At/m = Atenuación de la guía dada por el fabricante

- **Pérdidas por Circuladores**

La combinación de las señales de transmisión y recepción sobre una misma antena es logrado por un dispositivo llamado circulador. La combinación del circulador y filtro es usualmente llamado duplexor o diplexer. Un circulador transfiere la señal con muy baja pérdida al puerto deseado mientras que brinda un alto aislamiento para la señal no deseada en el otro puerto. Además la señal de transmisión es transferida a la antena con muy baja pérdida y muy poca fuga en el receptor con la misma situación en la dirección de recepción, Las pérdidas por circulador y filtros son típicamente de solo 2 dB cada uno.

- **Pérdidas adicionales de propagación**

Aquí se incluyen todas aquellas pérdidas adicionales que sufren las señales radioeléctricas durante su propagación y que no pueden atribuirse al término de pérdidas básicas en espacio libre. De este modo, se tienen pérdidas por absorción atmosférica e hidrometeoros (lluvia, nieve, niebla), fenómenos de difracción (obstrucción parcial o total del haz radioeléctrico), reflexiones, etc.

CAPITULO II

ANÁLISIS DEL PROYECTO DE PLANTA EXTERNA DE ANDINATEL S.A.

Según el levantamiento de las necesidades en el área de la población de Tumbaco, realizado por ANDINATEL S.A., se determinó que en el diseño es necesario dos anillos por la geografía propia del terreno, con tres sistemas DLC (Digital Loop Carrier) cada uno los cuales los llamaremos nodos, en los cuales se va a dar servicio a los barrios de La Tola Grande, La Tola Chica, La Morita, Collaqui, Buena Esperanza, Urb. Las Peñas, El Arenal, Urb. La Morita, Churoloma, Barrio Plazapamba. Como se pueden observar en la figura # 2.1.

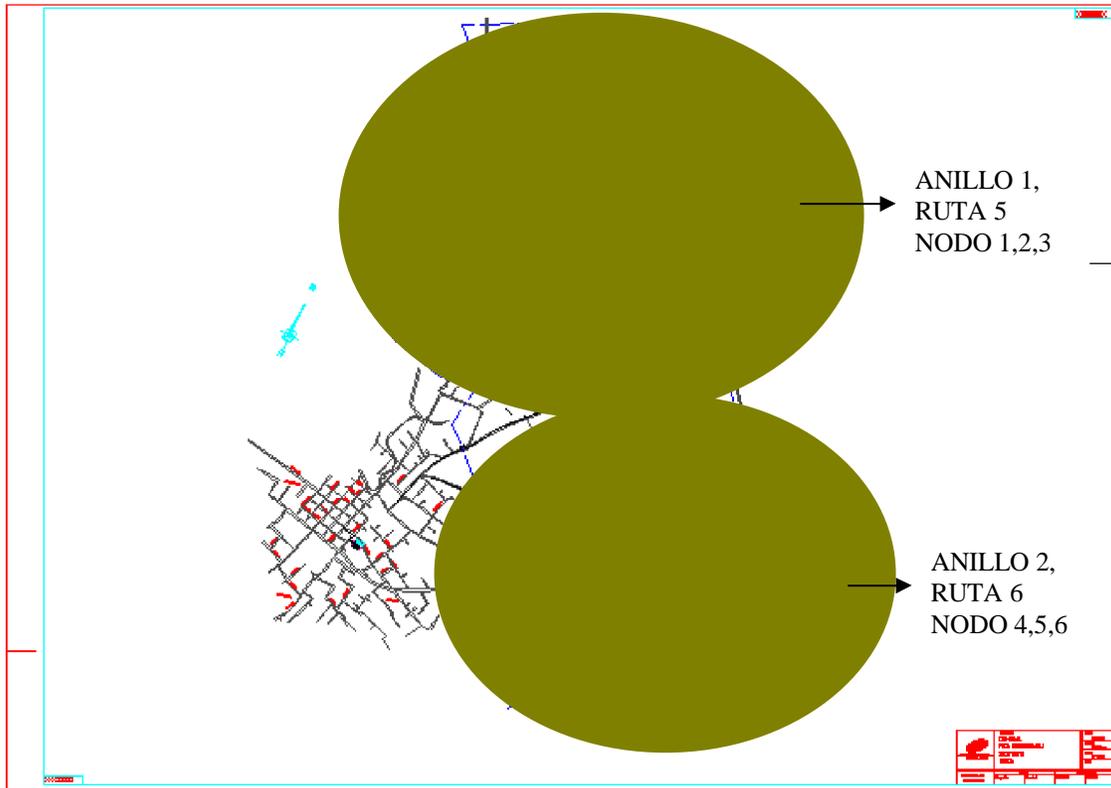


Figura 2.1. Diseño anillos DLC para sector de Tumbaco

En la Figura 2.1 podemos apreciar claramente que el Anillo 1 o Ruta 5, se encuentran los nodos 1, 2 y 3; los cuales representan a los barrios Buena Esperanza, Churoloma y Collasqui Alto respectivamente, en los cuales se instalará un equipo DLC en cada uno, con lo que las capacidades necesarias para estos nodos se indican en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Anillo 1 DLC, Tumbaco Ruta 5

<i>ANILLO 1 DLC: TUMBACO RUTA 5</i>				
NODO	CAPACIDAD TOTAL [Abonados]	CAPACIDAD INSTALADA [Abonados]	ABONADOS FUNCIONANDO	RADIO DE COBERTURA [m]
Nodo 1	900	300	273	1.500
Nodo 2	700	400	370	1.500
Nodo 3	300	0	0	1.200

TRAMO	DISTANCIA [m]	CABLE DE FIBRA (HILOS)
Central - Nodo 1	3,509.10	12
Central - Nodo 2	3,635.10	12
Nodo 2 – Nodo 3	2,241.50	12

De igual manera en la Figura 2.1 podemos observar que el Anillo 2 o Ruta 6, se encuentran los nodos 4, 5 y 6; los cuales representan a los barrios La Morita, Tola Alta y El Arenal respectivamente, en los cuales se instalará un equipo DLC en cada uno, con lo que las capacidades necesarias para estos nodos se indican en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Anillo DLC, Tumbaco Ruta 6

<i>ANILLO DLC: TUMBACO RUTA 6</i>				
NODO	CAPACIDAD TOTAL [Abonados]	CAPACIDAD INSTALADA [Abonados]	ABONADOS FUNCIONANDO	RADIO DE COBERTURA [m]
Nodo 4	400	150	136	1.200
Nodo 5	800	200	185	1.100
Nodo 6	450	0	0	1.400
TRAMO	DISTANCIA [m]	CABLE DE FIBRA (HILOS)		
Central - Nodo 4	4,216.00	12		
Central - Nodo 5	4,670.00	12		
Nodo 2 – Nodo 6	1,800.00	12		

Después del levantamiento de la demanda y la selección de solución, se realizaron los diseños de los enlaces de fibra óptica, red primaria, red secundaria y esquemas de empalmes obteniendo los planos correspondientes.

Se estableció adicionalmente el presupuesto necesario para la construcción de la planta externa que permitirá realizar la ampliación de la Red de Telecomunicaciones en el sector de Tumbaco de la ciudad de Quito.

En la Tabla 2.3, se resume la capacidad de ampliación necesaria en cada distrito del Sector de Tumbaco de acuerdo a los Diseños de Proyectos de la Gerencia de Accesos de ANDINATEL S.A. en el año 2005.

Tabla 2.3. Capacidad del Proyecto para la Gerencia de Accesos¹

DISTRITO (*)	CAPACIDAD (*)			
	ACTUAL [Pares Primario/secundarios]	LIBRE [Pares Primario/secundarios]	PROYECTO [Pares Primario/secundarios]	FINAL [Pares Primario/secundarios]
RUTA 5				
07 (Nuevo)	0 / 0	/	100 / 150	100 / 150
03*	150 / 200	/	400 / 400	400 / 600
01*	150 / 200	/	400 / 300	400 / 500
06	250 / 350	/	250 / 250	500 / 600
05*	200 / 270	/	400 / 280	400 / 550
04*	200 / 250	/	300 / 130	300 / 380
04A (Nuevo)	0 / 0	/	300 / 420	300 / 420
TOTAL	950 / 1.270	/	2.150 / 1.930	2.400 / 3.200
RUTA 6				
12	150 / 250	/	200 / 350	350 / 600
13	250 / 280	/	150 / 300	400 / 580
11	100 / 200	/	300 / 250	400 / 450
10	100 / 200	/	300 / 350	400 / 550
31	150 / 200	/	250 / 350	400 / 550
2	150 / 200	/	150 / 200	300 / 400
2 A (Nuevo)	0 / 0	/	300 / 400	300 / 400
TOTAL	900 / 1.130	/	1.650 / 2.200	2.550 / 3.330

¹ En la Tabla 2.3, se consideran únicamente los Distritos que se amplían dentro del Proyecto de la Gerencia de Accesos en el año 2005.

2. Descripción del Proyecto mediante Cobre y Fibra Óptica

Debido a que la demanda se encuentra a más de cuatro kilómetros de la central local de Tumbaco, este diseño preveía la utilización de cables de cobre de diámetro 0,50 mm, con lo cual el costo de implementación es muy elevado. Además, la utilización de cables de gran capacidad y más pesados

haría necesario la construcción de canalización telefónica de cuatro vías cuyo costo elevaría aún más el proyecto.

Por lo expuesto anteriormente, otra solución de menor costo que se ha planteado para atender a estos sectores de Tumbaco, sería mediante la instalación de sistemas DLC's (Digital Loop Carrier).

La tecnología Digital Loop Carrier (DLC) se utiliza en la Red de Acceso como:

- Estrategia para llegar con fibra óptica lo más cerca posible de los clientes, y brindar servicios de banda ancha (voz, datos y vídeo).
- Proporcionar servicios POTS/ISDN/ADSL a grandes distancias (mayores a 5 Km.) de la central o Nodo de Acceso, en donde llegar con cable de cobre no es posible por la degradación de los servicios y en donde la aplicación de sistemas inalámbricos no sería rentable (costo /beneficio) o estable.

La topología de red para este proyecto incluiría equipos activos en la Planta Externa, que los denominaremos "Armarios Digitales". Este tipo de red combina el uso fibra óptica para reemplazar la red primaria y pares de cobre para la distribución de la red secundaria y red de dispersión.

La implementación de esta solución reemplazaría la red primaria que se construye tradicionalmente con redes de cobre, se implementaría con equipos conectados entre sí y con la central mediante fibra óptica en configuración de anillos SDH. Esto asegura una mayor confiabilidad de las comunicaciones, ya que en caso de corte en uno de los tramos de la fibra óptica, las mismas se redireccionan y siempre se asegura que los equipos estén comunicados y en funcionamiento.

El esquema de la red a implementar mediante el Sistema DLC se muestra en la figura 2.2:

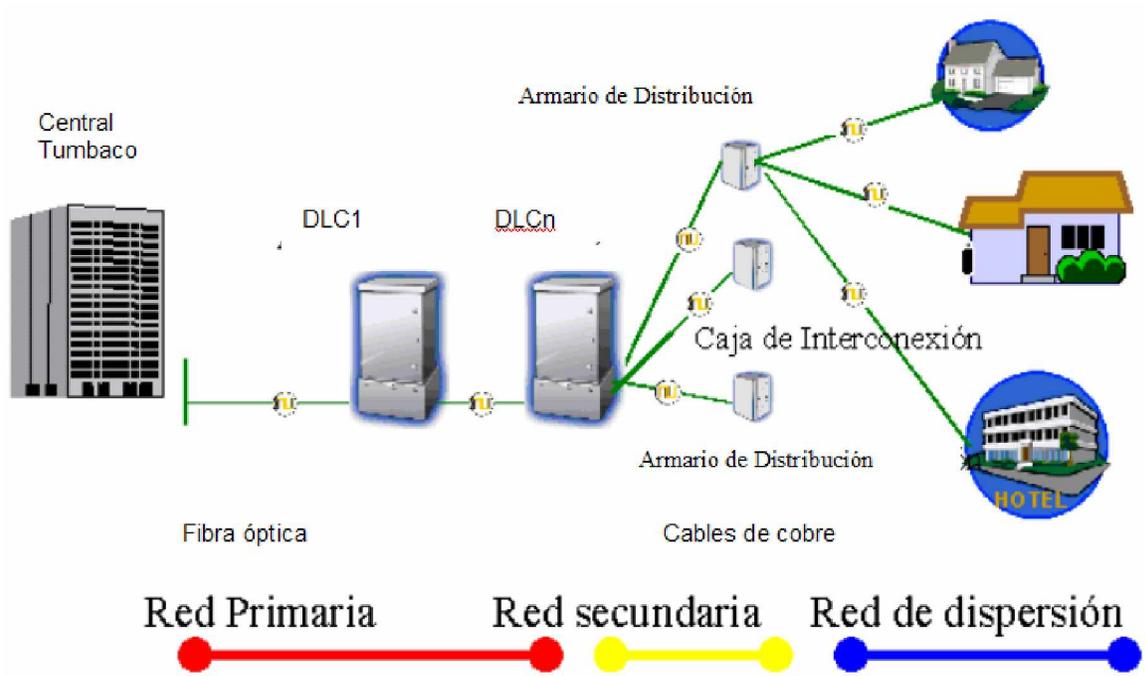


Figura 2.2. Esquema de la Red telefónica con DLC

La utilización de esta alternativa tecnológica mediante DLC's interconectados con fibra óptica en configuración de anillo, en lugar de una red primaria de cobre; proporciona valiosas ventajas, entre las que se puede mencionar las siguientes:

- Menores costos de mantenimiento.- Al utilizar fibra óptica en lugar de cobre en la red primaria, el mantenimiento de ésta es mucho más económico. La vida útil de la fibra óptica es mucho mayor que la del cobre.
- Confiabilidad.- Al ser una estructura en anillo se asegura que se mantenga el servicio al usuario a pesar de un corte en la fibra óptica en alguna parte del mismo, ya que los equipos al detectar el corte de la fibra, enrutan el tráfico automáticamente en la dirección alternativa o en sentido contrario.
- Mayor Ancho de Banda.- Se pueden brindar servicios digitales como ADSL a grandes distancias de la central de conmutación y red de datos. Esto no es posible en una red estructurada de cobre, en dónde la distancia máxima de todo el trayecto del cable no puede superar de los 3 a 5 Km. aproximadamente.
- Crecimiento.- En caso de aparecer nuevos clientes en una zona alejada de una central, esta tecnología permite acceder a los mismos sin la necesidad de instalar una nueva central como sucede en el caso de las redes de cobre.

La red secundaria puede ser diseñada con las longitudes lo más cortas posibles, con el fin de brindar servicios para transmisión de datos a alta velocidad. Es importante señalar que mientras más corto sea el tramo de la red de cobre, mayor será la velocidad de transmisión de datos que puede soportar el par de cobre.

2.1. Análisis del estudio de Demanda

De acuerdo a los estudios realizados por empresas de demanda como por ejemplo ISVOS o CEDATOS y analizando los resultados de estos, se pudo establecer los siguientes resultados:

Empresa ISVOS CIA. LTDA enfocó sus estudios con un matiz comercial, calificando a la demanda del servicio en función de estructuras económicas de tal forma que sea un cliente que pueda pagar y que sea fiel a su proveedor del servicio, con este enfoque se presenta a continuación lo siguiente:

Tabla 2.4. Estudio de Demanda de la Empresa ISVOS CIA. LTDA2

INDICADORES	TUMBACO		
	ZONA		TOTAL
	1	2	LOCALIDAD
TOTAL HOGARES	1,582	2,203	3,785
DEMANDA EFECTIVA DE SERVICIO TELEFONICO (HOGARES)	438	794	1,232
DEMANDA EFECTIVA DE LINEAS TELEFÓNICAS	452	826	1,278
Hogares cubiertos con servicio telefónico			
Tiene actualmente servicio telefónico:	1,441	1,709	3,150
Demanda potencial de otras líneas telefónicas:	394	535	929
Disposición a pagar tarifa de inscripción:			
Si, al contado	59	65	124
Si, a plazos	319	462	781
Demanda efectiva de otras líneas	364	486	850
Hogares no cubiertos con servicio telefónico			
No tienen servicio telefónico:	141	494	635
Demanda potencial de servicio telefónico	89	332	421
Disposición a pagar tarifa de inscripción:			
Si, al contado	7	24	31
Si, a plazos	82	308	390
Demanda efectiva del servicio	74	308	382
Servicios Suplementarios			
Llamada en espera	74	154	228
Identificación de llamada	134	146	280
Transferencia de llamadas	59	57	116
Código secreto	82	154	236
Correo de voz/Buzón de mensajes	52	113	165
Servicio RDSI	74	130	204
Teléfono/fax virtual	141	227	368

La empresa CEDATOS–GALLUP Internacional, presenta el siguiente informe el mismo que está orientado exclusivamente a un análisis de demanda de los servicios en la zona, así podemos establecer lo siguiente:

² Para los hogares no cubiertos con servicio telefónico y que demandan el servicio, no se investigó el número de líneas demandadas, por lo que para este caso se asume que la demanda es de una línea.

Tabla 2.5. Estudio de Demanda de la empresa CEDATOS–GALLUP Internacional

AREA	LINEAS TELEFONICAS
AREA 1 <i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	734 63%
AREA 2 <i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	1,110 60%
AREA 3 <i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	844 57%
TOTAL URBANO	2,688

SECTORES ANEXOS	
LA COMUNA	282
PACHO SALAS	11
LA MORITA	80
PLAZAPAMBA	45
TOLA GRANDE-TOLA CHICA-ARENAL	230
COLLAQUI	207
CHUROLOMA	83
TOTAL SECTORES ANEXOS	938

TOTAL TUMBACO Y SECTORES ANEXOS	3,626
--	--------------

En cuanto a los servicios adicionales o de valor agregado se define de la siguiente manera:

Tabla 2.6. Estudio de Demanda de la empresa CEDATOS–GALLUP de los Servicios Adicionales

AREA	LLAMADA EN ESPERA	TRANSFERENCIA DE LLAMADA	IDENTIFICACION LLAMADA	CODIGO SECRETO	BUZON MENSAJE	DIALUP
AREA 1 <i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	1,201 72%	1,174 85%	1,105 75%	1,312 73%	1,385 73%	63 62%
AREA 2 <i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	1,028 76%	1,088 79%	1,107 81%	1,386 82%	1,120 82%	111 73%

AREA 3						
CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA	1,435 74%	1,255 79%	1,200 82%	1,120 83%	1,058 84%	164 75%
TOTAL URBANO	3,664	3,517	3,412	3,818	3,563	337

SECTORES ANEXOS						
LA COMUNA	259	249	241	270	252	19
PACHO SALAS	10	10	9	10	10	1
LA MORITA	93	79	86	77	72	5
PLAZAPAMBA	53	45	49	44	41	3
TOLA GRANDE-TOLA CHICA-ARENAL	213	205	195	222	207	15
COLLAQUI	190	182	177	198	185	14
CHUROLOMA	80	77	75	84	78	6
TOTAL SECTORES ANEXOS	898	847	832	905	845	63

En lo referente a transmisión de datos y televisión codificada

Tabla 2.7. Estudio de Demanda de la empresa CEDATOS-GALLUP de transmisión de datos y televisión codificada

AREA	TRANSMISION DATOS	TV CODIFICADA
AREA 1	0	124
CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA	0%	75%
AREA 2	0	62
CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA	0%	75%
AREA 3	1	70
CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA	100%	75%
TOTAL URBANO	1	255
SECTORES ANEXOS		
LA COMUNA	0	14
PACHO SALAS	0	1
LA MORITA	0	4
PLAZAPAMBA	0	2
TOLA GRANDE-TOLA CHICA-ARENAL	0	22

COLLAQUI	0	10
CHUROLOMA	0	9
TOTAL SECTORES ANEXOS	0	62
TOTAL TUMBACO Y SECTORES ANEXOS	1	318

De las dos empresas que han participado en el estudio de demanda podemos establecer que se requiere de 3.626 líneas telefónicas, pero existe una demanda efectiva en función de la disponibilidad de pago que es de 1.278 líneas.

Tabla 2.8. Estudio de Demanda de Internet

AREA	INTERNET	DIALUP	BANDA ANCHA
AREA 1	95	63	13
<i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	75%	62%	62%
AREA 2	121	111	4
<i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	73%	73%	73%
AREA 3	178	164	16
<i>CONCENTRACION DE DEMANDA EN AREA SEÑALADA</i>	76%	75%	79%
TOTAL URBANO	393	337	33

SECTORES ANEXOS			
LA COMUNA	22	19	2
PACHO SALAS	2	1	0
LA MORITA	6	5	1
PLAZAPAMBA	4	3	0
TOLA GRANDE-TOLA CHICA-ARENAL	18	15	1
COLLAQUI	16	14	1
CHUROLOMA	7	6	1
TOTAL SECTORES ANEXOS	75	63	6
TOTAL TUMBACO Y SECTORES ANEXOS	468	400	39

De la tabla 2.8 se puede observar que la demanda resultante para Internet es de 468 usuarios. De este regimiento se dividen entre los que prefieren por dial up y los que prefieren Banda Ancha. Esto permite contemplar la idea de ofrecer bajo demanda servicios integrados de teléfono e Internet.

También debemos considerar que de acuerdo al flujo de clientes que se presenta diariamente a cada uno de nuestros centros de atención, se ha establecido una lista de espera para acceder al servicio telefónico en una cantidad de 953 peticiones, durante todo el año 2005 y que hasta el momento no son atendidas estas solicitudes por falta de disponibilidad.

2.2. Cobertura prevista en el diseño de la red de Planta Externa

La cobertura prevista en el diseño de planta externa es como máximo 5 Km. medidos desde la central de Tumbaco hasta cada uno de los distritos explicados anteriormente, en la Figura 2.3 podemos observar a gran escala la cobertura máxima que se podría tener con la construcción de planta externa.

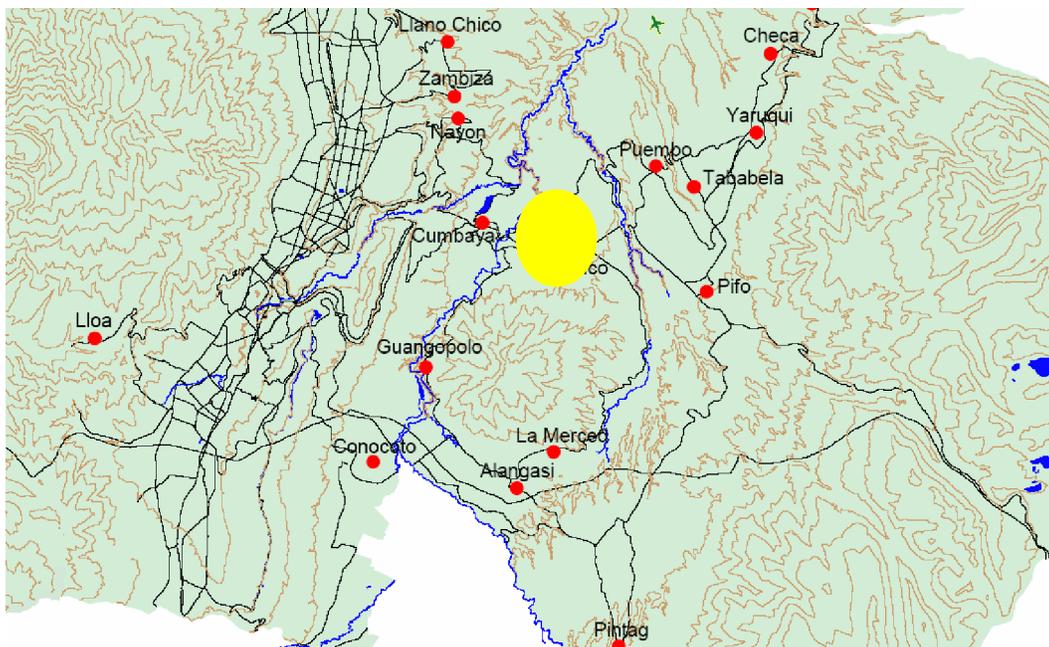


Figura 2.3. Cobertura prevista con Red de Planta Externa

2.3. Resultados y costos del proyecto

2.3.1. Costos Referenciales De Equipos Dlc'S

Para el Proyecto de Tumbaco mediante la implementación de una Red de Acceso a la PSTN (public switched telephone network) de ANDINATEL S.A. a través de una red de fibra óptica, se tendría el siguiente cuadro con costos aproximados, en estos cálculos se ha realizado la consideración de utilizar valores aproximados a los costos unitarios que se obtienen de los contratos de referencia. Como el proyecto implementará equipos de nueva tecnología, sus costos podrían estar en ese orden.

Tabla 2.9. Descripción y costos de los Equipos DLCs

DESCRIPCION	CANTIDAD [LINEAS/UNIDADES]	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
DLC1	900	95.00	85,500.00
DLC2	700	95.00	66,500.00
DLC3	400	95.00	38,000.00
DLC4	500	95.00	47,500.00
DLC5	800	95.00	76,000.00
DLC6	500	95.00	47,500.00
SUBTOTAL EQUIPOS [USD]	3,800		361,000.00
AMPLIACIÓN MTX CX - E1's (Licencia V5.2)	3,800	22.97	87,286.00
FIBRA OPTICA	5,600	10.00	56,000.00
OUTDOOR CABINET	6	10.000	60,000.00
TOTAL [USD]			564,286.00

El costo unitario referencial de las líneas de abonados en los DLC's es USD 95.00 considerado en el Tabla 2.9, incluiría todo el equipamiento de conmutación, transmisión y energía, con excepción de los 5.600 m de fibra óptica que se desglosa en el Tabla 2.9 con un costo de USD 10.00 (este costo incluye materiales e instalación). Los 6 DLC's se implementaran en bastidores tipo outdoor para

instalación en exteriores; es decir, con este tipo de bastidores cabinet outdoor no se requiere la construcción de caseta y su valor estimado es de USD 10.000. Para el Proyecto los valores de referencia incluirían todos los equipos de conmutación, interfaces y protocolos, equipos de energía y climatización, equipos de transmisión y fibra óptica para la interconexión de la Red Acceso.

2.3.2. Costos Referenciales De Construcción De Planta Externa

En el Plan Operativo 2005 de la Gerencia de Accesos se tiene previsto la ampliación de la red de planta externa del Sector de Tumbaco de la ciudad de Quito siguiente:

Tabla 2.10. Especificaciones del Proyecto de Planta Externa³

PROYECTO (*)				
Central:	TUMBACO		TUMBACO	
Ruta:	5		6	
Capacidad Primaria:	(2,150 / 1,930)	Pares	(1,650 / 2,200)	Pares
Red Primaria	899.59	Km-par	873.95	Km-par
Red Secundaria	1,645.56	Km-par	1,765.34	Km-par
Canalización:	24.70	Km-vía	20.17	Km-vía

2.3.3. Presupuesto De Planta Externa

El presupuesto para la construcción de planta externa, que incluye red primaria (fibra óptica y cobre), red secundaria y canalización es el siguiente:

³ (*)Memoria Técnica del Proyecto de Ampliación de Planta Externa de Tumbaco de la Gerencia de Accesos de la Vicepresidencia de Operaciones

Tabla 2.11. Costos Referenciales del Proyecto de Planta Externa

COSTO RUTA	RED PRIMARIA	RED SECUNDARIA	CANALIZACIÓN	SUBTOTAL
Ruta 5 [USD]	44,917.32	203,394.74	492,966.13	741,278.19
Ruta 6 [USD]	43,637.06	218,200.00	402,500.00	664,337.06
TOTALES [USD]	88,554.38	421,594.74	895,466.13	1,405,615.25

De este presupuesto se establece que para los 3.800 pares de red primaria que se diseñaron mediante esta alternativa de solución, el costo aproximadamente es de USD \$ 370,00 por par.

A estos costos se debe añadir los costos de los DLC's y los costos de la ampliación de los enlaces de transmisión internos de la central y hacia otras centrales para enrutamiento de tráfico.

2.3.4. Presupuesto Referencial De Proyecto

En la Tabla 2.12 se resume los costos totales del Proyecto de Ampliación de la Red de Telecomunicaciones utilizando red de planta externa en el Sector de Tumbaco.

Tabla 2.12. Costos Totales del Proyecto de Planta Externa con DLCs

AMPLIACION DE RED PLANTA EXTERNA Y PROYECTO DLC's EN TUMBACO		COSTO TOTAL [USD]
Total Planta Externa	USD:	1,405,615.25
Total Equipos DLC's	USD:	564,286.00
TOTAL	USD:	1,969,901.25

CAPITULO III

SISTEMAS INALÁMBRICOS Y TELEFONÍA IP

3. WIMAX

3.1. INTRODUCCIÓN

El estándar IEEE 802.16 o WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), es una potente solución a las necesidades de redes de acceso inalámbricas de banda ancha, de amplia cobertura y elevadas prestaciones. Ofrece una gran capacidad (hasta 75 Mbps por cada canal de 20 MHz), e incorpora mecanismos para la gestión de la calidad de servicio (QoS). WiMAX permite amplias coberturas tanto con línea de vista entre los puntos a conectar (LOS) como sin línea de vista (NLOS) en bandas de frecuencias de uso común o licenciadas.

WiMAX asegura la interoperabilidad con el estándar para redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN), desarrollado por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y conocido como HiperMAN (High Performance Radio Metropolitan Area Network), cuyos objetivos son muy similares a WiMAX.

En la actualidad la marca WiMAX engloba dos distintos estándares de IEEE: IEEE 802.16d- 2004 e IEEE 802.16e-2005. Este último, ratificado en Diciembre de 2005, permite la conexión de dispositivos móviles, mientras que el primero está

enfocado a conexiones fijas punto a multipunto, lo que lo hace especialmente indicado para el entorno rural y del que se tratará en adelante.

WIMAX es una tecnología apoyada por multitud de importantes empresas, agrupadas en WIMAXforum, que podría poner en grandes apuros a tecnologías debido a su flexibilidad (compatibilidad con otras tecnologías existentes en el mercado), su alta velocidad (puede ofrecer calidad de servicios QoS) y uno de los aspectos más importantes: que es mucho más económico que otras tecnologías debido en gran parte al alcance que es de unos 50km. Puede ofrecer desde 11 Mbit/s hasta 54 Mbit/s. WiMAX es una tecnología WMAN (wíreless metropolitan area network) en principio requiere estaciones base formadas por antenas emisoras/receptoras con capacidad de dar servicio a multitud de estaciones que dan cobertura y servicio a edificios completos, siendo una tecnología complementaria con WLAN. Su instalación es muy sencilla y rápida y su precio mucho más competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico.

Es válido para topologías punto a multipunto y no requiere línea de vista directa lo que le da una gran diferencia en comparación con otras tecnologías inalámbricas actuales. Emplea las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, (requieren licencia 2,5-2,7 en Estados Unidos), y las de 2,4 GHz y 5,725-5,825 GHz que son de uso común y no requieren de licencia alguna. Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (Media Access Control address) que soporta múltiples enlaces físicos. Esto es de gran relevancia para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso.

Esta tecnología transforma las señales de voz y datos en ondas de radio dentro de la citada banda de frecuencias. Está basada en OFDM (Orthogonal frequency-

division multiplexing), y con 256 subportadoras puede cubrir un área de 50 kilómetros permitiendo la conexión sin línea vista, es decir, con obstáculos interpuestos, con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con un índice de modulación de 5.0 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 MHz a 20 MHz. Otra característica de WiMAX es que soporta las llamadas antenas inteligentes (smart antenas), propias de las redes 3G llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que el estándar IEEE 802.11a. Estas antenas inteligentes emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

WiMAX se sitúa en un rango intermedio de cobertura entre las demás tecnologías de acceso de corto alcance y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana.

El WiMAX Forum es un consorcio de empresas (inicialmente 67 y hoy en día más de 100) dedicadas a diseñar los parámetros y estándares de esta tecnología, y a estudiar, analizar y probar los desarrollos implementados. En principio se podría deducir que esta tecnología supone una grave amenaza para el negocio de tecnologías inalámbricas de acceso de corto alcance en que se basan muchas empresas, pero hay entidades muy importantes detrás del proyecto. Las principales firmas de telefonía móvil también están desarrollando terminales capaces de conectarse a estas nuevas redes. Después de la fase de pruebas y estudios cuya duración prevista es de unos dos años, se espera comenzar a ofrecer servicios de conexión a Internet a 4 Mbps a partir de 2007, incorporando WiMAX a los ordenadores portátiles y PDAs (Personal Digital Assistants).

El pasado 7 de diciembre de 2005, el IEEE aprobó el estándar del WiMAX MÓVIL, el 802.16e, que permite utilizar este sistema de comunicaciones inalámbricas con terminales en movimiento. Muchos fabricantes de hardware y operadores estaban esperando a esta decisión para empezar a desplegar redes de WiMAX. Ahora ya pueden hacerlo.

Lo que ocurría en la práctica es que pocos se atrevían a invertir en WiMAX bajo el único estándar aprobado hasta ahora, el 802.16d, que sólo sirve para aquellos terminales que están en un punto fijo. Ahora ya saben qué especificaciones técnicas debe tener el hardware del WiMAX móvil, que es mucho más jugoso económicamente, con lo que es posible diseñar infraestructura mixta fijo-móvil. En Corea se ha materializado las ventajas de un WiMAX móvil trabajando en 2,3Ghz y se le ha acuñado el nombre de WiBRO (Wireless Broadband), esta iniciativa empieza sus despliegues comerciales en el 2006.

3.1.1. Normas IEEE

3.1.1.1. 802.16 Wireless MAN Estándar

El instituto de la asociación de los estándares de los ingenieros electrónicos eléctricos y (IEEE-SA) intentó hacer que tecnologías de Banda Ancha sean disponibles, desarrollando el estándar 802.16 de IEEE, que especifica el interfaz del aire de WirelessMAN para las redes inalámbricas del área metropolitana. El estándar, que fue publicado el 8 de abril de 2002, fue creado en un proceso de dos años, por un consenso entre los ingenieros y vendedores de los principales operadores del mundo.

El estándar IEEE 802.16 trata la conexión de "first-mile/last-mile" en redes inalámbricas del área metropolitana. Se centra en el uso eficiente de la anchura de

banda entre 10 y 66 GHz (los 2 a 11 GHz con Punto Multi-Punto y las topologías opcionales del acoplamiento antes de fin de 2002) y define una capa media del control de acceso (MAC) que apoye las especificaciones múltiples de la capa física modificadas para requisitos particulares para la banda de frecuencia del uso.

El estándar de 10 a 66 GHz apoya niveles del tráfico continuo, y pueden varían en entre frecuencias de 26, 31, 38 y 39 GHz (ej: 10.5, 25), que son frecuencias con licencia, para las comunicaciones de dos vías. También permite interoperabilidad entre los dispositivos, así que los portadores pueden utilizar productos de distintos vendedores y pueden escoger diversos equipo a un costo más bajo.

3.1.1.1.1. Opciones de las Telecomunicaciones

Los negocios importantes tienen acceso a menudo a las redes de fibra óptica de gran capacidad y de alta velocidad para los servicios de banda ancha. Menos de cinco por ciento de estructuras comerciales en todo el mundo son servidos por redes de fibra, sin embargo, extender estas redes con el cable es costoso y desperdiciador de tiempo.

Hoy en día diversas empresas y clientes están atados a las redes alámbricas para el uso residencial tales como redes del módem de cable y DSL (Digital Subscriber Line). Los sistemas del cable se basan en la infraestructura residencial de la televisión por cable, así que no están a menudo disponibles en suscriptores de negocio. El DSL es un método basado en el cable de cobre que ofrece típicamente un servicio de datos desde 128 Kbps a 1.5 Mbps, no obstante el servicio no está disponible para cada suscriptor debido a limitaciones de la distancia.

Los sistemas del estándar 802.16 BWA (broadband wireless access) de IEEE ofrecen un servicios de banda ancha distinguidos con un costo mínimo. Dejaron a millares de usuarios compartir la capacidad para los datos, la voz y el vídeo. También son escalable: los portadores pueden ampliarlos mientras que la demanda del suscriptor en el ancho de banda crece, agregando mayor numero de canales.

3.1.1.1.2. Calidad del servicio (QoS) en radio de banda ancha

La transmisión de BWA (broadband wireless access) es una vía que ocupa como medio de transmisión el espacio libre, y esta en función a la atenuación y a la distorsión del lugar geográfico en el cual se transmite tal como vegetación, edificios, precipitación y vehículos, que se mueven y cambian imprevisible. El estándar 802.16 de IEEE reconoce esto e incluye mecanismos para hacer los acoplamientos robustos para los sistemas de PMP (point to multipoint) con línea de vista. La línea de vista obstruida y la transmisión en la no línea de vista se considera en las bandas de frecuencias entre los 2 a 11 GHz.

Los mecanismos en el MAC de WMAN prevén QoS distinguido para apoyar las diversas necesidades de diversos usos. Por ejemplo, la voz y el vídeo requieren estado permanente de transmisión en tiempo real, pero toleran una cierta tarifa de error, por el contrario, los usos genéricos de los datos no pueden tolerar error, pero el estado permanente en tiempo real no es crítico. El estándar acomoda la voz, vídeo, y otras transmisiones de datos usando características apropiadas en el MAC.

Muchos sistemas en la última década han implicado la modulación fija. La modulación higher-order en las cuales ofrecen la mas alta tasa de datos de los sistemas pero requiere acoplamientos óptimos, mientras que las ordenes más bajas de la modulación tienen tasa mas bajas pero mas robustas para los datos. El nuevo

estándar apoya la modulación adaptativa, diversas tasas de transmisión de datos y calidad del acoplamiento con eficacia que balanceo. El método de la modulación se puede ajustar casi instantáneamente según transferencia de datos óptima. La modulación adaptativa permite el uso eficiente del ancho de banda y de una base de clientes más amplia.

Este estándar también apoya el duplexación de la división del tiempo y Frecuencia (FDD y TDD). El duplexación de la división de la frecuencia (FDD), el método del duplexación, se ha desplegado extensamente en telefonía celular. Requiere pares de dos vías, uno para la transmisión y uno para la recepción, con una cierta separación de la frecuencia entre ellos. En los ambientes reguladores donde no existen los pares estructurados del canal, TDD proporciona un esquema altamente flexible de duplexación donde un solo canal se utiliza para las transmisiones. Un sistema de TDD puede asignar dinámicamente el ancho de banda para la transmisión y la recepción dependiendo de requisitos del tráfico.

3.1.1.2. 802.16d

La primera norma WIMAX aprobada por la IEEE fue la norma 802.16d, conocida como 802.16-2004, a la cual llamaremos WiMAX Fija, que cubre el enlace entre equipos fijos, es decir, un típico enlace de radios microondas. La gran diferencia de los enlaces WIMAX es que permite velocidades y anchos de banda muy superiores a la de los enlaces tradicionales de microondas, que tienen 10 ó 20 Mbps de capacidad real.

Con un ancho de banda máximo teórico de 75 Mbps en la versión fija (802.16d), aprobada en septiembre de 2004, la tecnología permite distribuir servicios de banda ancha con la calidad habitualmente requerida para soportar las aplicaciones empresariales más exigentes y sensibles a la latencia, como voz sobre IP o

videoconferencia. En el hogar, representa un medio idóneo para integrar en un único enlace el suministro de servicios “triple play” (voz, vídeo, datos e, incluso, televisión).

3.1.1.3. 802.16e

La norma 802.16e, conocida como 802.16-2005, que llamaremos WiMAX móvil, la cual había sido terminada por el WiMAX Forum el pasado 22 de septiembre. Esta norma habla de movilidad WiMAX, pero en una primera etapa habrá chips de WiMAX en equipos portátiles, los cuales se pueden esperar para el segundo semestre del 2006. Posteriormente, habrá chips Wimax para terminales de teléfonos móviles y PDA (Asistentes Personales Digitales).

La creación de backhaul (conexión entre estaciones base y estaciones controladoras) de datos de alta velocidad en redes móviles GSM (Global System for Mobile Communications) o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es una de las aplicaciones muertas de WiMAX móvil (802.16e), que será aprobado este año por IEEE. Una red WiMAX resulta mucho más barata de desplegar que una red UMTS. Cuando lo que se pretende es crear un backhaul con un costo reducido hasta en un 90%. Estos tramos de las infraestructuras móviles tienden a saturarse por el incremento de tráfico de datos derivado de los servicios 2,5G y 3G. Los operadores necesitan un backhaul nuevo, de bajo costo y eficiencia, que soporte elevados anchos de banda, para resolver la necesidad de backhaul inalámbrico, WiMAX es perfecto. Otra aplicación especialmente interesante de WiMAX móvil en la infraestructura de los operadores consiste, en la superposición de celdas en despliegues UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). De esta forma, el soporte de tráfico IP se verá reforzado en zonas donde la cobertura sea deficiente o el ancho de banda insuficiente. Representa, asimismo, una alternativa válida al ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) y el cable en la “última milla”, permitiendo llevar la banda ancha a zonas rurales o de difícil acceso e, incluso, facilitando la entrada en el mercado de nuevos proveedores de servicios en competencia con los

propietarios de licencias GSM (Global System for Mobile Communications) o 3G (third generation)

3.1.1.3.1. Tabla resumen de características del estándar 802.16 (WiMAX)

El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema BWA (Broadband Wireless Access) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 km), escalable, y que permite trabajar en bandas del espectro tanto “licenciado” como “no licenciado”. El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas con modulaciones flexibles que permiten intercambiar ancho de banda por alcance.

Tabla 3.1. Características del estándar 802.16 (WiMAX)

Estándar WiMAX			
	802.16	802.16^a	802.16e
Espectro	10 – 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	Solo con visión directa	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)
Tasa de bit	32 – 134 Mbit/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbit/s con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbit/s con canales de 5 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK, 16QAM, 64QAM	Igual que 802.16 ^a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
Anchos de banda	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Igual que 802.16 ^a con los canales de subida para ahorrar potencia
Radio de celda típico	2 – 5 km aprox.	5 – 10 km aprox. (alcance máximo de unos 50 km)	2 – 5 km aprox.

3.1.2. Características de WiMAX

Entre las principales características técnicas de WiMAX se encuentran:

- Anchos de canal entre 1,5 y 20 MHz
- Utiliza modulaciones OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) con 256 y 2048 portadoras respectivamente, que permiten altas velocidades de transferencia incluso en condiciones poco favorables.
- Incorpora soporte para tecnologías “smart antenna” que mejoran la eficiencia espectral y la cobertura, así como el soporte para redes tipo mesh.
- Originalmente definida para las frecuencias de hasta 11 GHz para conexiones con y sin línea de vista y entre 10 GHz y 66 GHz para conexiones con línea de vista
- Incluye mecanismos de modulación adaptativa, mediante los cuales la estación base y el equipo de usuario se conectan utilizando la mejor de las modulaciones posibles, en función de las características del enlace radio.

Los perfiles ya disponibles incluyen las bandas licenciadas de MMDS en 2,5 GHz y la banda de 3,5 GHz, además de la banda no licenciada UNII (Universal National Information Infrastructure) en 5,8 GHz. Las bandas y canalizaciones definidas inicialmente se prevé sean completadas en el futuro, cobrando especial importancia la banda de 5 GHz por el amplio espectro disponible, tal y como se recoge en la siguiente imagen:

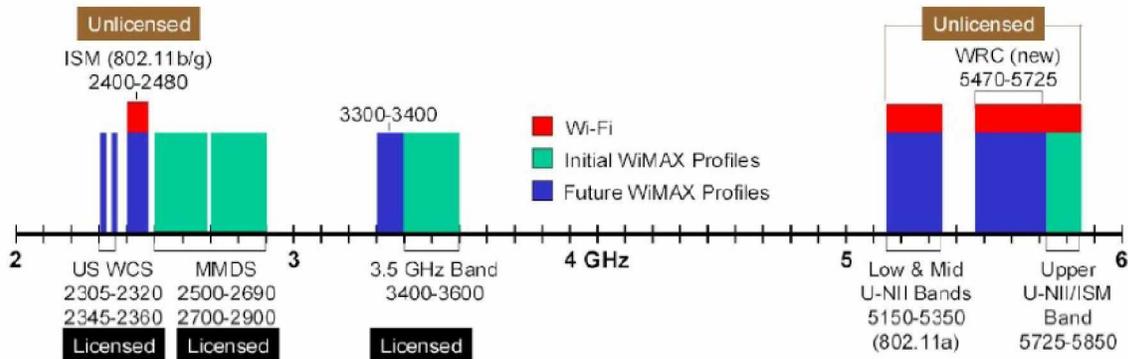


Figura 3.1. Espectro Wimax (Fuente Fujitsu)

3.1.3. Aplicaciones de WiMAX

Las aplicaciones típicas de la tecnología WiMAX son el backhaul inalámbrico de otras redes (como puede ser el caso de las estaciones base de telefonía móvil o los hot spots), la “última milla” de la red de acceso a Internet de alta velocidad tanto en el segmento doméstico como en el profesional (especialmente indicado en aquellas zonas sin cobertura de banda ancha) y soluciones nómadas, que en conexión con otras redes permiten lo que se ha venido a llamar como “Always Best Connected”, esto es, la conexión a un WISP (Wireless Internet Service Provider) a través de la red óptima en cada momento.

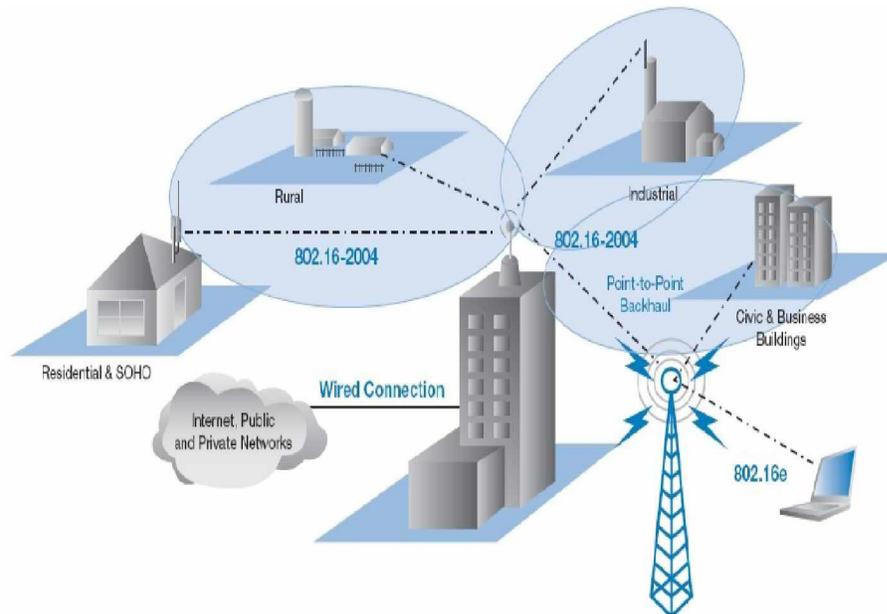


Figura 3.2. Escenarios Wimax

WIMAX competirá con los sistemas tradicionales como GSM, GPRS y de UMTS. Otra de sus aplicaciones es ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, llamadas “última milla”, a las que no llegan las redes cableadas dando de este modo un servicio de telecomunicaciones (servicios universales de telecomunicaciones). Es una ideal para establecer radio-enlaces, dado su gran alcance y capacidad, a un precio muy competitivo.

3.1.4. Seguridad sobre redes Inalámbricas (Wimax) y VOIP

En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1.024 bits), que en comparación con WIFI es sin duda alguna mucho mas seguro.

Desafortunadamente existen numerosas amenazas que conciernen a las redes VoIP (Voice over Internet Protocol), muchas de las cuales no resultan obvias para la

mayoría de los usuarios. Los dispositivos de redes, los servidores y sus sistemas operativos, los protocolos, los teléfonos y su software, todos son vulnerables.

La información sobre una llamada es tan valiosa como el contenido de la voz. Por ejemplo, una señal comprometida en un servidor puede ser usada para configurar y dirigir llamadas, del siguiente modo: una lista de entradas y salidas de llamadas, su duración y sus parámetros. Usando esta información, un atacante puede obtener un mapa detallado de todas las llamadas realizadas en tu red, creando grabaciones completas de conversaciones y datos de usuario.

La conversación en sí misma es un riesgo en una red VoIP (Voice over Internet Protocol), puesto que si consiguen una entrada en una parte clave de la infraestructura, como una puerta de enlace de VoIP, un atacante puede capturar y volver a montar paquetes con el objetivo de escuchar la conversación, o peor aún, grabarlo absolutamente todo, y poder retransmitir todas las conversaciones sucedidas en la red.

Las llamadas son también vulnerables al “secuestro”. En este escenario, un atacante puede interceptar una conexión y modificar los parámetros de la llamada. Se trata de un ataque que puede causar bastante pavor, ya que las víctimas no notan ningún tipo de cambio. Las posibilidades incluyen la técnica de spoofing o robo de identidad, y redireccionamiento de llamada, haciendo que la integridad de los datos estén bajo un gran riesgo.

La enorme disponibilidad de las redes VoIP (Voice over Internet Protocol) es otro punto sensible. En el PSTN, la disponibilidad era raramente un problema. Pero es mucho más sencillo hackear una red VoIP. Todos estamos familiarizados con los

efectos demoledores de los ataques de denegación de servicio. Si se dirigen a puntos clave de la red, podrían incluso destruir la posibilidad de comunicarte vía voz o datos.

Los teléfonos y servidores son blancos vulnerables, aunque sean de menor tamaño o nos sigan pareciendo simples teléfonos, son ordenadores con software. Obviamente, este software es vulnerable con los mismos tipos de bugs o agujeros de seguridad que pueden hacer que un sistema operativo pueda estar a plena disposición del intruso. El código puede ser insertado para configurar cualquier tipo de acción maliciosa.

En resumidas cuentas, los riesgos que comporta usar el protocolo VoIP (Voice over Internet Protocol) no son muy diferentes de los que nos podemos encontrar en las redes habituales de IP. Desafortunadamente, en los “rollouts” iniciales y en diseños de hardware para voz, software y protocolos, la seguridad no es su punto fuerte.

Examinemos ahora algunas pruebas que puedan solucionar las amenazas sobre esta tecnología. Lo primero que deberíamos tener en mente a la hora de leer sobre VoIP (Voice over Internet Protocol) es la encriptación. Aunque lógicamente no es sencillo capturar y decodificar los paquetes de voz, si puede hacerse. Y encriptar es la única forma de prevenirse ante un ataque. Existen múltiples métodos de encriptación o posibilidades de encriptación: VPN (virtual personal network), el protocolo Ipsec (IP segura) y otros protocolos como SRTP (secure RTP). La clave, de cualquier forma, es elegir un algoritmo de encriptación rápido, eficiente, y emplear un procesador dedicado de encriptación. Esto debería aliviar cualquier intento de amenaza. Otra opción podría ser QoS (Quality of Service); los requerimientos para

QoS asegurarán que la voz se maneja siempre de manera oportuna, reduciendo la pérdida de calidad.

Lo próximo, como debería esperarse, podría ser el proceso de asegurar todos los elementos que componen la red VoIP: servidores de llamadas, routers, switches, centros de trabajo y teléfonos. Necesitas configurar cada uno de esos dispositivos para asegurarte de que están en línea con tus demandas en términos de seguridad. Los servidores pueden tener pequeñas funciones trabajando y sólo abiertos los puertos que sean realmente necesarios. Los routers y switches deberían estar configurados adecuadamente, con acceso a las listas de control y a los filtros. Todos los dispositivos deberían estar actualizados en términos de parches y actualizaciones. Se trata del mismo tipo de precauciones que podrías tomar cuando añades nuevos elementos a la red de datos; únicamente habrá que extender este proceso a la porción que le compete a la red VoIP.

Tal y como se ha mencionado, la disponibilidad de la red VoIP (Voice over Internet Protocol) es otra de nuestras preocupaciones. Una pérdida de potencia puede provocar que la red se caiga y los ataques DdoS (Distributed Denial of Service) son difíciles de contrarrestar. Aparte de configurar con propiedad el router, recuerda que estos ataques no solo irán dirigidos a tus servicios de datos, sino también a los de voz.

Por último, se puede emplear un firewall y un IDS (Intrusion Detection System) para ayudar a proteger la red de voz. Los firewalls de VoIP (Voice over Internet Protocol) son complicados de manejar y tienen múltiples requerimientos. Los servidores de llamada están constantemente abriendo y cerrando puertos para las nuevas conexiones. Este elemento dinámico hace que su manejo sea más dificultoso. Pero el costo está lejos de verse oscurecido por la cantidad de beneficios.

Un IDS puede monitorizar la red para detectar cualquier anomalía en el servicio o un abuso potencial. Las advertencias son una clave para prevenir los ataques posteriores.

3.2. TELEFONÍA IP

3.2.1. Introducción

La telefonía IP conjuga dos mundos históricamente separados: la transmisión de voz y la de datos. Se trata de transportar la voz, previamente convertida a datos, entre dos puntos distantes. Esto posibilitaría utilizar las redes de datos para efectuar las llamadas telefónicas, y si podemos ver un poco más allá, se puede desarrollar una única red que se encargue de cursar todo tipo de comunicación, ya sea de voz o de datos.

Las redes desarrolladas a lo largo de los años para transmitir las conversaciones vocales, se basaban en el concepto de conmutación de circuitos, es decir, la realización de una comunicación requiere el establecimiento de un circuito físico durante el tiempo que dura ésta, lo que significa que los recursos que intervienen en la realización de una llamada no pueden ser utilizados en otra hasta que la primera no finalice, incluso durante los silencios que se suceden dentro de una conversación típica.

En contraposición a esto tenemos las redes de datos, basadas en el concepto de conmutación de paquetes, o sea, una misma comunicación sigue diferentes caminos entre origen y destino durante el tiempo que dura, lo que significa que los recursos que intervienen en una conexión pueden ser utilizados por otras conexiones que se efectúen al mismo tiempo.

Es evidente que el hecho de tener una red en vez de dos, es beneficioso para cualquier operador que ofrezca ambos servicios, personal calificado en una sola tecnología. Lo que tenemos hasta hoy es una red de acceso, que incluye el cableado desde el hogar del abonado hasta las centrales locales y el equipamiento necesario, y una red de transporte, que incluye las centrales de rango superior y los enlaces de comunicaciones que las unen. La comunicación se lleva a cabo por conmutación de circuitos.

Como ya hemos indicado anteriormente todos los recursos destinados a intervenir en el desarrollo de una conversación telefónica no pueden ser utilizados por otra llamada hasta que la primera no finaliza.

La telefonía sobre IP abre un espacio muy importante dentro del universo que es Internet. Es la posibilidad de estar comunicados a costos más bajos dentro de las empresas y fuera de ellas, es la puerta de entrada de nuevos servicios apenas imaginados y es la forma de combinar una página de presentación de Web con la atención en vivo y en directo desde un call center, entre muchas otras prestaciones. Lentamente, la telefonía sobre IP está ganando terreno y todos quieren tenerla.

3.2.2. Voz sobre IP

El crecimiento y fuerte implantación de las redes IP, tanto en local como en remoto, el desarrollo de técnicas avanzadas de digitalización de voz, mecanismos de control, priorización de tráfico, protocolos de transmisión en tiempo real, así como el estudio de nuevos estándares que permitan la calidad de servicio en redes IP, han creado un entorno donde es posible transmitir telefonía sobre IP.

Si a todo lo anterior, se le suma el fenómeno Internet, junto con el potencial ahorro económico que este tipo de tecnologías puede llevar acarreado, la conclusión es clara: El VoIP (Protocolo de Voz Sobre Internet - Voice Over Internet Protocol) es un tema "caliente" y estratégico para las empresas.

El concepto original es relativamente simple: se trata de transformar la voz en "paquetes de información" manejables por una red IP (con protocolo Internet, materia que también incluye a las intranets y extranets). Gracias a otros protocolos de comunicación, como el RSVP ("Responder por favor", del francés "Response s'il vous plait"), es posible reservar cierto ancho de banda dentro de la red que garantice la calidad de la comunicación.

La voz puede ser obtenida desde un micrófono conectado a la placa de sonido de la PC, o bien desde un teléfono común: existen gateways (dispositivos de interconexión) que permiten intercomunicar las redes de telefonía tradicional con las redes de datos. De hecho, el sistema telefónico podría desviar sus llamadas a Internet para que, una vez alcanzado el servidor más próximo al destino, esa llamada vuelva a ser traducida como información analógica y sea transmitida hacia un teléfono común por la red telefónica tradicional. Vale decir, se pueden mantener conversaciones teléfono a teléfono

El proceso de VoIP es dependiente de la señal y de su transporte en el medio. Un protocolo de señal, como SIP (Session initiation protocol), se encarga de: localizar usuarios, parámetros, modificaciones e iniciar o finalizar una sesión. Los protocolos de transporte de medios como RTP (real time transport protocol), dirigen la porción de voz en una llamada: digitalizan, codifican y ordenan. Los protocolos de redes, como IP (Internet Protocol), son envueltos en los paquetes de VoIP en el momento de ser transmitidos a los servidores apropiados.

Las llamadas de voz IP pueden tener lugar entre LANs y WANs, como si se tratara de una red interna. Si un usuario de voz IP desea llamar a un destino concreto en un POTS (Plain old telephone service), utiliza una puerta de enlace especial. Estos dispositivos actúan como conectores entre las redes de datos y las redes SS7 (Signaling System #7) por POTS. Estos traducen los datos recibidos en un formato que el recipiente reconoce, ya sea IP o SS7, pueda entender.

El propio Estándar define tres elementos fundamentales en su estructura:

- *Terminales*: Son los sustitutos de los actuales teléfonos. Se pueden implementar tanto en software como en hardware.
- *Gatekeepers*: Son el centro de toda la organización VoIP, y serían el sustituto para las actuales centrales. Normalmente implementadas en software, en caso de existir, todas las comunicaciones pasarían por él.
- *Gateways*: Se trata del enlace con la red telefónica tradicional, actuando de forma transparente para el usuario.

Con estos tres elementos la estructura de la red quedaría como muestra la figura adjunta:

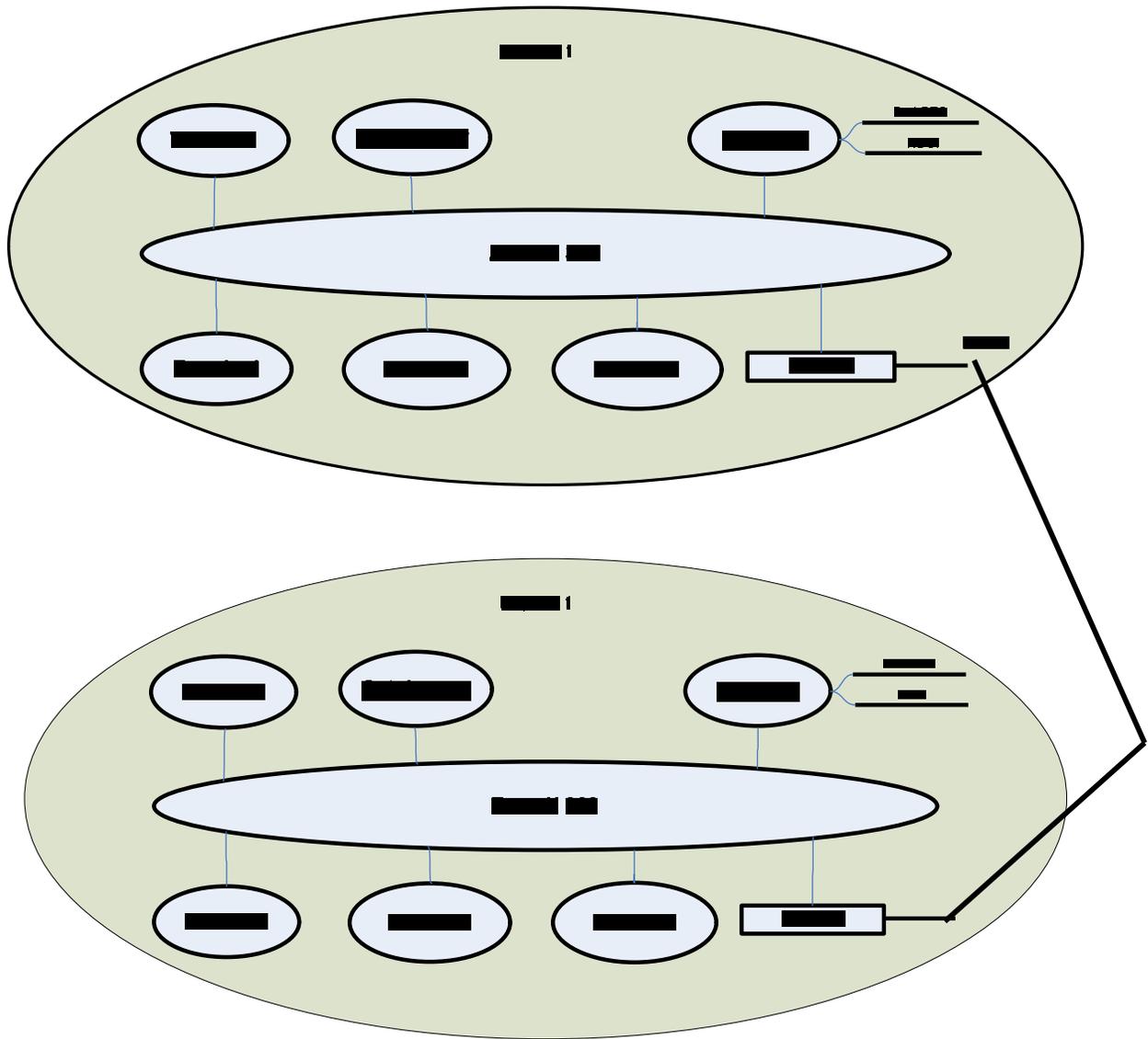


Figura 3.3. Esquema de ejemplo de VoIP.

La figura muestra la conexión entre dos delegaciones de una misma empresa conectadas mediante VoIP. La ventaja es inmediata: todas las comunicaciones entre las delegaciones son completamente gratuitas. Este mismo esquema se podría aplicar para proveedores, con el consiguiente ahorro que esto conlleva.

3.2.2.1. Parámetros de la VoIP

Este es el principal problema que presenta hoy en día la penetración tanto de VoIP como de todas las aplicaciones de XoIP. Garantizar la calidad de servicio sobre una red IP, en base a retardos y ancho de banda, actualmente no es posible, es por eso que se presentan diversos problemas en cuanto a garantizar la calidad del servicio.

- *Codecs:*

La voz ha de codificarse para poder ser transmitida por la red IP. Para ello se hace uso de Códecs que garanticen la codificación y compresión del audio o del video para su posterior decodificación y descompresión antes de poder generar un sonido o imagen utilizable. Según el Codec utilizado en la transmisión, se utilizará más o menos ancho de banda. La cantidad de ancho de banda suele ser directamente proporcional a la calidad de los datos transmitidos.

Entre los codecs utilizados en VoIP encontramos los G.711, G.723.1 y el G.729 (especificados por la ITU-T)

- *Retardo o latencia:*

Una vez establecidos los retardos de procesado, retardos de tránsito y el retardo de procesado la conversación se considera aceptable por debajo de los 150 ms.

- *Calidad del servicio:*

La calidad de servicio se está logrando en base a los siguientes criterios:

- La supresión de silencios, otorga más eficiencia a la hora de realizar una transmisión de voz, ya que se aprovecha mejor el ancho de banda al transmitir menos información.
- Compresión de cabeceras aplicando los estándares RTP/RTCP.
- Priorización de los paquetes que requieran menor latencia. Las tendencias actuales son: CQ (Custom Queuing) (Sánchez J.M., VoIP'99): Asigna un porcentaje del ancho de banda disponible. PQ (Priority Queuing) (Sánchez J.M., VoIP'99): Establece prioridad en las colas. WFQ (Weight Fair Queuing) (Sánchez J.M., VoIP'99): Se asigna la prioridad al tráfico de menos carga. DiffServ: Evita tablas de encaminados intermedios y establece decisiones de rutas por paquete.
- La implantación de IPv6 que proporciona mayor espacio de direccionamiento y la posibilidad de tunneling.

3.2.3. Fundamentos de Telefonía IP

En la telefonía IP el cambio fundamental se produce en la red de transporte: ahora esta tarea es llevada a cabo por una red basada en el protocolo IP, de conmutación de paquetes, por ejemplo Internet. En cuanto a la red de acceso, puede ser la misma que en el caso anterior, físicamente hablando (bucle de abonado).

Los elementos necesarios para que se puedan realizar llamadas vocales a través de una red IP dependen en gran medida de qué terminal se utiliza en ambos extremos de la conversación. Estos pueden ser terminales IP o no IP.

Entre los primeros está el teléfono IP, un ordenador multimedia, un fax IP,... etc; Entre los segundos está un teléfono convencional, un fax convencional,... etc.

Los primeros son capaces de entregar a su salida la conversación telefónica en formato de paquetes IP, además de ser parte de una propia red IP, mientras que los segundos no, por lo que necesitan de un dispositivo intermedio que haga esto antes de conectarlos a la red IP de transporte.

Hay que señalar que en el caso de que uno o ambos extremos de la comunicación telefónica sean un terminal IP, es importante conocer de qué modo están conectados a Internet. Si es de forma permanente, se les puede llamar en cualquier momento. Si es de forma no permanente, por ejemplo, a través de un Proveedor de Acceso a Internet (PAI) vía módem, no se les puede llamar si en ese momento no están conectados a Internet.

"Un servicio interesante para empresas es tener un directory service, o agenda on line de todas las personas que tienen un Webphone en su PC", apunta Baguear en referencia a los productos NetSpeak. "Con un clic en el nombre de la persona puedo llamarla a su PC. Esto podría darse en una intranet distribuida o usando Internet. De hecho, el sistema puede informarme que un empleado acaba de entrar en Internet desde un hotel de los Estados Unidos, y entonces yo puedo llamarlo en ese momento en que está conectado. Al tener este esquema, el sistema se independiza de la dirección de IP de la persona, e incluso, de la dirección física de la persona

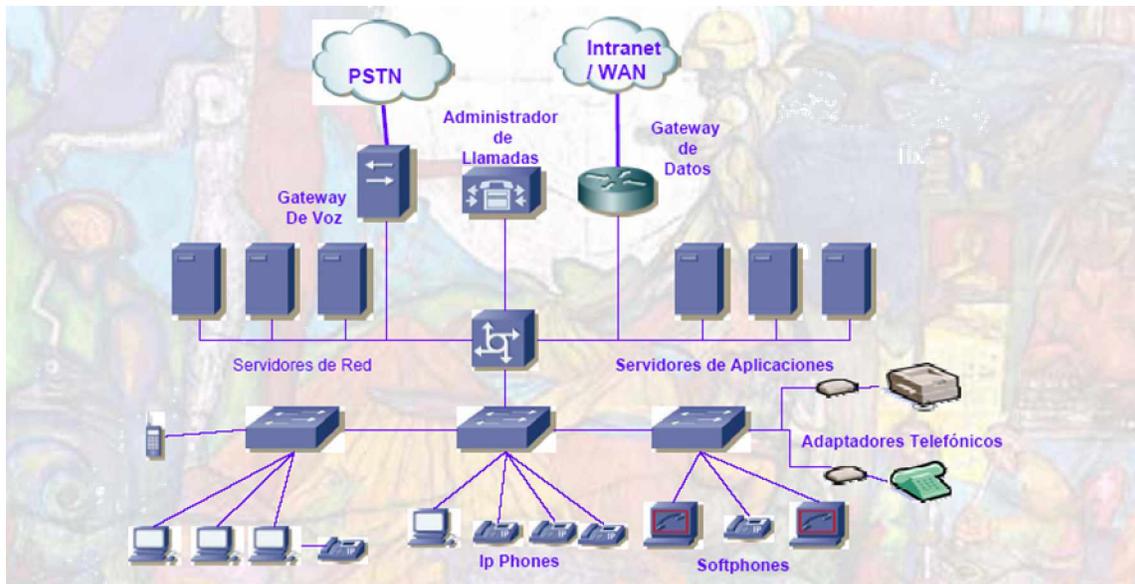


Figura 3.4. Arquitectura General de Telefonía IP

3.2.4. Protocolos

Es el lenguaje que utilizarán los distintos dispositivos VoIP para su conexión. Esta parte es muy importante ya que de ella dependerá la eficacia y la complejidad de la comunicación.

- Por orden de antigüedad (de más antiguo a más nuevo):
 - § H.323 - Protocolo definido por la ITU-T
 - § SIP - Protocolo definido por la IETF
 - § Megaco (También conocido como H.248) y MGCP - Protocolos de control
 - § Skinny Client Control Protocol - Protocolo propietario de Cisco
 - § MiNet - Protocolo propietario de Mitel
 - § CorNet-IP - Protocolo propietario de Siemens
 - § IAX

- § Skype - Protocolo propietario peer-to-peer utilizado en la aplicación Skype
- § Jajah - Protocolo propietario peer-to-peer utilizado en los teléfonos-Web Jajah SIP, IAX y compatibles.
- § IAX2

Los problemas que son evidentes en una red de VoIP, son la Latencia, el Jitter y el Eco. En Telefonía-IP estos problemas son resueltos mediante diversas técnicas.

Latencia. Se define así como el lapso necesario para que un paquete de información viaje desde la fuente hasta su destino en la conversación debido a los retardos acumulados. El primer retardo es en la matriz de switch (el retardo producido por el proceso store-and-forward) y el retardo de procesamiento (cambio de encabezado de paquetes, por ejemplo). A esto se suman los retardos propios del proceso de compresión vocal.

Es el efecto por el cual el retardo entre paquetes no es constante. Se trata de una latencia variable producida por la congestión de tráfico en el backbone de red, por distinto tiempo de tránsito de paquetes debido al connectionless, etc. Se puede utilizar un buffer para distribuir los paquetes y reducir el jitter, pero introduce un retardo adicional. Lo correcto es incrementar el ancho de banda del enlace; solución posible en un backbone pero de menor posibilidad en los enlaces WAN. Otra posibilidad es la formación de colas para prioridad de tráfico de telefonía sobre los de datos.

Eco. Las características anteriores (latencia y jitter) pueden producir eco sobre la señal telefónica, lo cual hace necesario el uso de canceladores de eco (ITU

G.168). Se tienen 2 tipos de eco. Uno tiene alto nivel y poco retardo y se produce en el circuito híbrido de 2 a 4 hilos local; mientras que otro es de bajo nivel y gran retardo y se produce en el circuito separador híbrido remoto. El cancelador de eco se construye mediante la técnica de ecualización transversal autoadaptativa. Consiste en usar una parte de la señal de transmisión para cancelar el eco producido por la desadaptación de impedancias en el circuito híbrido que convierte de 4 a 2 hilos.

Throughput. Es la capacidad de un enlace de transportar información útil. Representa a la cantidad de información útil que puede transmitirse por unidad de tiempo. No tiene relación directa con el delay. (por ejemplo, se puede tener un enlace de alto throughput y alto delay o viceversa, como sería por ejemplo un enlace satelital de 2Mbps y 500 mseg de delay).

Packet Loss. Es la tasa de pérdida de paquetes. Representa el porcentaje de paquetes transmitidos que se descartan en la red. Estos descartes pueden ser producto de alta tasa de error en alguno de los medios de enlace o por sobrepasarse la capacidad de un buffer de una interfaz en momentos de congestión. Los paquetes perdidos son retransmitidos en aplicaciones que no son de Tiempo Real; en cambio para telefonía, no pueden ser recuperados y se produce una distorsión vocal.

El delay afecta a la performance de aplicaciones interactivas (por ejemplo, Telnet). El throughput afecta a la performance de aplicaciones que mueven grandes volúmenes de información (por ejemplo, Mail y FTP). El packet loss afecta a ambos tipos de aplicaciones. El jitter afecta a aplicaciones de tiempo real como la voz y el video por IP.

3.2.4.1. H.323

H.323 es una recomendación del ITU-T (International Telecommunication Union), que define los protocolos para proveer sesiones de comunicación audiovisual en cualquier paquete de la red. A partir del año 2000 se encuentra implementada por varias aplicaciones de Internet que funcionan en tiempo real como NetMeeting y GnomeMeeting (Este último utiliza la implementación OpenH323). Es una parte de la serie de protocolos H.32x, los cuales también dirigen las comunicaciones sobre RDSI, RTC o SS7.

H.323 es utilizado comúnmente para Voz sobre IP (VoIP, Telefonía de Internet o Telefonía IP) y para videoconferencia basada en IP

Esta norma data de 1996 (versión 1) y 1998 (versión 2) y ha sido generada para sistemas de comunicación multimedia basado en paquetes (redes que pueden no garantizar correctamente la calidad de servicio QoS). Esta tecnología permite la transmisión en tiempo real de vídeo y audio por una red de paquetes. Es de suma importancia ya que los primeros servicios de voz sobre protocolo Internet (VoIP) utilizan esta norma. En la versión 1 del protocolo H.323v1 se disponía de un servicio con calidad de servicio (QoS) no garantizada sobre redes LAN. En la versión 2 se definió la aplicación VoIP independiente de la multimedia. Una versión 3 posterior incluye el servicio de fax sobre IP (FoIP) y conexiones rápidas entre otros.

La versión H.323v2 introduce una serie de mejoras sobre la H.323v1. Algunas de ellas son:

- Permite la conexión rápida (elimina parte de tiempo de solicitud de conexión)

- Mediante H.235 introduce funciones de seguridad (autenticación, integridad, privacidad)
- Mediante H.450 introduce los servicios suplementarios
- Soporta direcciones del tipo RFC-822 (e-mail) y del formato URL
- Mediante la unidad MCU permite el control de llamadas multi-punto (conferencia);
- Permite la redundancia de gatekeeper
- Soporta la codificación de vídeo en formato H.263
- Admite el mensaje RIP (Request in Progress) para informar que la llamada no puede ser procesada por el momento
- Provee la facilidad que el gateway informe al gatekeeper sobre la disponibilidad de enlaces para mejorar el enrutamiento de llamadas.

H.323 se creó originalmente para proveer de un mecanismo para el transporte de aplicaciones multimedia en LANs (Redes de área local) pero ha evolucionado rápidamente para dirigir las crecientes necesidades de las redes de VoIP.

Un punto fuerte de H.323 era la relativa y temprana disponibilidad de un grupo de estándares, no solo definiendo el modelo básico de llamada, sino que además definía servicios suplementarios, necesarios para dirigir las expectativas de comunicaciones comerciales. H.323 fue el primer estándar de VoIP en adoptar el estándar de IETF de RTP (Protocolo de Transporte en tiempo Real) para transportar audio y vídeo sobre redes IP.

H.323 está basado en el protocolo RDSIQ.931 y está adaptado para situaciones en las que se combina el trabajo entre IP y RDSI, y respectivamente entre IP y QSIG. Un modelo de llamada, similar al modelo de RDSI, facilita la introducción de la Telefonía IP en las redes existentes de RDSI basadas en sistemas PBX. Por esto es

posible el proyecto de una migración sin problemas hacia el IP basado en sistemas PBX

Dentro del contexto de H.323, un IP basado en PBX es, en palabras sencillas, un Gatekeeper más algunos servicios suplementarios.

H.323 tiene referencias hacia algunos otros protocolos de ITU-T como:

- JH.225.0 - Protocolo utilizado para describir la señal de llamada, el medio (audio y video), el empaquetamiento de las tramas, la sincronización de tramas de medio y los formatos de los mensajes de control.
- JH.245 - Protocolo de control para comunicaciones multimedia. Describe los mensajes y procedimientos utilizados para abrir y cerrar canales lógicos para audio, video y datos, capacidad de intercambio, control e indicaciones.
- H.450 - Describe los Servicios Suplementarios
- H.235 - Describe la seguridad de H.323
- H.239 - Describe el uso de la doble trama en videoconferencia, normalmente uno para video en tiempo real y la otra para presentación.

Estructura del Protocolo H.323.

- Tráfico. El tráfico de señal vocal se realiza sobre los protocolos UDP/IP. La codificación de audio puede ser de diferentes tipos. Con G.711 a velocidad es de 64 kbps. El ITU-T ratificó en 1995 a G.729 para las aplicaciones de VoIP. En tanto, el VoIP-Forum en 1997, liderado por Intel y Microsoft, seleccionó a G.723.1 con velocidad de 6,3 kbps para la aplicación VoIP. La codificación de vídeo se realiza de acuerdo con H.263. Ambos servicios se soportan en el protocolo de tiempo real RTP.

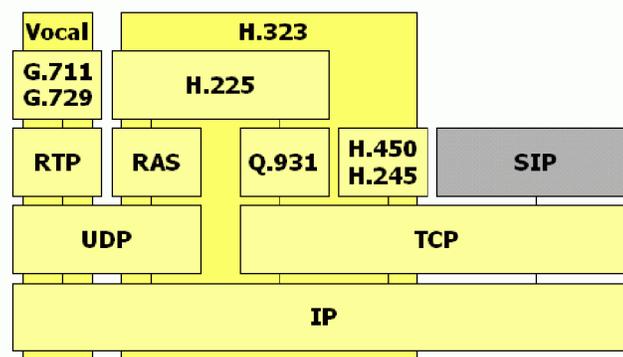


Figura 3.5. Familia de protocolos para H.323

- Señalización. La señalización se transporta sobre los protocolos TCP/IP o UDP/IP. La familia de protocolos de señalización en H.323 incluye los siguientes protocolos (ver la Figura 2):
 - H.225. Son los mensajes de control de señalización de llamada que permiten establecer la conexión y desconexión. Este protocolo describe como funciona el protocolo RAS y Q.931. El H.225 define como identificar cada tipo de codificador y discute algunos conflictos y redundancias entre RTCP y H.245.
 - Q.931. Este protocolo es definido originalmente para señalización en accesos ISDN básico. Es equivalente al ISUP utilizado desde el GW hacia la red PSTN.
 - RAS (Registration, Admission and Status) utiliza mensajes H.225 para la comunicación entre el GW y GK. Sirve para registración, control de admisión, control de ancho de banda, estado y desconexión.
 - H.245. Este protocolo de señalización transporta la información no-telefónica durante la conexión. Es utilizado para comandos generales, indicaciones, control de flujo, gestión de canales lógicos, etc. Se usa en

las interfaz GW-GW y GW-GK. El H.245 es una librería de mensajes con sintaxis del tipo ASN.1. En particular codifica los dígitos DTMF (Dual-Tone MultiFrequency) en el mensaje UserInputIndication.

- H.235. Provee una mejora sobre H.323 mediante el agregado de servicios de seguridad como autenticación y privacidad (criptografía). El H.235 trabaja soportado en H.245 como capa de transporte. Todos los mensajes son con sintaxis ASN.1.

- Calidad de servicio. Se transporta en protocolos UDP/IP. Se tienen los protocolos siguientes:
 - RTP (Real-Time Transport Protocol). Es usado con UDP/IP para identificación de carga útil, numeración secuencial, monitoreo, etc. Trabaja junto con RTCP (RT Control Protocol) para entregar un feedback sobre la calidad de la transmisión de datos. El encabezado de RTP puede ser comprimido para reducir el tamaño de archivos en la red.
 - RSVP. El protocolo de reservación de ancho de banda es usado para reservar un ancho de banda especificado dentro de la red IP. Téngase en cuenta que RSVP trabaja sobre PPP (o similar a HDLC) pero no trabaja bien sobre una LAN multiacceso.
 - PPP Interleaving se utiliza para enlaces inferiores a 2 Mb/s para fraccionar los paquetes de gran longitud y permitir el intercalado con paquetes de servicios en tiempo-real.

- Procedimiento de Comunicación H.323.

El procedimiento de funcionamiento de los protocolos de la suite H.323 se describe con detalle a continuación. En H.323 se encuentran 3 tipos de mensajes de señalización diferentes:

- H.245: se describen estos mensajes en forma de texto concatenado en letras tipo bold
- RAS: se representa mediante 3 letras (por ejemplo ARQ).
- H.225/Q.931: representado en una o dos palabras con la primera letra en mayúsculas (ejemplo: Call Proceeding). Es usado para encapsular los mensajes H.245 de señalización entre terminales y originalmente fue diseñado como protocolo DSS1 en capa 3/7 para los accesos ISDN.

- Fase de Mantenimiento de la Registración.

Contiene un intercambio de mensajes para mantener activa la conexión entre los Gateways GW y el Gatekeeper GK. Ver la Figura 3 para el intercambio de mensajes de RAS.

- Discovery. Este primer paso es el proceso por el cual el GW determina cual es el GK que atiende a la red en ese momento. El mensaje desde el GW es del tipo multicast y se denomina GRQ (Gatekeeper Request). El GK responde con la aceptación GCF (GK Confirmation) o rechazo GRJ (GK Reject). El GK puede indicar un GK alternativo mediante mensajes alternateGatekeeper. Si no se está en condiciones de procesar el request, se puede enviar un mensaje RIP (Request in Progress) para indicar que se está procesando el request; esto resetea el timeout de la conexión.

- o Registration. El GW informa de sus direcciones de transporte y alias mediante RRQ (Registration Request) y el GK responde con RCF (Registration Confirmation) o RRJ (Registration Reject). El RRQ se emite en forma periódica. La registración tiene un tiempo de duración (expresado en segundos) para lo cual se utiliza el mensaje timeToLive. El terminal o el GK puede cancelar la registración mediante el mensaje URQ (Unregister Request) al cual le corresponde la confirmación URF (Unregister Confirmation).

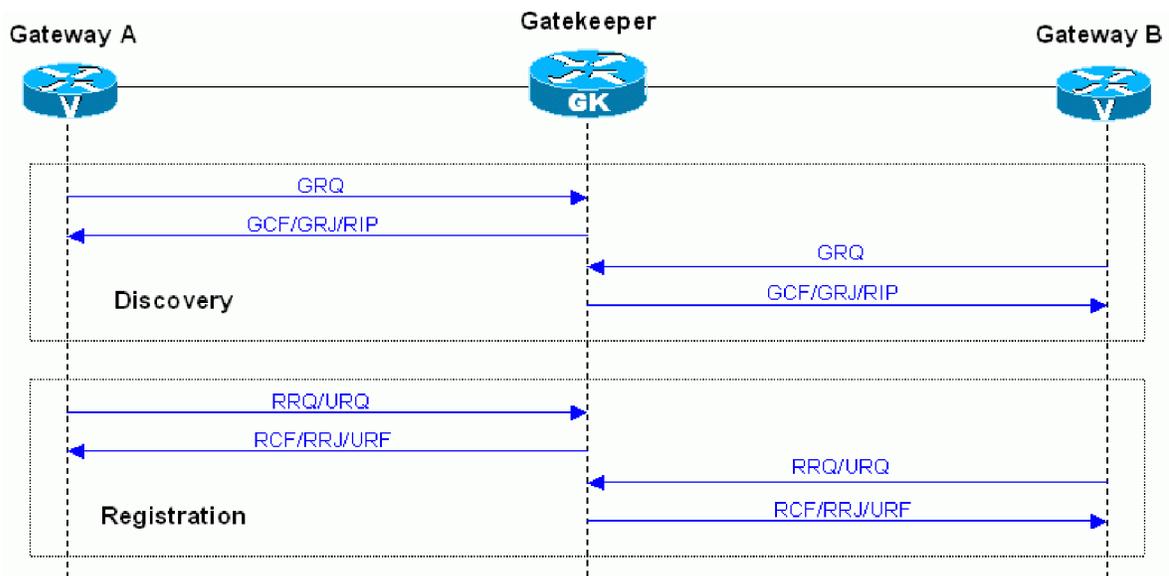


Figura 3.6. Fase de mantenimiento de la registración entre GW y GK.

- o Location. Un GW (Gateway) o GK (GateKeeper) quiere determinar su información de contacto, puede emitir el mensaje de requerimiento de localización LRQ (Location Request). Al cual le corresponde la confirmación LCF (Location Confirmation) con la información requerida. La dirección puede ser del tipo E.164 si se trata de un GateKeeper fuera de la red.

De existir varios Gateway se disponen de mensajes para intercomunicación, por ejemplo, LRQ para Locate Request y LCF para Locate Confirm.

- Status. Se trata de un mensaje periódico (mayor a 10 segundos) que emite el GateKeeper al terminal para determinar el estado y requerir un diagnóstico. Se trata de los mensajes IRQ (Information Request) e IRR (Information Response). La habilitación se realiza mediante willRespondToIRR enviado en el mensaje RCF o ACF.
- Fase de Conexión de la llamada. Representa las distintas etapas para establecer una llamada.
 - Admission. El proceso se inicia cuando desde la PSTN se recibe un mensaje de Setup para inicio de una llamada entrante en protocolo ISUP (de la suite de protocolos de señalización telefónica SS7). El Gateway responde a la PSTN mediante el mensaje Call Processing, para mantener la conexión en espera.
 - El Gateway requiere iniciar una llamada mediante el pedido de admisión desde Gateway al GateKeeper. Este mensaje es ARQ (Admissions Request) y contiene un requerimiento Call Bandwidth (en formato Q.931). El GateKeeper puede reducir las características de la solicitud en el mensaje de confirmación ACF (Admissions Confirm). En el mismo mensaje ARQ se dispone de la funcionalidad TransportQOS para habilitar la funcionalidad de reservación de ancho de banda RSVP, para servicios unidireccionales (orientado-al-receptor).
 - Setup Modo No-Ruteado. Una vez admitido el Gateway-B por el GateKeeper el procedimiento se bifurca en el modo ruteado y no-ruteado. En el modo de operación no-ruteado, el GateKeeper informa al Gateway-B cual es la dirección IP del Gateway-A al cual va dirigida la

llamada, de acuerdo con la dirección E.164 recibida en el mensaje ARQ. Ahora, el Gateway-B se comunica con el Gateway-A que fue indicado por el GateKeeper y le envía el mensaje Setup. Este mensaje (en protocolo Q.931) es respondido mediante el mensaje Call Processing.

- El Gateway -A se ocupa de registrarse mediante ARQ y recibe desde el GateKeeper el mensaje ACF. Con estas acciones cumplidas, el Gateway -A se ocupa de informar al usuario de la llamada entrante (corriente de llamada al teléfono) y hacia el Gateway -B le envía el mensaje de Alerting en Q.931 para indicar el estado de llamada. El Gateway -B envía el mensaje de Alerting a la PSTN, ahora en formato de protocolo ISUP.
- Setup Modo Ruteado. Para el caso de trabajar con Modo Ruteado, el mensaje de Setup entre Gateway pasa por el GateKeeper. En el caso No-Ruteado anterior, el GateKeeper se desentiende de la conexión y solo se ocupa de la traslación entre direcciones E.164 y IP. En el modo ruteado el GateKeeper seguirá toda la conexión, de forma que haciendo uso de las funcionalidades de Softswitch se podrán ofrecer servicios de valor agregado.
- Connect. Cuando el usuario en el Gateway-A responde, se genera el mensaje Q.931 de Connect. Este mensaje se emite hacia el GateKeeper (Modo Ruteado), quien hace lo mismo hacia el Gateway-B y este lo imita hacia la PSTN pero en protocolo ISUP.
- El paso siguiente es establecer las capacidades de los terminales utilizando el protocolo H.245 entre Gateways. Se trata del mensaje TerminalCapabilitySet de solicitud y el TerminalCapabilityAck de respuesta, que permite determinar capacidad del Terminal, tipo de

codificador, canal lógico, etc. Finalmente, se envía el mensaje OpenLogical Channel para abrir un canal lógico.

- Canal Vocal. El canal vocal se transporta sobre los protocolos RTP de la suite IP.
- Bandwidth. Durante una conexión el terminal o el GateKeeper pueden requerir el cambio de ancho de banda del canal mediante el mensaje BCR (Bandwidth Change Request).
- Fase de desconexión de la llamada. La desconexión de la llamada se realiza con mensajes Release Complete de Q.931 y DRQ (Delete Request) y DCF (Delete Confirm) de RAS.

Sobre el paquete Q.931 (H.225) se disponen de distintos tipos de mensajes:

- Mensajes para establecimiento de llamada: Alerting, Call Proceeding, Connect, Setup, Progress, etc.
- Mensajes para la fase de información de llamada: Resume, Suspend, User Information, etc.
- Mensajes para el cierre de la llamada: Disconnect, Release, Restart, etc.
- Mensajes misceláneos: Segment, Congestion Control, Information, Notify, Status, Status Enquiry, etc.

Los mensajes manejados en el ámbito de H.245 (durante la fase de comunicación telefónica) son:

- MultimediaSystemControl para efectuar el control del sistema; las variantes del mensaje son request, response, command and indication.

- Otros mensajes de interés son: masterSlaveDetermination, terminalCapability, MaintenanceLoop, communication Mode, communicationMode, conferenceRequest and Response, terminal-ID.

Protocolo de transporte RTP.

El protocolo RTP es utilizado para el transporte de la señal vocal

- Protocolo RTP (Real-Time Transport Protocol).

Tanto el protocolo de transporte en tiempo-real RTP como el protocolo de control RTCP se encuentran disponibles en RFC-1889 del año 1996. El protocolo RTP tiene como objetivo asegurar una calidad de servicio QoS para servicios del tipo tiempo-real. Incluye: la identificación del payload, la numeración secuencial, la medición de tiempo y el reporte de la calidad (función del protocolo RTCP).

Entre sus funciones se encuentran: la memorización de datos, la simulación de distribución interactiva, el control y mediciones de aplicaciones.

El RTP trabaja en capa 4 y sobre UDP, de forma que posee un checksum para detección de error y la posibilidad de multiplexación de puertos (port UDP). Las sesiones de protocolo RTP pueden ser multiplexadas. Para ello se recurre a un doble direccionamiento mediante las direcciones IP y el número de port en UDP. Sobre RTP se disponen de protocolos de aplicación del tipo H.320/323 para vídeo y voz (H.32x forma una familia del ITU-T de normas para videoconferencia).

El RTP funciona en conjunto con RSVP (capa 3) para la reservación de ancho de banda y asegurar de esta forma la QoS del tipo garantizada. La QoS del tipo diferenciada se logra mediante la priorización de tráfico que puede adoptar dos alternativas. En IP se pueden asignar diversas alternativas de prioridad para formar una cola de espera en routers. Un algoritmo particular de gestión de prioridad de tráfico es el WFQ (Weighted Fair Queuing) que utiliza un modelo de multiplexación TDM para distribuir el ancho de banda entre clientes. Cada cliente ocupa un intervalo de tiempo en un Round-Robin.

La funcionalidad ToS (Type of Service) en IP puede determinar un ancho de banda específico para el cliente. Un servicio sensible al retardo requiere un ancho de banda superior. En IP además del ToS se puede utilizar la dirección de origen y destino IP, tipo de protocolo y número de socket para asignar una ponderación. En redes que disponen de switch de capa 2 se requiere extender la gestión de la calidad de servicio a dicha capa. Para ello la IEEE ha determinado el ToS sobre IEEE-802.

El RTP además provee transporte para direcciones unicast y multicast. Por esta razón, también se encuentra involucrado el protocolo IGMP para administrar el servicio multicast. El paquete de RTP incluyen un encabezado fijo y el payload de datos; RTCP utiliza el encabeza del RTP y ocupa el campo de carga útil.

Un protocolo conocido como RTP-HC (Real-Time Protocol - Header Compression) permite la compresión del encabezado para mejorar la eficiencia del enlace en paquetes de corta longitud en la carga útil. Se trata de reducir los 40 Bytes de encabezado en RTP/UDP/IP a una fracción de 2 a 5 Bytes, eliminando aquellos que se repiten en todos los paquetes. Como los servicios de tiempo-real generalmente trabajan con paquetes pequeños y generados en forma periódica se

procede a formar un encabezado de longitud reducida que mejore la eficiencia de la red.

- Protocolo RTCP (Real-Time Control Protocol).

Este protocolo permite completar a RTP facilitando la comunicación entre extremos para intercambiar datos y monitorear de esta forma la calidad de servicio y obtener información acerca de los participantes en la sesión. RTCP se fundamenta en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes en la sesión usando el mismo mecanismo de RTP de distribución de paquetes de datos. El protocolo UDP dispone de distintas puertas (UDP Port) como mecanismo de identificación de protocolos.

La función primordial de RTCP es la de proveer una realimentación de la calidad de servicio. Se relaciona con el control de congestión y flujo de datos. El RTCP involucra varios tipos de mensajes, por ejemplo:

- Send report para emisión y recepción de estadísticas (en tiempo random) desde emisores activos.
- Receiver Report para recepción estadística desde emisores no activos.
- Source Description para un identificador de nivel de transporte denominado CNAME (Canonical Name).
- Bye para indicar el final de la participación en la conexión.
- Application para aplicaciones específicas.

El mensaje Send Report, uno de los más interesantes, disponen de 3 secciones bien diferenciadas:

- Los primeros 8 Bytes se refieren a un encabezado común.
- La segunda parte de 20 Bytes permite la evaluación de diferentes parámetros (retardo, jitter, eficiencia de datos, etc).
- La tercera parte de 24 Bytes lleva reportes que han sido obtenidos desde el último reporte informado. Incluye los siguientes reportes: cantidad total de paquetes RTP perdidos y a la proporción de los mismos; la cantidad de paquetes recibidos y el jitter entre paquetes; el horario del último paquete recibido y el retardo de transmisión del mismo.

3.2.4.2. SIP Session Initiation Protocol (Protocolo de Inicialización de Sesiones)

SIP es un Protocolo de señalización que se utiliza para iniciar sesiones interactivas multimedia entre usuarios de redes IP. Normalmente estas sesiones pueden ser de mensajería instantánea, en aplicaciones como MSN_Messenger, o de telefonía como la Voz sobre IP. SIP es la base del IMS (IP Multimedia Subsystem) que está estandarizando el 3GPP. SIP es un protocolo que pertenece al Nivel de Aplicación.

Como otros estándares, el Protocolo SIP está contemplado dentro de la base de datos RFC siendo un protocolo libre y abierto a nuevas modificaciones y no ligado a ninguna empresa ni entidad privada.

A continuación un esquema básico de cómo se realiza la comunicación entre 2 terminales IP utilizando el protocolo SIP:

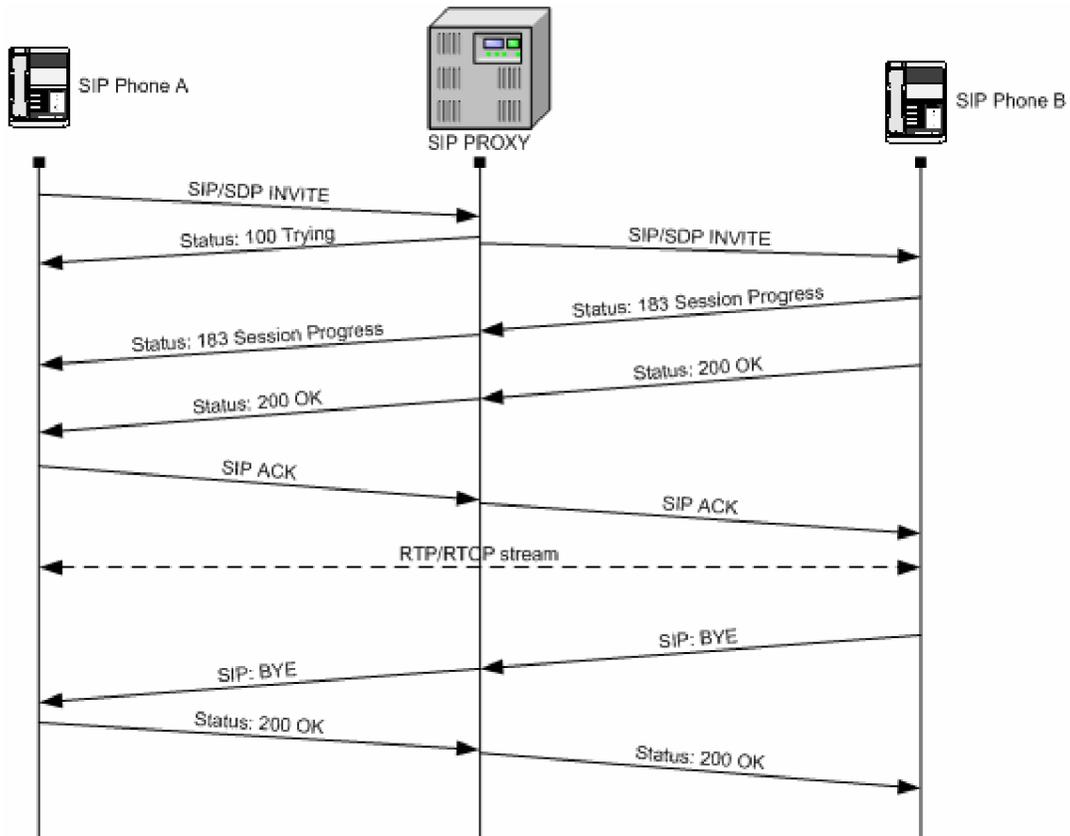


Figura 3.7. Esquema básico de comunicación SIP

El protocolo SIP incorpora también funciones de seguridad y autenticación, así como la descripción del medio mediante el protocolo SDP. Para el proceso de facturación billing se puede recurrir a un server RADIUS.

Las fases de comunicación soportadas en una conexión unicast mediante el protocolo SIP, son las siguientes:

- User location. En esta fase se determina el sistema terminal para la comunicación.
- User capabilities: Permite determinar los parámetros del medio a ser usados.

- User availability: Para determinar la disponibilidad del llamado para la comunicación.
- Call setup: ("ringing"); Para el establecimiento de la llamada entre ambos extremos.
- Call handling: Incluye la transferencia y terminación de la llamada.
- El protocolo SIP tiene dos tipos de mensajes: Request y Response. El mensaje de Request es emitido desde el cliente terminal al server terminal. El encabezado del mensaje request y response contiene campos similares:
- Start Line. Usada para indicar el tipo de paquete, la dirección y la versión de SIP.
- General Header. Contiene el Call-ID (se genera en cada llamada para identificar la misma); Cseq (se inicia en un número aleatorio e identifica en forma secuencial a cada request); From (es la dirección del origen de la llamada); To (es la dirección del destino de la llamada); Via (sirve para recordar la ruta del request; por ello cada proxy en la ruta añade una línea de vía) y Encryption (identifica un mensaje que ha sido encriptado para seguridad).
- Additional. Además del encabezado general se pueden transportar campos adicionales. Por ejemplo: Expire indica el tiempo de valides de registraci3n; Priority indica la prioridad del mensaje; etc.

Se han definido 6 métodos para los mensajes de request-response.

- Invite. para invitar al usuario a realizar una conexi3n. Localiza e identifica al usuario.
- Bye. para la terminaci3n de una llamada entre usuarios.
- Options. informaci3n de capacidades que pueden ser configuradas entre agentes o mediante un server SIP.
- ACK. usado para reconocer que el mensaje Invite puede ser aceptado.

- Cancel. termina una búsqueda de un usuario.
- Register. emitido en un mensaje multicast para localizar al server SIP.

3.2.4.3. MEGACO

Megaco o H.248 (nombre dado por la ITU) define el mecanismo necesario de llamada para permitir a un controlador Media Gateway el control de puertas de enlace para soporte de llamadas de voz/fax entre redes RTC-IP o IP-IP. Este protocolo está definido por la IETF RFC 3525 y es el resultado del trabajo realizado por la IETF y la ITU.

Antes de la cooperación entre ITU e IETF, existían diversos protocolos que cumplían estas funciones; entre ellos se encontraban MDCP y MGCP. H.248 es un complemento a los protocolos H.323 y SIP: se utilizará el H.248 para controlar las Media Gateways y el H.323 o SIP para comunicarse con otro controlador Media Gateway.

3.2.5. Modos de Funcionamiento

En primer lugar tenemos al Proveedor de Servicios de Telefonía por Internet (PSTI, o ISTP en inglés). Proporciona servicio a un usuario conectado a Internet que quiere mantener una comunicación con un teléfono convencional, es decir, llamadas PC a teléfono. Cuenta con Gateways conectados a la red telefónica en diversos puntos por una parte, y a su propia red IP por otra. Cuando un usuario de PC solicita llamar a un teléfono normal, su red IP se hace cargo de llevar la comunicación hasta el Gateway que da servicio al teléfono de destino. Esto significa que para que los usuarios de PC de un PSTI puedan llamar a muchos países, éste necesita tener una gran cantidad de Gateways.

Pues no conforme se van extendiendo los PSTI por todo el mundo, lo que se hace es establecer acuerdos económicos con otros PSTI, para intercambiar llamadas IP. Tú finalizas las llamadas que originan mis usuarios, y que tengan como destino teléfonos que tus Gateways cubren de forma local, y viceversa. En vez de llevar a cabo estos acuerdos bilaterales, lo que se suele hacer es trabajar con intermediarios, que tienen acuerdos con PSTI's de todo el mundo. Estos intermediarios son conocidos como Proveedores de Servicios de Clearinghouse (PSC, o CSP en inglés).

3.2.5.1. Llamadas teléfono a teléfono

En este caso tanto el origen como el destino necesitan ponerse en contacto con un Gateway. Supongamos que el teléfono A descuelga y solicita efectuar una llamada a B. El Gateway de A solicita información al Gatekeeper sobre como alcanzar a B, y éste le responde con la dirección IP del Gateway que da servicio a B. Entonces el Gateway de A convierte la señal analógica del teléfono A en un caudal de paquetes IP que encamina hacia el Gateway de B, el cuál va regenerando la señal analógica a partir del caudal de paquetes IP que recibe con destino al teléfono B, como el Gateway de B se encarga de enviar la señal analógica al teléfono B.

Por tanto tenemos una comunicación telefónica convencional entre el teléfono A y el Gateway que le da servicio (Gateway A), una comunicación de datos a través de una red IP, entre el Gateway A y el B, y una comunicación telefónica convencional entre el Gateway que da servicio al teléfono B (Gateway B), y éste. Es decir, dos llamadas telefónicas convencionales, y una comunicación IP. Si las dos primeras son metropolitanas, que es lo normal, el margen con respecto a una llamada telefónica convencional de larga distancia o internacional, es muy grande.

3.2.5.2. Llamadas PC a teléfono o Viceversa

En este caso sólo un extremo necesita ponerse en contacto con un Gateway. El PC debe contar con una aplicación que sea capaz de establecer y mantener una llamada telefónica. Supongamos que un ordenador A trata de llamar a un teléfono B. En primer lugar la aplicación telefónica de A ha de solicitar información al Gatekeeper, que le proporcionará la dirección IP del Gateway que da servicio a B. Entonces la aplicación telefónica de A establece una conexión de datos, a través de la Red IP, con el Gateway de B, el cuál va regenerando la señal analógica a partir del caudal de paquetes IP que recibe con destino al teléfono B, como el Gateway de B se encarga de enviar la señal analógica al teléfono B.

Por tanto tenemos una comunicación de datos a través de una red IP, entre el ordenador A y el Gateway de B, y una comunicación telefónica convencional entre el Gateway que da servicio al teléfono B (Gateway B), y éste. Es decir, una llamada telefónica convencional, y una comunicación IP. Si la primera es metropolitana, que es lo normal, el margen con respecto a una llamada telefónica convencional de larga distancia o internacional, es muy grande.

3.2.5.3. Llamadas de PC a PC

En este caso la cosa cambia. Ambos ordenadores sólo necesitan tener instalada la misma aplicación encargada de gestionar la llamada telefónica, y estar conectados a la Red IP, Internet generalmente, para poder efectuar una llamada IP. Al fin y al cabo es como cualquier otra aplicación Internet, por ejemplo un chat.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

Para el diseño de la red Inalámbrica utilizando tecnología WIMAX vamos a comenzar realizando un estudio de demanda el cual nos va a servir para analizar cuantos usuarios potencialmente activos tenemos para nuestro diseño. Luego vamos a continuar con el estudio del terreno para poder definir donde podemos colocar físicamente las antenas y realizar los cálculos de los factores que podrían afectar en la comunicación inalámbrica, esto permite definir si el lugar es adecuado para nuestros enlaces y poder brindar el servicio a todos los usuarios. Para concluir vamos a realizar el estudio de los equipos que nos pueden dar las facilidades para que el sistema funcione adecuadamente.

4. Estudio de Demanda

Para el estudio de demanda se ha realizado encuestas de campo en el sector de Tumbaco. El formato utilizado puede apreciarse en Figura 4.1:

ENCUESTA		
1.- ¿Tiene servicio de telefonía en su casa?	SI	NO
1.1.- ¿Desearía tener teléfono en su casa?	SI	NO
2.- ¿Tiene Internet en su casa?	SI	NO
2.1.- ¿Desearía tener Internet en su casa?	SI	NO
2.2.- ¿Que tipo de conexión a Internet tiene o le gustaría tener?		
a) Dial-Up (Telefónico)		b) Banda Ancha

Figura 4.1. Encuesta realizada en el sector de Tumbaco en Octubre 2006

Considerando las encuestas de usuarios realizada por ANDINATEL S.A. que se muestran en las Tablas 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8; se consideró el numero de usuarios a ser encuestados. Se realizaron 100 encuestas en diversos sectores de Tumbaco, obteniendo los resultados que se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultado de encuesta realizada en Octubre 2006

	Servicio (%)	Sin Servicio (%)	Desean Servicio (%)
Servicio Telefónico	72	28	91
Servicio de Internet	11	89	88
Dial-up	10	90	36
Banda Ancha	1	99	64

Como podemos apreciar en la Tabla 4.1, la demanda de servicios tanto telefónico como de Internet son muy elevados respecto a lo que ya se tiene

implementado, con lo que corroborando las encuestas realizadas por Andinatel S.A., es necesario incrementar los servicios. También podemos apreciar que si se oferta un servicio en el cual se brinde un sistema de servicios integrados, podríamos cumplir con la gran mayoría de la demanda.

4.1. Estudio de Terreno

En el estudio de terreno, se va a identificar el lugar mas factible para colocar el sistema y así poder brindar un servicio optimo a los suscriptores, para esto nos vamos a valer de un software gratuito llamado GOOGLE EARTH, el cual nos permite observar el terreno de una manera interactiva.

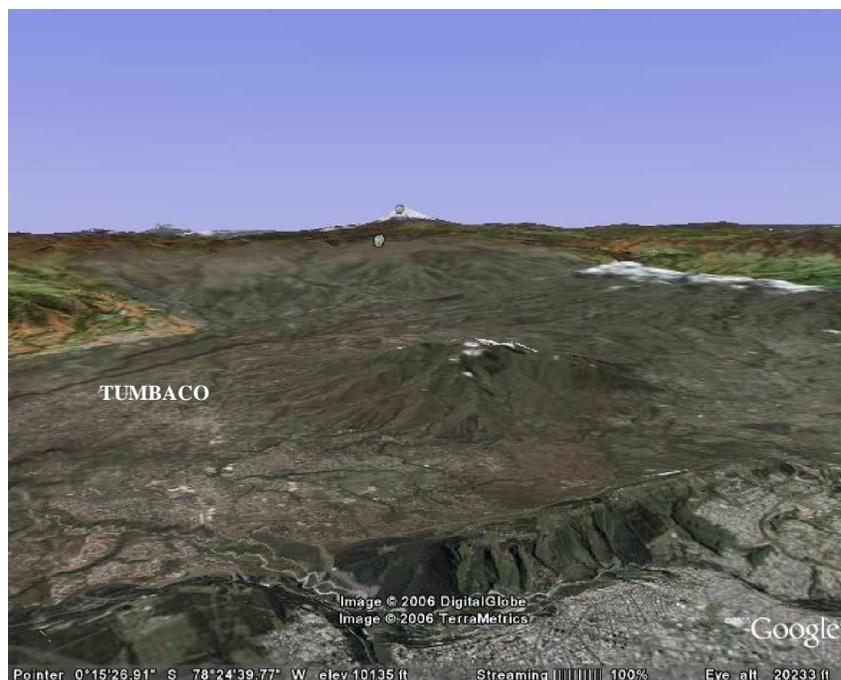


Figura 4.2. Sector de los valles de Quito

Como se puede observar en la Figura 4.2, el terreno en el que se va a trabajar es el valle de Tumbaco, en este existe una elevación poco pronunciada que es el cerro llalo, el mismo que por su ubicación y no tener obstáculos a su alrededor va a

ser utilizado para colocar la antena de nuestro sistema Wimax y así poder brindar el servicio a todo el valle de Tumbaco.

4.1.1. Alzados punto a punto

El Alzado punto a punto es una herramienta del software utilizado GOOGLE EARTH, en el cual nos permite realizar un levantamiento de las elevaciones del terreno y a su vez nos entrega las coordenadas en las que se encuentra nuestra elevación, en este caso el cerro Ilalo.



Figura 4.3. Coordenadas del Cerro Ilalo

En la Figura 4.3, podemos apreciar las coordenadas en las que se encuentra el cerro Ilalo, con lo cual nosotros podemos proceder a calcular la ubicación exacta en la cual vamos a colocar las antenas de nuestro sistema

4.1.2. Análisis para la Ubicación de Antenas

Los datos fueron tomados de las cartas topográficas⁴, en la cual se presenta también el sector en donde se encuentra planteada la implementación de este proyecto. Las cartas están a una escala de 1:50000 y se adquirieron en el I.G.M.

4.1.2.1. Cálculo de Coordenadas de la Antena

Tomando como referencia las cartas topográficas⁵, se procedió al cálculo de coordenadas del punto donde se encuentra la antena, los valores de las coordenadas de la antena que presenta la carta topográfica quedan entre 78° grados 20' minutos y 78° grados 25' minutos, lo cual nos obliga a realizar los cálculos para determinar el punto exacto donde se encuentra la antena, se procedió a realizar dicho cálculo con la relación de la figura 4.4, la cual nos permitirá conocer los minutos exactos de la ubicación de la antena.

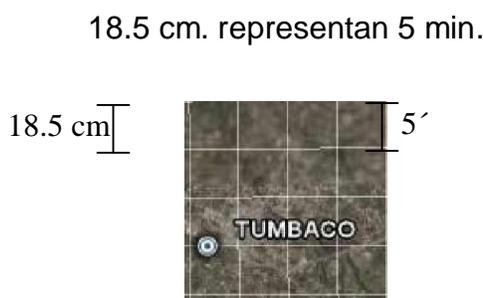


Figura 4.4. Relación de la Carta topográfica en escala 1:50000

⁵ Carta topográfica del I.G.M.(Instituto Geográfico Militar), Nombre de la carta "Sangolquí", Escala 1:50000, año 2006

Con esta conversión podemos encontrar las coordenadas exactas en minutos. Con el valor medido en la carta procedemos a realizar una simple regla de tres para así obtener las coordenadas en minutos de la antena como se muestra a continuación:

$$\begin{array}{rcl}
 5' & \xrightarrow{\quad} & 18.5\text{cm} \\
 x & \swarrow & 18.03\text{cm} \\
 & & x = 4.873'
 \end{array}$$

El resultado obtenido fue 4,873' minutos, este resultado se suma a los 78° 20' que se tiene en la carta topográfica, con lo se obtiene la coordenada 78° 24.873'. Como podemos observar, estas coordenadas están representadas por grados y minutos, pero para tener un dato más exacto podemos realizar el cálculo de los segundos.

Para proceder al calculo de los segundos, solo tenemos que basarnos en la conversión de minutos a segundos. Y como sabemos que el valor de minutos ya fue encontrado, procedemos a trabajar con la parte decimal de la siguiente manera:

$$1' \text{ minuto} = 60'' \text{ segundos}$$

Tomamos la parte decimal de los minutos que seria 0,873 y procedemos a realizar una regla de tres para calcular los segundos de las coordenadas de la antena.

$$\begin{array}{rcl}
 1' \text{ min} & \longleftarrow & 60'' \text{ seg} \\
 0,873 & \nearrow & x \\
 & & x = 52.38''
 \end{array}$$

Con esto logramos conseguir las coordenadas exactas en Longitud que son 78° grados 24' minutos 52.38'' segundos W en dirección Oeste. Realizando los mismos

cálculos para la Latitud obtenemos 0° grados $15'$ minutos $47,70''$ segundos S en dirección Sur.

Tabla 4.2. Coordenadas Exactas de Antena Wimax en cerro Ilalo

	Latitud	Longitud
Antena	$0^{\circ} 15' 47.70''$ S	$78^{\circ} 24' 52.28''$ W

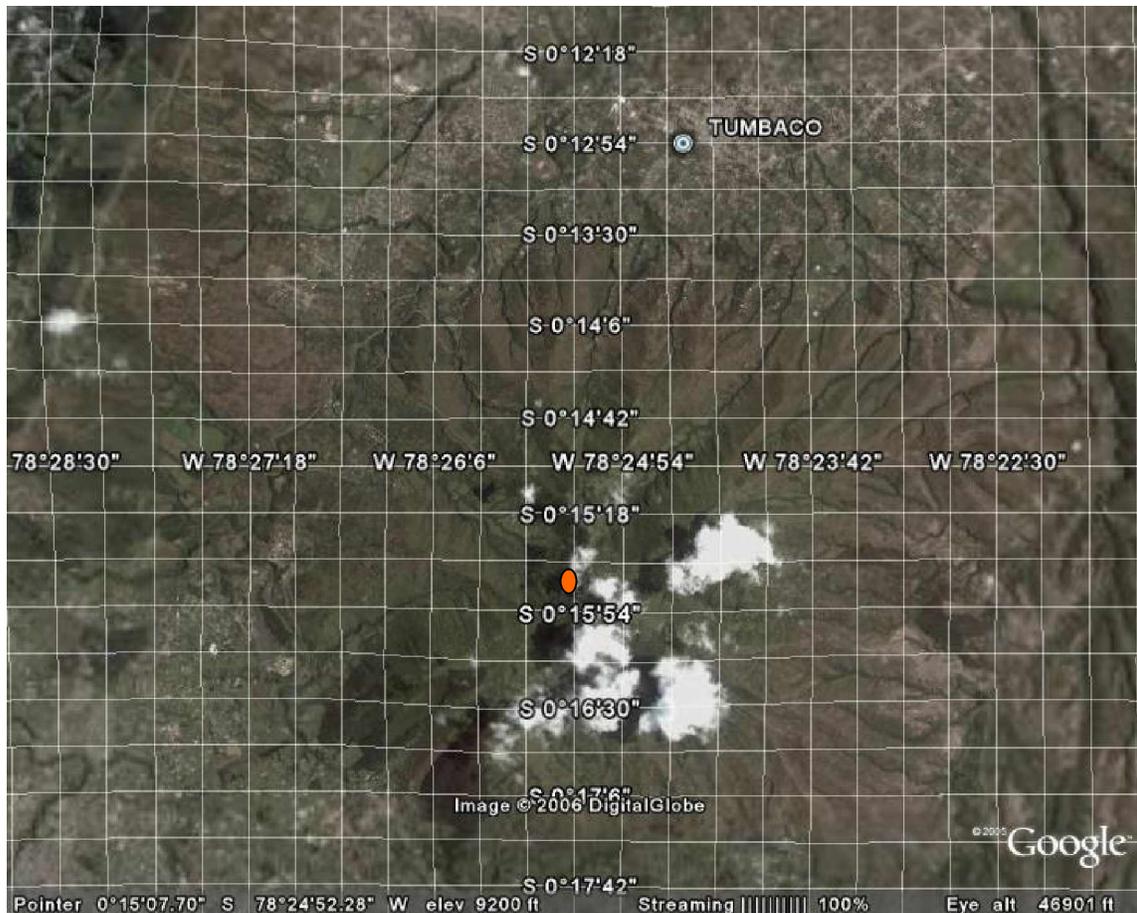


Figura 4.5. Ubicación de Antena Wimax

En la Figura 4.5 se puede observar que los datos que obtenidos en los cálculos anteriores se asemejan a los obtenidos con el software utilizado, en esta ubicación

se va a colocar la antena del cerro llalo, esta se colocará en el pico más pronunciado del cerro cuyas coordenadas se muestran en la tabla 4.2.

4.2. Diseño de la Topología de la red

La topología de la red consta de dos partes, el primer enlace va a ser un enlace punto a punto por radio, este va a conectar desde la Antena del Cerro llalo hasta la Estación Terrena (ENLACE 1), para poder acceder a la red de de Andinatel S.A. y poder brindar todos los servicios integrados. En el segundo enlace, es el enlace Wimax, en el cual vamos a realizar un enlace punto – multipunto de última milla, desde la antena ubicada en el cerro llalo hacia cada uno de los usuarios en el sector del Valle de Tumbaco (ENLACE 2) , como se muestra en la figura 4.6.

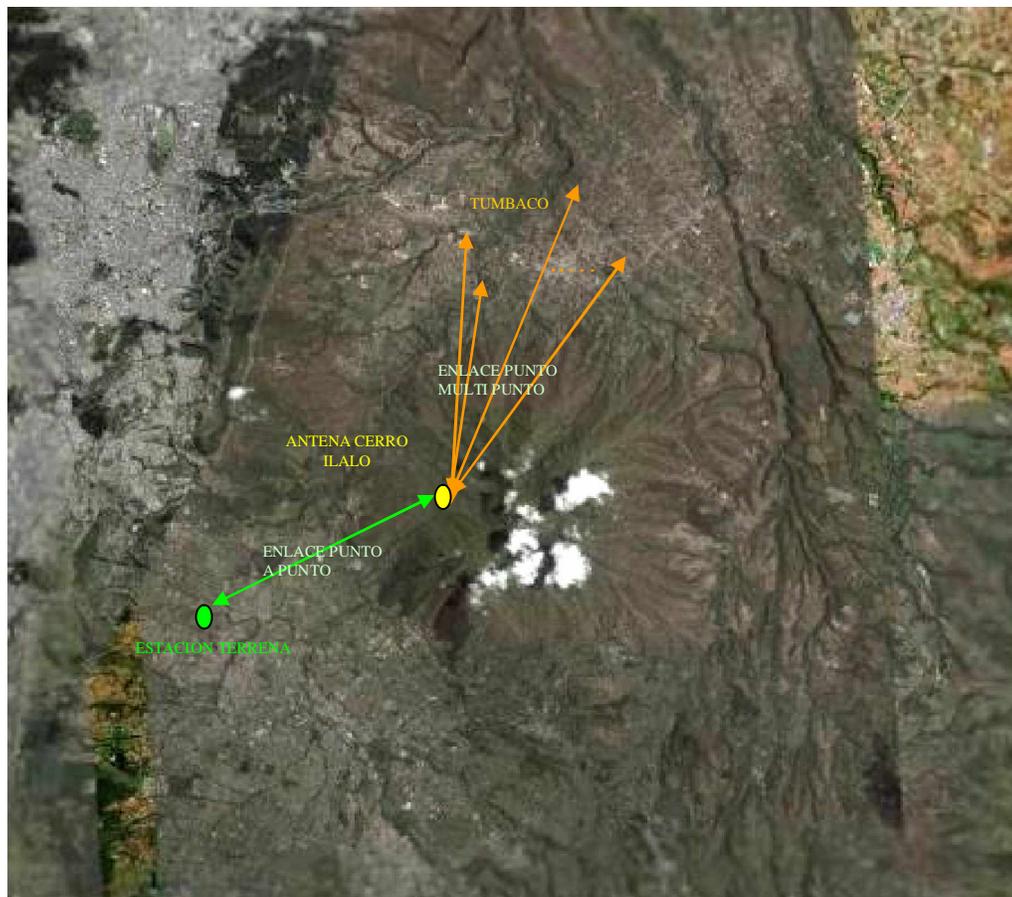


Figura 4.6. Topología de la red Wimax

Puede apreciarse que cuando un usuario en Tumbaco desea conectarse al servicio, este va a conectarse de manera inalámbrica (Wimax), hasta la antena ubicada en el cerro Ilalo y esta a su vez se conecta por radio a la Estación Terrena, en la cual tenemos la interconexión con el resto de la red de Andinatel S. A. por medio los el softswitch, routers, PSTN, etc., como podemos ver a en la Figura 4.6.

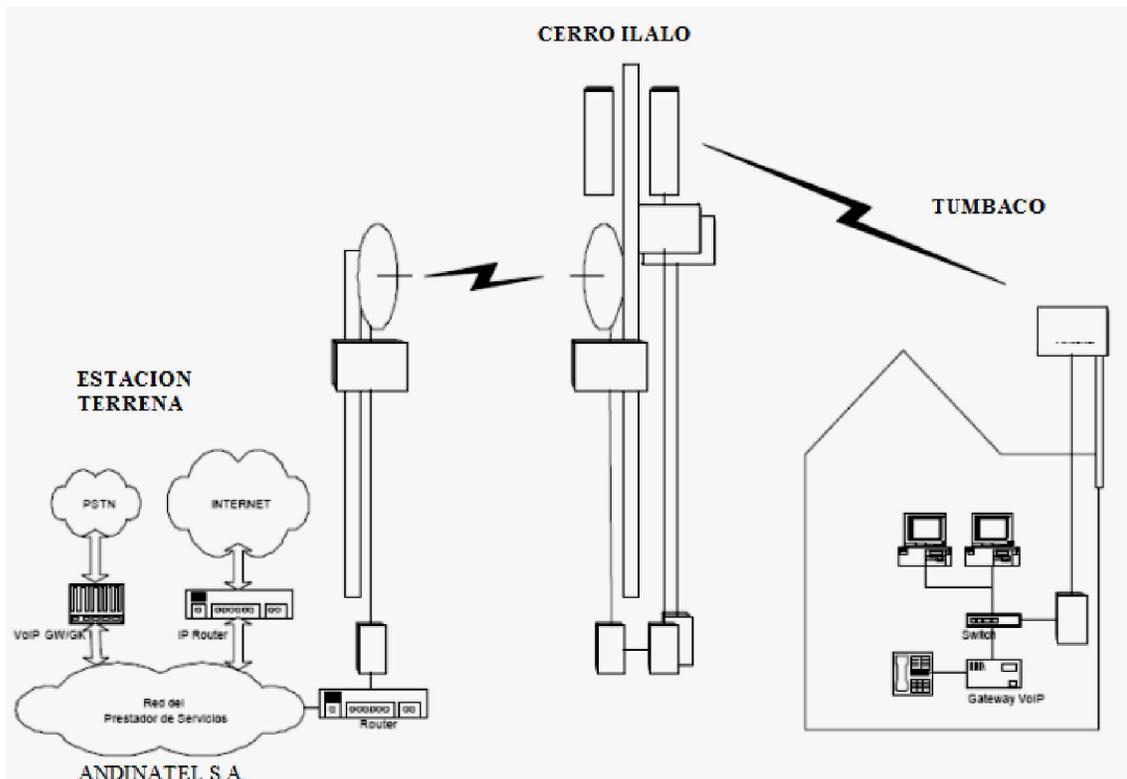


Figura 4.7. Comunicación del Sistema Wimax con la red de Andinatel S.A.

4.2.1. Estudio de Propagación de la señal

4.2.1.1. Cerro Ilalo- Estacion Terrena (Enlace 1)

- Levantamiento del perfil de terreno

De acuerdo con la lectura de mapas topográficos, se logró obtener el levantamiento del perfil del terreno de este enlace. En el cual se puede determinar que existe línea de vista

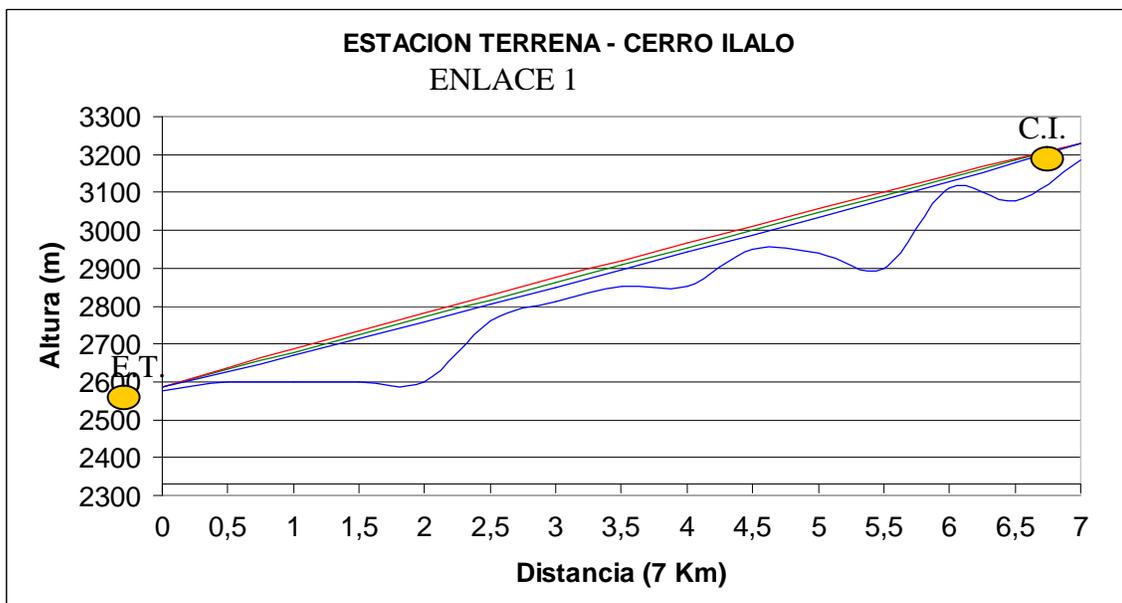


Figura 4.8. Levantamiento de zona de Fresnel Enlace 1

- Parámetros de enlace

Cálculos

$$k=4/3$$

$$h_2= 2576m$$

$$h_1=3184m$$

$$d = 7 \text{ Km}$$

- **Cálculo de línea de vista (Factor de Tolerancia C)**

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{3.5 * 10^9} = 0.086 \text{ m}$$

Como podemos observar en la figura anterior, la elevación mas pronunciada y donde se podría presentar una obstrucción y perder la línea de vista seria en:

D1=6 km → Desde la Estación Terrena al obstáculo

D2=1 km → Desde el Cerro Ilalo al obstáculo

Entonces tenemos:

$$C = 19 \sqrt{\lambda \frac{d1 * d2}{d} + \frac{d1 * d2}{39}}$$

$$C = 19 \sqrt{0.085 \frac{6 * 1}{7} + \frac{6 * 1}{39}}$$

$$C = 5.28 \text{ m}$$

Con lo que podemos concluir que pese a que existe esta elevación, si tenemos línea de vista y que tenemos un factor de tolerancia de 5.28 m en ese punto.

- **Zona de Fresnel**

Ejemplo de cálculo para todas la distancias:

D1=0,5 km

D2=6,5 km

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$f = 3.5GHz$$

$$\Rightarrow \lambda = 0.086$$

$$h_o = \sqrt{0.086 \frac{0.5 \times 10^3 * 6.5 \times 10^3}{7 \times 10^3}}$$

$$h_o = 6.3m$$

Con lo que tenemos los resultados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Zona de Fresnel ENLACE 1

D1	D2	K = 4/3	DATOS	TRAYECTO	R. FRESNEL	R+ FRESNEL	R- FRESNEL
0	7	0	2576	2586	0	2586	2586
0,5	6,5	0,382056286	2598	2632	6,308400619	2638,308401	2625,691599
1	6	0,705334681	2600	2678	8,571428571	2686,571429	2669,428571
1,5	5,5	0,969835187	2600	2724	10,05089091	2734,050891	2713,949109
2	5	1,175557802	2600	2770	11,0656667	2781,065667	2758,934333
2,5	4,5	1,322502527	2760	2816	11,73691195	2827,736912	2804,263088
3	4	1,410669363	2810	2862	12,12183053	2874,121831	2849,878169
3,5	3,5	1,440058308	2850	2908	12,24744871	2920,247449	2895,752551
4	3	1,410669363	2850	2954	12,12183053	2966,121831	2941,878169
4,5	2,5	1,322502527	2950	3000	11,73691195	3011,736912	2988,263088
5	2	1,175557802	2940	3046	11,0656667	3057,065667	3034,934333
5,5	1,5	0,969835187	2900	3092	10,05089091	3102,050891	3081,949109
6	1	0,705334681	3110	3138	8,571428571	3146,571429	3129,428571
6,5	0,5	0,382056286	3078	3184	6,308400619	3190,308401	3177,691599
7	0	0	3184	3230	0	3230	3230

- **Perdidas totales**

$$L_T = L_e + L_g + L_c$$

Donde: L_T = Perdidas Totales
 L_e = Perdidas en el Espacio Libre
 L_g = Perdidas en las Guía de Onda
 L_c = Perdida en los Circuladores

 L_e

$$L_e (dB) = 92.44 + 20 \log(F (Ghz)) + 20 \log(D (Km))$$

$$L_e (dB) = 92.44 + 20 \log(3.5) + 20 \log(7)$$

$$L_e (dB) = 120,18dB$$

 L_c

Las pérdidas en circuladores se toma 2dB.

 L_g

Altura de antenas

$$h_1 = 10m$$

$$h_2 = 30m$$

La guía de onda utilizada tiene una atenuación de 5.58 dB/100m. Se supone que la distancia de la guía de onda utilizada desde la torre hasta la caseta de comunicaciones es de 10 m. por tanto la pérdida en guías de onda esta dado por :

$$L_g = (h + d) * At / m * 2$$

$$L_g = (10 + 10)0.58 * 2$$

$$L_g = 23,2dB$$

Para el otro caso

$$L_g = (h + d) * At / m * 2$$

$$L_g = (30 + 10)0.58 * 2$$

$$L_g = 46.4dB$$

$$L_g = 23.2 + 46.4 = 69.6dB$$

Perdida total es:

$$L_T = L_e + L_g + L_c$$

$$L_T = 120,18 + 69.2 + 2$$

$$L_T = 191,38dBm$$

- **Margen de desvanecimiento**

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

A= 0.25 para terrenos montañosos con muchas ondulaciones

B=0.25 para áreas continentales

R= 0.9999 confiabilidad

$$Fm = 30\log(7) + 10\log(6 * 0.25 * 0.25 * 3.5) - 10\log(1 - 0.9999) - 70$$

$$Fm = -3,44$$

4.2.1.2. Tumbaco-Cerro Ilalo (Enlace 2)

En este enlace se va a tomar en cuenta el sector de tumbaco mas cercano a la montaña, el cual puede que cause una obstrucción y perder la línea de vista.

Frecuencia GHz = 3.5

Distancia Km = 5

K=4/3

Altura Antena en el Cerro Ilalo (m) = 30

Altura de antena en usuario Tumbaco (m) = 1

Altura del Cerro Ilalo (m) = 3184

- **Zonas de Fresnel**

Los Datos de las alturas del terreno fueron Obtenidos de la carta topografía⁵ a una escala 1:50000, para realizar los cálculos de línea de vista y zonas de Fresnel.

$$h_o = \sqrt{\lambda \frac{d_1 * d_2}{d}}$$
$$d = d_1 + d_2$$

Las distancias tienen que estar en metros.

Ejemplo de cálculo para todas la distancias:

D1=0,5 km

⁵ Carta topográfica del I.G.M.(Instituto Geográfico Militar), Nombre de la carta "Sangolqui", Escala 1:50000, año 2006

D2=4,5 km

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$f = 3.5GHz$$

$$\Rightarrow \lambda = 0.086$$

$$h_o = \sqrt{0.086 \frac{0.5 \times 10^3 * 4.5 \times 10^3}{5 \times 10^3}}$$

$$h_o = 6.21m$$

Con lo que en la Tabla 4.4 podemos observar todos los resultados.

Tabla 4.4. Zona de Fresnel ENLACE 2

D1	D2	K = 4/3	DATOS	TRAYECTO	R. FRESNEL	R+ FRESNEL	R- FRESNEL
0	5	0	3184	3214	0	3214	3214
0,5	4,5	0,264500505	3110	3125,7	6,210590034	3131,91059	3119,48941
1	4	0,470223121	3045	3037,4	8,280786712	3045,680787	3029,119213
1,5	3,5	0,617167846	2920	2949,1	9,486832981	2958,586833	2939,613167
2	3	0,705334681	2850	2860,8	10,14185106	2870,941851	2850,658149
2,5	2,5	0,734723626	2770	2772,5	10,35098339	2782,850983	2762,149017
3	2	0,705334681	2670	2684,2	10,14185106	2694,341851	2674,058149
3,5	1,5	0,617167846	2520	2595,9	9,486832981	2605,386833	2586,413167
4	1	0,470223121	2420	2507,6	8,280786712	2515,880787	2499,319213
4,5	0,5	0,264500505	2380	2419,3	6,210590034	2425,51059	2413,08941
5	0	0	2330	2331	0	2331	2331

Con la obtención de los datos podemos realizar la grafica del terreno en la cual podemos ver que si existe línea de vista y que la primera zona de Fresnel se encuentra completamente libre para como se puede ver en la siguiente figura:

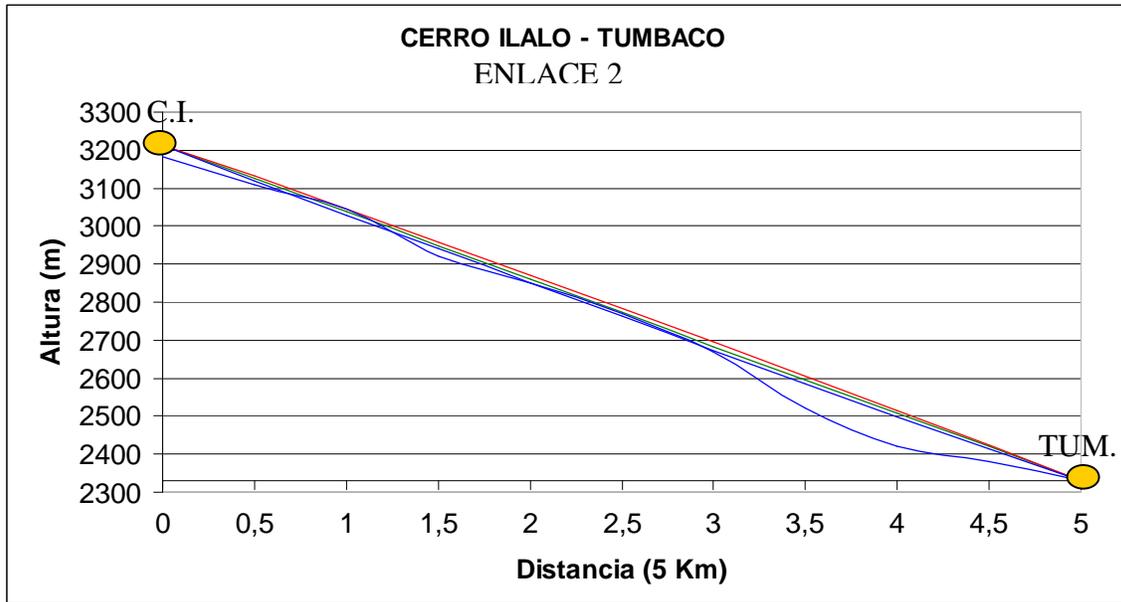


Figura 4.9. Levantamiento de zona de Fresnel Enlace 2

4.2.2. Distribución de Celdas

4.2.2.1. Análisis de Cobertura

Como sabemos el sistema Wimax permite realizar una cobertura de hasta 50 Km con línea de vista y aproximadamente 12 km sin línea de vista (zonas metropolitanas). En el diseño que se plantea se pretende cubrir una distancia aproximada de 10 Km con línea de vista, esto nos permite asegurar una alta calidad de servicio a nuestros usuarios. Con la ubicación de la antena en el sitio indicado se puede cubrir todo el sector de el valle de Tumbaco, sus alrededores, y hasta podríamos cubrir zonas como Cumbaya y el sector del Valle de Los Chillos, etc, como se puede ver a continuación:

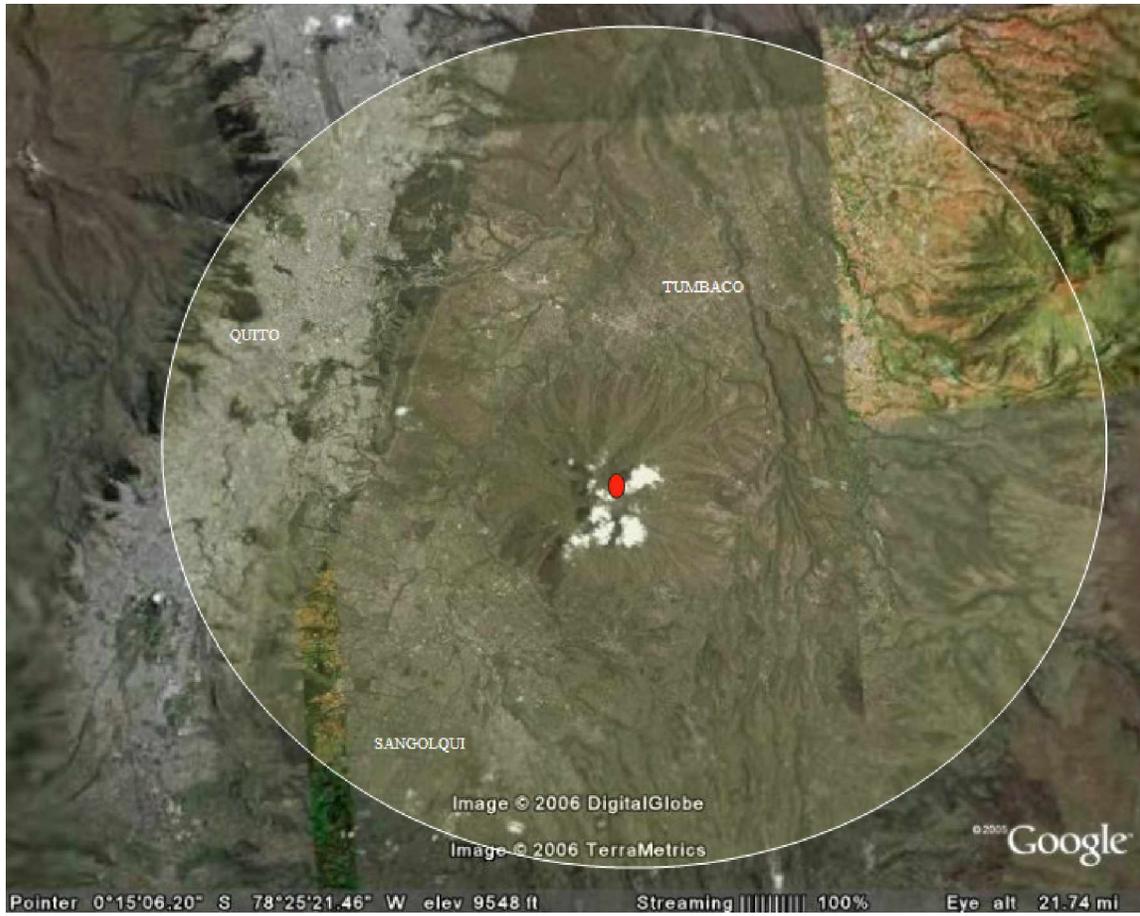


Figura 4.10. Cobertura prevista para el sistema Wimax

4.2.2.2. Equipos a Utilizar en el Diseño

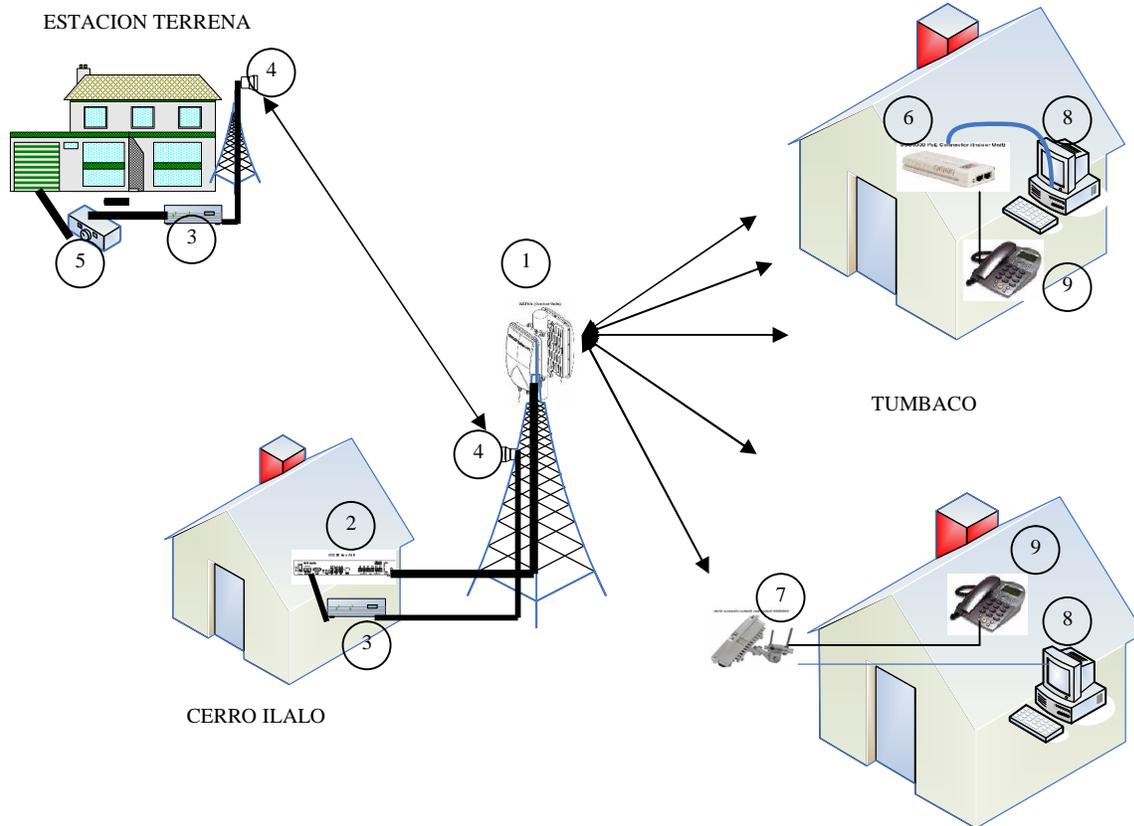


Figura 4.11. Diagrama de colocación de equipos Wimax

En la figura 4.10 se muestran un diagrama básico de las conexiones con los equipos que se va a utilizar en nuestro proyecto, a continuación se detalla los equipos:

1. Antena de estación base Wimax
2. Estación Base CBS5000
3. Radio Tx/Rx de Datos
4. Antena de Radio Tx/Rx
5. Softswitch

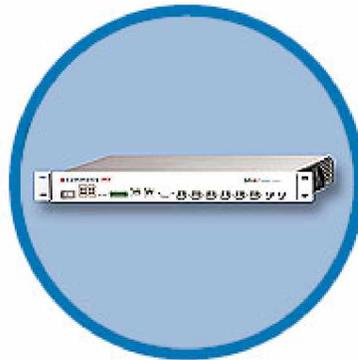
6. CPE interno (indoor)
7. CPE externo (outdoor)
8. Pc's
9. Teléfonos Ip's



4.2.2.2.1. Estación de base de CBS5000

Es el Hub de su red WiMAX, la estación de base de CBS5000, es una estación de 3 sectores fuerte y redituable que soporta miles de voz, Internet y las conexiones del servicio multimedia en una pisada compacta.

- § Plataforma Field-proven con mejor cobertura para los ambientes NLOS
- § Ideal para desempeño de WiMAX a gran escala.
- § Soporta symmetry MX, la interfaz de aire más avanzada de la industria WiMAX
- § Innovador, QoS pendiente de patente asegura el manejo de tráfico de tiempo real
- § CAPEX dirigido - los carrier crean su red cuando añaden a abonados, servicios, o sectores
- § El despliegue fácil de 3 sectores servir a hasta 3072 abonado, Estaciones con aún más abonados en Multi inquilino, Aplicaciones de conjunto habitacional de abonados múltiples



Especificaciones

- Soporte para airlink de symmetryMX
- Soporte para 1 a 3 sectores con la diversidad
- Factor de formato de 1U compacto
- 100La BaseT interfaz para VoIP y los datos
- 1000BaseT / 1000BaseSx y otras interfaces disponibles en el futuro
- Broadband Technology: WiMAX 802.16-2004 OFDM
- Frecuencia de Operacion: 3.5 GHz
- Soporta ancho de canal de: 1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz
- Multi-Sector soporta mas de tres sectores con una unidad de proceso simple
- Sub-canalizacion: Arriba de 16 sub-canales
- Duplexing: FDD (100 MHz Tx/Rx spacing)
- Modulacion: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- Potencia de transmision:22 dBm

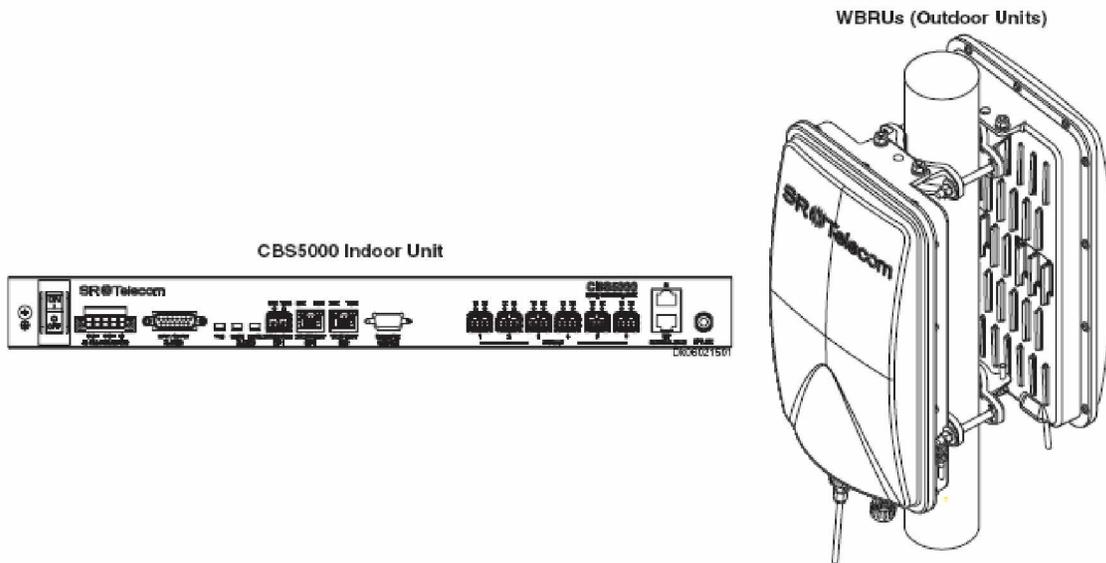


Figura 4.12. Estación Base Wimax

4.2.2.2.2. Sistema symmetryMX - WiMAX

Airlink de MX de simetría combina las técnica de modulación de OFDM con las características de WiMAX avanzadas fundamentales para repartir los datos de voz y banda ancha de peaje - calidad en puntos de precio apropiados para la empresa, comerciales modelos de la empresa residencial.

Características

- § 802.16-2004 (OFDM256)
- § Unidad de disquetes
- § Disponible para la banda de frecuencia 3.5 GHz (3.3 - 3.8 GHz)
- § 1.75 El MHz, 3.5 tamaños de canal de MHz, y 7MHz (la plataforma dependiente)
- § Modulación adaptable (64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK)
- § FEC. (la corrección de error delantera): la codificación de Reed - Solomon y Convolutional

- § Subchannelization para 2,4,8 o 16 subchannels
- § Diversidad de polarización para el rendimiento de NLOS óptimo
- § La diversidad de Rx usar MRC
- § Tx diversity using STC (Alamouti coding)
- § Establezca un enlace ascendente y transmita vía satélite ARQ (la petición de repetición automática)
- § APC de transmisión hacia satélite (el control de Power automático)
- § El soporte de VLAN: la segmentación de la red de 802.1Q de IEEE y el enlace.; Prioritization de 802.1D (802.1p); Q - en - Q (el futuro)
- § Clasificación de paquete extensiva y filtros para Layers 2, 3 y 4
- § Supresión de encabezamiento de Payload
- § Control de admisión de ancho de banda dinámico
- § QOS flexible con el soporte para UGS, rtPS, nrtPS y clases mejor esfuerzo programar
- § Algoritmo de planificación avanzado con el apoyo de QOS lleno

CPEs SSU5000 disponibles para airlink de symmetryMX

- § CPE Outdoor (al aire libre), 100BT
- § CPE Outdoor (al aire libre), 100BT con 2 puertos de voz integrados
- § CPE Indoor (interno), 100BT
- § CPE Indoor (interno), 100BT con 2 puertos de voz integrados



Figura 4.13. CPE Wimax

El SSU5000 soporta todas las características de WiMAX de 802.16 - 2004 obligatorias. También implementa especiales aplicaciones de WiMAX, como la codificación de espacio - tiempo, Sub-canalización, la diversidad, ARQ, y QoS avanzados para que la entrega a domicilio sea de mejor en eficiencia espectral y extensión de NLOS.

El SSU5000 consta de una unidad al aire libre (outdoor), que alberga el transceptor y antena integrada, y una unidad interna (indoor), que suministra el poder y la interconexión A tanto la unidad al aire libre como los dispositivos de conexión en red de IP del abonado.

Subscriber Indoor.

SYMMETRY MX apoya la entrega de servicios de VoIP, permitido por el servicio de subvención no solicitado (UGS) y el servicio de sondeo de tiempo real (rtPS) programando la capacidad de clasificación de paquete extensivas, tanto como el planificador multimedia avanzado de la simetría. Aplicaciones que requieren una interfaz de servicio telefónico convencional (el POTS) usual en la SS son soportadas sobre un abonado vía de acceso interna que se conecta al SSU5000. La

interoperabilidad es posible con la mayoría de las vías de acceso de VoIP disponibles y Access integrado de dispositivos que suministrar la flexibilidad máxima para el proveedor de servicio

SR Telecom también brindan una vía de acceso de VoIP que soporta las siguientes características:

- Integrado, Wi-Fi punto de acceso, y vía de acceso de VoIP
- Servicios de llamada avanzados, incluyendo Caller ID, la espera de llamadas, y el correo vocal
- Voz simultánea sobre servicio de IP y acceso a internet
- Dos interfaces de adaptador (ATA) de teléfono de análogo de VoIP de computadora portátil de estación (FXS) de cambio de divisas
- Uno IEEE que 802.3 Ethernet reescribe para conectarse a la SS (unidad al aire libre)
- Tres puertos de interruptor de Ethernet de IEEE 802.3
- Un 802.11b de IEEE o Wi-Fi módulo de 802.11g
- Interfaz de administración de Web



Aplicaciones Típicas

- Servicios de acceso a internet
- VoIP residencial acceso
- Servicios P.B.X. de IP de la empresa
- Acceso de la red de datos público y privada
- Redes Wi-Fi
- VPN de IP
- Servicios multimedia (Sistema de audio continuo, video, Videoconferencia, etc)

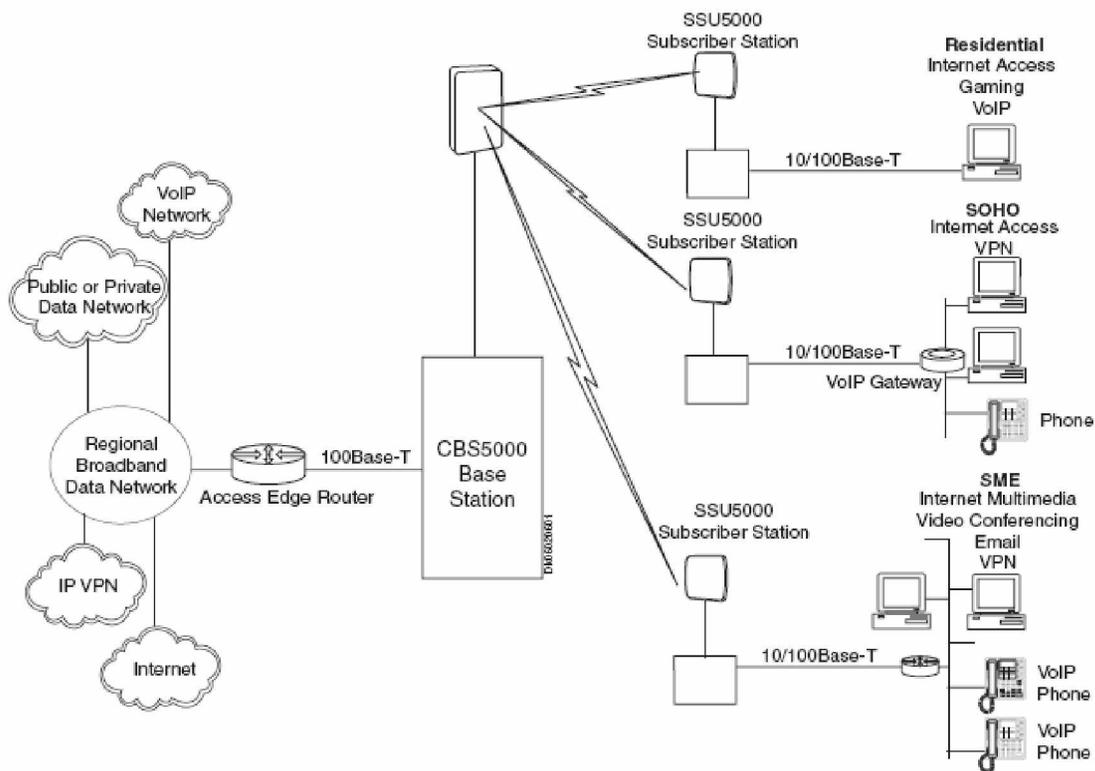


Figura 4.14. Sistema WiMAX

4.3. Análisis para la Administración de la red

4.3.1. Software de Administración

- **Interfaces de Administración**

El CBS5000 soporta las funciones de administración sobre las siguientes interfaces:

- Network interfaces (NIF 1 o 2) que soportan la segmentación del usuario tráfico de datos, también como el manejo y el control del trafico, sobre VLAN de 802.1Q.
- Administración Local por 100Base-T (RJ - 45), sin VLAN etiquetar, eso provee el acceso local a una interfaz local que usa el Simple Network Management Protocol (el SNMP)
- Interfaz de consola de RS-232 local (DB9) que es usado para la configuración inicial de una dirección IP estática o una dirección IP dinámica DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

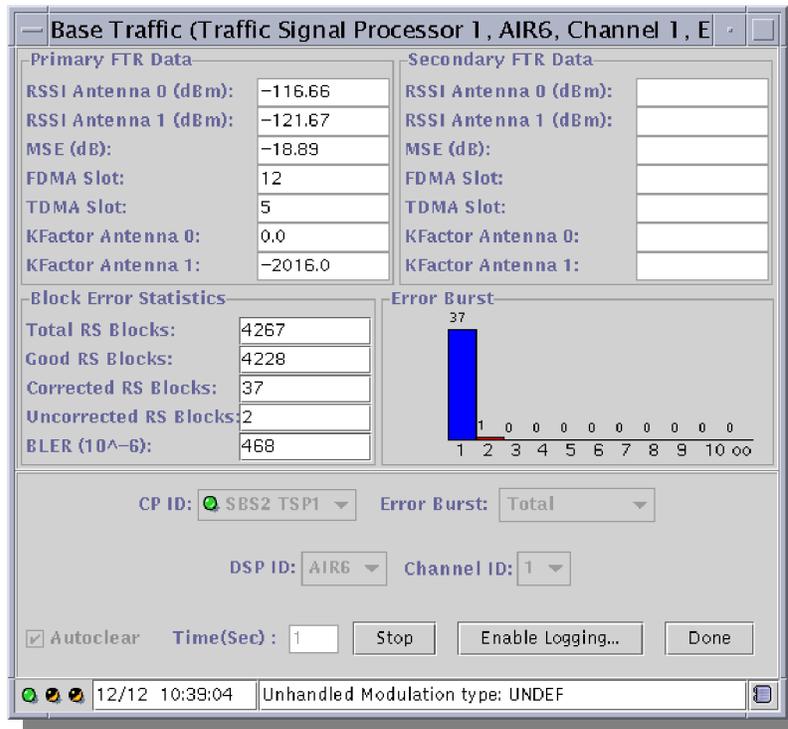


Figura 4.15. Interfaz de Administración del Sistema Wimax

- **Interfaces de alarma**

El CBS5000 soporta las siguientes alarmas e indicadores de estado de LED de falla:

- Tres alarma de estado (menores, muy importante, crítico)
- Dos alarma de contacto detecta la entradas inputs (DB 15) configurable para los propósitos generales

Lo siguiente presenta la pantalla de configuración de lista de Control de Acceso. Una lista de Control de Acceso específica, esta relacionada con los flujos del servicio en el enlace ascendente y la dirección de señal de bajada.

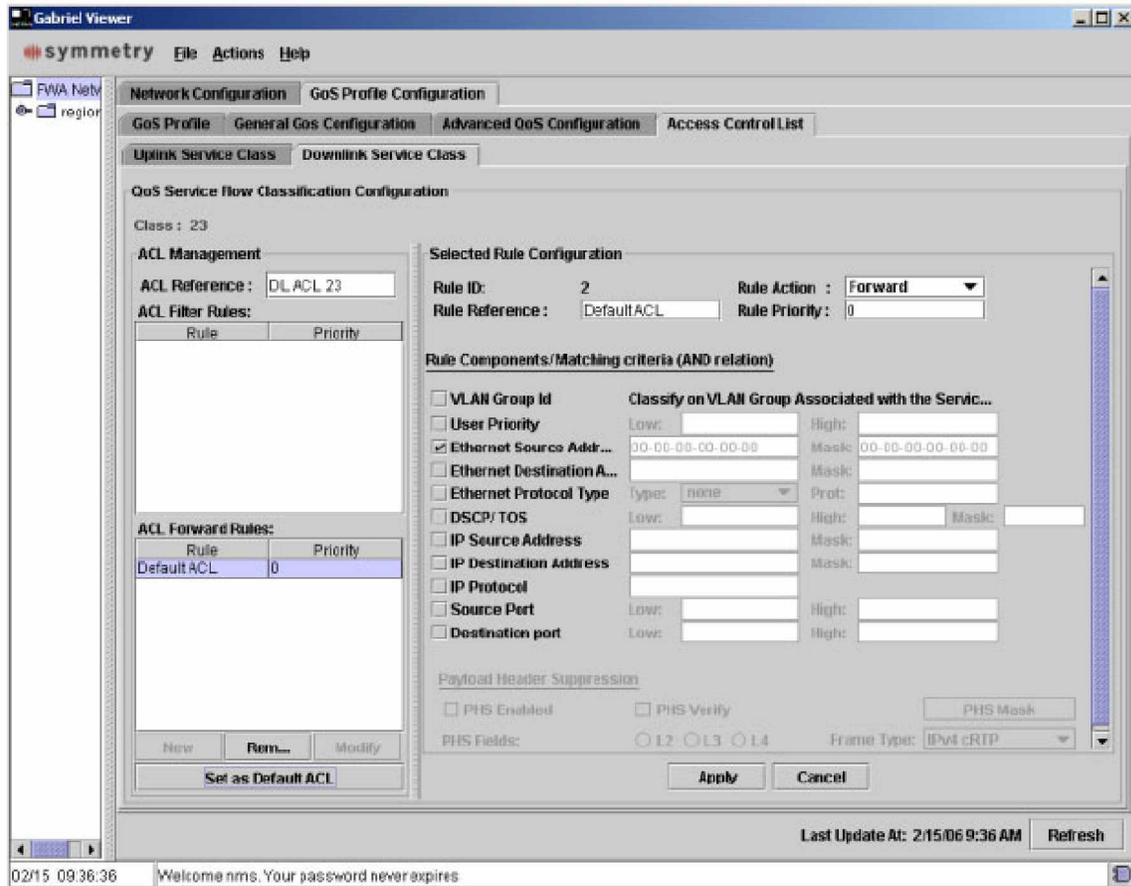


Figura 4.16. Interfaz de Alarmas del Sistema Wimax

El sistema de observación de rendimiento se usa por técnicos de centro de operaciones (NOC) de la red e ingenieros de RF, reunir y analizar el tiempo real y el rendimiento histórico que los datos de un rango de categorías, incluyendo aire conectan los datos de banda ancha, ambiental, backhaul, e interpretación de llamada de VoIP. El sistema de observación de rendimiento respalda lo siguiente:

- Observación de rendimiento avanzada
- Estadísticas de datos de banda ancha
- Estadísticas de tráfico de voz
- Rendimiento de interfaz aéreo
- Interfaces de la red
- Datos ambientales

- **Administración de elemento**

El sistema de administración de elemento es usado por técnicos de NOC de desplegar y dirigir el CBS5000 y el abonado equipo de estación. El sistema de dirección de elemento respalda lo siguiente:

- Estación de base y abonado configuraciones de estación
- Configuraciones de circulación del servicio
- Dirección de alarma
- Integración perfecta para alarmas
- Estado de sistema - nivel y control
- Reparación técnica avanzada
- Base de datos para el envío de alarma

4.3.2. Administración de la Red

El (NMS) de sistema de administración de la red de simetría de Sr Telecom suministra red exhaustiva y servicio aprovisionando, también como la observación de rendimiento, con la funcionalidad para la que permitir que los subscriptores maximicen la disponibilidad del servicio.

- **Dirección de orden**

El sistema de dirección de orden es usado tanto por los proveedores de servicio como montadores a las actividades coordinadas.

Los programas de instalación cargan las órdenes de trabajo e instalan los CPEs en el sitio del abonado, mientras que los operadores crean el cliente órdenes de

trabajo y programan las abonadas instalaciones. El sistema de dirección de orden respalda lo siguiente:

- Interfaz de navegador amigable con el usuario para la entrada de orden y los datos del cliente
- Orden aprovisionar del cliente
- Abonado aprovisionar rápido y fácil con la selección de una lista de paquetes del servicio
- Distribución de orden de trabajo
- Herramienta de interfaz de arte local para las instalaciones

- **Provisión de equipo y la instalación**

Para simplificar la instalación y la configuración del equipo de simetryMX, el simetriMX Airlink soporta lo siguiente:

- Instalación fácil
- La conexión rápida y las características de auto-configuración acelera la instalación de las estaciones CPEs en los abonados.
- Activación del servicio rápida
- Identidad - instalación y opciones de instalación profesionales

- **Auto descubrimiento y configuración**

- Abonado auto-descubrimiento de estación e identidad - conexión para la estación de base
- El servicio dinámico aprovisionar el descubrimiento de la SS del NOC en adelante
- La autenticación de la SS inmediata y la autorización con una autenticación, la autorización y la contabilidad (AAA) servidor
- Configuración de IP dinámica de abonado estaciones y anfitriones

- Dinámico (a petición) e interferencias (always-on) control de admisión del servicio y activación

- **QoS dinámicos**

Atender los cambios de parámetro de QoS específicos que pueden ser enérgicamente y en un instante aplicado a través la Red.

- **Clasificación de tráfico**

El CBS5000 y el SSU5000 funcionan como 2 capas switcheadas. Por lo tanto, las direcciones de Control de Access del medio (Mac), son la información de paquete principal usada para la clasificación. Un puente provee una función de aprendizaje dinámica para guardar una tabla de correspondencia de los orígenes de direcciones de Mac sin la configuración manual extensiva. Cada vez que un nuevo paquete llega, la mesa es registrada para descubrir dónde enviar el tráfico sobre las conexiones correctas. Típicamente, un usuario puede querer suscribirse a algunos servicios de acceso para aplicaciones específicas, que también puede requerir el nivel diferente de soporte de QoS. Para permitir los servicios de acceso diferentes, algunos flujos del servicio estarán establecidos típicamente entre una SS y el centro de base. Para soportar QoS, es necesario el colocar un puente sobre direcciones de las 2 capas, este mecanismo se usa con el mecanismo de envío de la 802.16 sub-capas de convergencia called la clasificación de paquete de QoS.

Las listas de Control de Access (ACLs) definen qué tipo de tráfico debe ser enviado o filtrado sobre una circulación del servicio específica. Los ACLs incluyen los parámetros para L2 , tanto como para L2, L3, y clasificación de L4.

Una regla de clasificación consta de una lista de campos de paquete y criterios combinando para que esta sea cubierta y para que un paquete combine con su clasificador. Algunas reglas pueden ser definidas para los mismos flujos del servicio. Estos clasificadores son valorados sobre una base de paquete - por - paquete en la velocidad de cable, que es hecho posible con el uso de la aceleración de equipo físico.

Paquetes que conocen los criterios especificados son enviados en la cola del planificador correcto. Cada cola es tratada por el planificador de airlink entonces/luego, respetando los parámetros de QoS relacionados con la relación.

- **Interfaces de sincronización**

El CBS5000 puede generar su propio origen de cronometraje y también soporta varios tipos de sincronización externa

Opciones sobre las siguientes interfaces:

- La interfaz de Global Positioning System (GPS) que provee una antena de TNC (50 ohm) GPS integrada para conectar el GPS auricular integrado a una GPS antena externa
- Interfaces de sincronización externas que proveen una cascada de entrada de sincronización y cascada externa para conectar a un cronometraje externo la fuente, tanto como sincronizar CBS5000 unidades internas múltiples a una antena GPS común o a la fuente de sincronización

- **Flexibilidad de despliegue**

El CBS5000 es diseñado para ofrecer la flexibilidad máxima al proveedor de servicio en el despliegue de redes WiMAX. La interfaz de fibra óptica soporta mucha cantidad de información cuando los cables coaxiales son usados para las interfaces de radio. Los cables de fibra óptica respaldan un prolongado rango de hasta 5 km (3 millas.) Entre el CBS5000 unidad interna y los WBRUs de facilitar la instalación remota de los WBRUs.

El CBS5000 también soporta un fibra interfaz de la red óptica de 1000Base - SX o 1000Base - LX que ofrece la flexibilidad de despliegue adicional al proveedor de servicio en la colocación del CBS5000. La fibra de gigabit como la interfaz de la red ópticas optimizan el uso de las infraestructuras de conexión en red de datos existentes, también extiende la distancia entre el CBS5000 unidad interna y la red de punto principal.

4.3.3. Seguridades para sistemas inalámbricos (Wimax)

El sistema de simetría protege las conexiones entre el CBS5000 y los SSs usar el triple estándar de cifrado de datos (3DES) o el modo de autenticación Counter – Cipher Block Chaining (CCM), Advanced Encryption Standard (AES) avanzado. El 3DES es actualmente el padrón de encriptación de datos de WiMAX oficial; sin embargo, el modo de AES - CCM provee la seguridad adicional y está promocionado para reemplazar el 3DES como el padrón de encriptación de WiMAX.

- **Control de admisión**

Un contrato de nivel del servicio (SLA) es un contrato entre el proveedor del servicio y el abonado que define los parámetros de un túnel de punta con punta para el transporte de cada conexión del servicio de datos. Con SLAs, el proveedor de servicio brinda garantías sobre el rendimiento del servicio en el término del caudal de proceso y transferencia medio, la disponibilidad del servicio, la demora, etc.

Para dirigir los recursos de airlink eficientemente, el ancho de banda tiene que ser validada en contra de políticas del servicio que establecen los límites para cada tipo de servicio. El aprovisionar de SLAs depende del control de QoS de cada conexión del servicio de datos, tanto como la protección para cada tipo de clase del servicio asegurar que los recursos de ancho de banda son distribuidos entre las clases del servicio arregladas.

- **Protección de proporción de suscripción máximo**

El ancho de banda no pedido para una circulación del servicio puede ser reasignado a otros servicios, optimizando el uso de airlink. En la práctica, el mejor ancho de banda de Effort total y el ancho de banda garantizado total aprovisionado sobre un enlace packet-switched de pueden exceder la cantidad de recursos de ancho de banda disponibles en un sector. En general, la proporción del ancho de banda del servicio total aprovisionado al ancho de banda disponible sobre un enlace packet-switched que es llamada la proporción de sobre suscripción (OSR):

OSR = tasa de información total aprovisionado / el ancho de banda disponible

El control de admisión combinado con la protección de OSR aseguran que todas las clases del servicio consiguen su parte correspondiente del ancho de banda arreglado, con esto proteger recursos de sistema y asegura que la QoS para todas clases se mantienen actualizado y con un nivel alto de calidad. La función de control de admisión es efectuada antes de la admisión de cualquier circulación del servicio en tanto el enlace ascendente como las instrucciones de señal de bajada.

La admisión de circulación del servicio es rechazada cuando la asignación de recursos de ancho de banda para la circulación del servicio resulta en uno OSR para las clases del servicio ser excedido. El proveedor de servicio puede crear clases diferenciadas del servicio que usa el OSR. Estos parámetros combinados con el otro parámetros de QoS configurables permiten que el proveedor de servicio controlen los recursos de ancho de banda destinados a los usuarios diferentes, permitiendo el soporte de contratos de nivel del servicio con el acceso justo para los recursos de la red mejor.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE LA RED INALÁMBRICA Y LA RED DE PLANTA EXTERNA

5. Ventajas y Desventajas

5.1. Ventajas de la Red Wimax

- WIMAX es capaz de proveer suficiente ancho de banda tanto para empresas con conexiones T1 (alta velocidad) y hogares con ADSL al mismo tiempo.
- WiMAX es posible ahorrar cientos y quizás miles de kilómetros de cables, además del personal encargado de instalar los cables
- WiMAX ofrece excelentes velocidades de transmisión de datos, En condiciones ideales WiMAX puede llegar a 75 Mbps , comparado con las 54 Mbps de WiFi y los 10Mbps como máximo que ofrecen los proveedores de internet a través de ADSL y cable.
- WiMAX puede alcanzar 48 Km. .Las conexiones por cable no alcanzan ese rango de cobertura, ya que generalmente mientras más distancia hay desde el punto central de distribución menos suscriptores existen
- Tiempo de Implementación es mucho menos que cualquier sistema alámbrico.

5.2. Desventajas de la Red Wimax

- En Wimax a mayor distancia de la estación base, menor velocidad del suscriptor.
- La Seguridad como en toda red inalámbrica es un punto mas débil
- Los expertos aseguran que una de sus grandes debilidades será su susceptibilidad a interferencias

5.3. Comparación Técnico-Económico

5.3.1. Presupuesto Referencial De Proyecto Wimax

Como solución alternativa para el Proyecto de Tumbaco mediante la implementación de una Red de Acceso WiMAX interconectando las Estaciones Base al Softswitch y mediante éste a la PSTN a través de una red de radio dedicada, se tendría el siguiente cuadro con costos aproximados:

Tabla 5.1. Costo referencial del Proyecto WIMAX¹²

Descripcion	Cantidad	Costo Unitario	TOTAL
Estacion Base	1	\$21,000.00	\$21,000.00
CPEs	3800	\$380.00	\$1,444,000.00
Software de Administracion	1	\$5,000.00	\$5,000.00
Radio Truepoint	2	\$48,000.00	\$96,000.00
Antenas	2	\$17,240.00	\$34,480.00
Guías de onda	20	\$58	\$1,160.00
Torre 30m	1	\$21,648.00	\$21,648.00
Caseta de Equipos	1	\$5,241.00	\$5,241.00
TOTAL			\$1,628,529.00

¹² Para futuros crecimientos sólo se requiere comprar terminales de usuario hasta copar la capacidad de las celdas.

Los CPE's cotizados soportan: Internet, telefonía y servicios de datos.

Al observar los resultados del cuadro anterior, se puede apreciar que si se realiza este Proyecto del Sector de Tumbaco de la ciudad de Quito con la implementación de la Tecnología de Acceso WiMAX, se tiene una diferencia de USD \$341,372.25 con respecto al mismo proyecto si se lo implementa con DLC's (construcción de canalización telefónica y red primaria) ver tablas 2.8, 2.10 y 2,11. Por tanto, la segunda alternativa del Proyecto con Tecnología de Acceso WiMAX es más económica y tendría un valor referencial de USD 1,628,529.00

- **Ingresos**

Para el cálculo de los ingresos que se recuperarían al implementar este proyecto se tomo en consideración los siguientes datos:

- § Como valor promedio para ingresos por facturación se considera el valor de USD 30.00. Este valor es menor al valor de referencia que se obtiene del valor promedio mensual por abonado de la facturación procesada en el sistema OPEN, cuyos valores son de USD 31.41 ó 30.61 de los meses de Junio y Diciembre de 2005 respectivamente y considerados en el numeral 5.1 de este reporte.
- § Se realizó una proyección con el valor de USD 30.00 [4]para estimar los ingresos en la duración del Proyecto con un período de 5 años, realizando la consideración de crecimiento en el primer año de 3.800 líneas de planta interna, y un valor de USD 60.00 por concepto de suscripción al servicio telefónico. Durante los años 2 a 5 se considera que el tráfico se mantiene con igual comportamiento.

Tabla 5.2. Ingresos por trafico de Andinatel S.A.

DESCRIPCION	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS Y EGRESOS AFECTO A IMPUESTOS					
Valor de Facturación (USD 25)	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00
Venta de 2.000 líneas de ampliación (Cat. Popular)	114,000.00				
INGRESOS POR TRAFICO [USD]	1,482,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00

- **Egresos**

Se realiza la estimación de egresos por costos operativos y costos propios del proyecto:

- **Costos Operativos**

Como referencia se calculan los costos operativos del proyecto como porcentaje de los niveles de participación de cada rubro de costo que tiene actualmente ANDINATEL S.A. con referencia al volumen de ingresos¹³, los valores de los porcentajes son tomados del balance de resultados de ANDINATEL S.A. a Septiembre de 2003 que equivalen en forma porcentual al 27.14% de los ingresos.

Tabla 5.3. Egresos anuales de Andinatel S.A.

DESCRIPCION	%	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
EGRESOS						
Remuneraciones	13.87%	-205,553.40	-189,741.60	-189,741.60	-189,741.60	-189,741.60
Servicios	11.45%	-169,689.00	-156,636.00	-156,636.00	-156,636.00	-156,636.00
Materiales y Suministros	0.69%	-10,225.80	-9,439.20	-9,439.20	-9,439.20	-9,439.20
Otros Gastos	1.13%	-16,746.60	-15,458.40	-15,458.40	-15,458.40	-15,458.40
SUBTOTAL EGRESOS [USD]	27.14%	-402,214.80	-371,275.20	-371,275.20	-371,275.20	-371,275.20

¹³ Estudio realizado por Andinatel S.A. entre los meses de Junio y Diciembre de 2005

- **Costos Del Proyecto**

Se realiza la estimación de asignar el 1% del valor de la inversión, para el rubro de mantenimiento para cada año del proyecto. Estos valores se muestran en el siguiente cuadro:

DESCRIPCION		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Costos de mantenimiento	1.00%	-	-16,285.29	-16,285.29	-16,285.299	-16,285.29

El valor total de Utilidades antes de impuesto es:

Tabla 5.4. Utilidad Bruta del proyecto de Andinatel S.A.

DESCRIPCION		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos tráfico		1,482,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00	1,368,000.00
Egresos		-402,214.80	-371,275.20	-371,275.20	-371,275.20	-371,275.20
UTILIDAD BRUTA		1,079,785.20	979,486.71	979,486.71	979,486.71	979,486.71

- **Selección De Mejor Alternativa De Proyecto Para Tumbaco**

Del análisis comparativo entre las soluciones técnicas implementando los proyectos utilizando tecnologías mediante DLC's o WiMAX, se pueden observar que la segunda opción de solución con la implementación de la Tecnología de Acceso WiMAX es más económica y ofrece mayores ventajas técnicas como las siguientes:

- § Menor tiempo de implementación del proyecto, como el acceso es inalámbrico el tiempo de implementación es mucho más rápido que la construcción de soluciones con tendido de red.
- § Mayores posibilidades de crecimiento para atención de los servicios de telecomunicaciones con mayor gama de servicios de valor agregado
- § Mejor calidad de servicio

- § Bajos costos de mantenimiento y redistribución de la red de planta externa
- § Bajo impacto de condiciones ambientales como humedad, entre otras
- § Radio de cobertura de alrededor de 30 a 50 Km que permitirá ofrecer un gran ancho de banda para una mayor gama de servicios

5.4. Factibilidad de implementación

Como se ha Observado en el aspecto técnico, la factibilidad de implementar una red WiMAX para el sector de Tumbaco es completamente viable puesto que con el estudio realizado podemos ver que tenemos línea de vista para todo los sectores de Tumbaco lo cual nos permite tener un alcance mucho mayor, también pudimos ver que tenemos los equipos necesarios para la implementación, los cuales trabajan a 3.5 Ghz lo cual Andinatel S.A. tiene comprados los derechos en esa banda de frecuencia.

En el aspecto económico podemos observar que tenemos un costo mas bajo con respecto al diseño de Planta Externa alrededor de \$340.000.00 lo cual nos va a permitir recuperar la inversión en un menor tiempo.

En cuanto a los servicios que podemos brindar están: Voip, Internet y transmisión de datos, lo cual con la red de planta externa no podemos brindar con la calidad de Wimax, puesto que este sistema nos permite estar brindando una calidad de servicio alta.

Si nos podemos a ver el tiempo de implementación esta seria la mejor solución ya que lo importante es lograr instalar la radio base con conexión a la estación terrena y después la instalación a cada suscriptor es de manera fácil y muy rápido de

instalar, lo cual es mucho mas rápido que realizar la implementación de la red tradicional.

Con todos estos argumentos expuestos y después de haber investigado las posibles soluciones para el Sector de Tumbaco, podemos decir que la factibilidad de implementación del sistema Wimax es totalmente viable.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de haber realizado el estudio de terreno, de demanda, la ubicación de antenas, los cálculos de los enlaces analizar y determinar los equipos mas óptimos para el diseño del proyecto y luego de comparar las ventajas que nos brindan las redes inalámbricas en comparación a las redes alámbricas (convencionales) se puede concluir que la implementación de la red inalámbrica utilizando tecnología Wimax y que va a permite a ANDINATEL S.A. brindar servicio de comunicación, telefonía IP e Internet al sector del Valle de Tumbaco si es factible.

Realizado el estudio de demanda podemos afirmar que el 72% de las personas encuestadas ya disponen de servicio telefónico, pero los usuarios que necesitan nuevas líneas telefónicas o desean otra línea llegan a ser el 91%, de los cuales el 28% no poseen líneas telefónicas. En el caso de Internet las personas que poseen el servicio es del 11%, las cuales se dividen en un 10% con acceso Dial up y 1% de Internet por banda ancha; con lo anteriormente indicado se obtiene que la demanda de servicio es de un 88%. Tomando en consideración la información anterior podemos concluir que al poder brindar los servicios integrados de voz y datos con la tecnología wimax la demanda efectiva del 88%, con lo cual puede apreciarse que el proyecto en estudio será sumamente rentable para la empresa ANDINATEL S.A.

Al realizar el análisis de costo en el cual se consideran los 2 proyectos diseñados con tecnologías diferentes (planta externas e inalámbrica), tenemos que el proyecto de planta externa (Cobre y Fibra) realizado por Andinatel S.A. con equipos

DLC's tiene un costo referencial de \$1,969,901.25 dólares y el proyecto planteado en el presente estudio con tecnología Wimax (inalámbrico) tiene un costo referencial de \$1,628,529.00 dólares. Se puede observar claramente que tenemos una diferencia de \$341,372.25 dólares a favor del proyecto Wimax, esto sumado al menor tiempo que tomaría implementar la red Wimax, resulta un nuevo punto a favor para considerar en el proyecto a implementarse.

Considerando que el tiempo de implementación en el presente proyecto con tecnología Wimax es mucho menor que la implementación del proyecto con red de cobre y fibra (Planta Externa), es importante indicar que esto ayudaría para que la empresa ANDINATEL S.A. recupere la inversión considerada para el proyecto en un tiempo mucho menor.

Podemos concluir que la vulnerabilidad y la interferencia en las redes inalámbricas son unos de los problemas mas grandes que presentan dichas redes, en el diseño planteado con tecnología Wimax se presenta equipos que tienen seguridades incorporadas como son: El sistema de simetría protege las conexiones entre estaciones base(CBS5000) y los usuarios (CPE) usan el triple estándar de cifrado de datos (3DES) o el modo de autenticación Counter – Cipher Block Chaining (CCM) y Advanced Encryption Standard (AES) avanzado que nos permiten para brindar un mejor servicio. Además posee el estándar 3DES que es actualmente el padrón de encriptación de datos oficial de Wimax, posee adicionalmente seguridad bajo modo de AES - CCM y está promocionado para reemplazar el 3DES como el padrón de encriptación de Wimax, con lo que el problema de la seguridad en WiMax es un problema solucionado.

Con la finalidad de tener un mejor servicio de telefonía y de datos con la red Wimax, se diseño para 10 Km. de radio de cobertura, que es lo que ocupa el sector de Tumbaco y sus alrededores, sabiendo que la red Wimax puede alcanzar hasta 50 Km. con línea de vista y a una velocidad de 70 Mbps., esto nos garantiza el poder

incrementar nuevos usuarios de una manera fácil y rápida, debido a que solamente es necesario instalar el Terminal del usuario (CPE), lo cual no se puede implementar en la red de cobre y fibra (planta externa) que plantea ANDINATEL S.A. no se puede lograr.

Realizado el diseño de la red Wimax se puede apreciar que no existe obstrucción para el valle de Tumbaco ni tampoco para el valle Sangolquí y sus alrededores, lo cual nos permite utilizar la red Wimax para un proyecto futuro en el cual se pueda brindar servicios integrados para los sectores que no tienen teléfonos y peor aun de Internet y así poder juntarlos a la red alámbrica que ya tiene implementada ANDINATEL S.A. para poder bríndales todos los beneficios que ANDINATEL S.A. ofrece, sin necesidad de una nueva implementación de equipos o de una nueva investigación.

Se recomienda utilizar el diseño realizado de Wimax para el Sector de Tumbaco como un plan piloto para los servicios básicos de telefonía y de datos para las ciudades grandes como Quito y Guayaquil, sabiendo que Wimax maneja tasas de transferencia muy altas en la cual también se puede transmitir video, y se puede prestar servicios integrados, esto debido a su alto numero de habitantes y de edificaciones, sabiendo que Wimax fue diseñado para funcionar en áreas metropolitanas con una modulación OFDM que nos permite realizar el enlace con los usuarios sin línea de vista.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Documentación existente en ANDINATEL S.A. 2005 - 2006
- Oportunidades y desafíos en un mundo inalámbrico (Informe desarrollado para el CDMA Development Group (CDG)) - Michael W. Thelander - Julio de 2005
- Influencia de las tecnologías WiFi y WiMax para el desarrollo de los Servicios de VoIP - Ing. Omar de León - www.teleconsult.us
- Foro WIMAX Aspectos Económicos y de competencia - Mauricio López Calderón - mauricio.lopez.calderon@gmail.com
- EL ESTANDAR VOIP - VOZ SOBRE IP - Periódico COMPUTERWORLD Venezuela - Edición XV, Número 11, Págs: 10-12
- Protocolos de Voz sobre IP – www.Wikipedia.com
- WiMax versus Wi-Fi, Michael F. Finneran, dBrn Associates Inc., Año 2004
- White Paper: WiMAX NLOS Features, Eugene Crozier , WiMax Forum – Año 2004
- Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems (Draft Revision), Itzik Kitroser (IEEE P802.16-REVd Chief Technical Editor), Año 2004
- White Paper: Broadband Wireless Access, INTEL Corporation ,– Año 2003
- White paper: “OFDM Facts”, www.wavesat.com/technology/ofdm.html

FECHA DE ENTREGA

El presente proyecto de grado fue entregado en la fecha.

Sangolquí, a _____ del 2007.

Realizado por:

Jorge Esteban López Álvarez

Ing. Gonzalo Olmedo
COORDINADOR DE CARRERA DE
TELECOMUNICACIONES