



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN  
LATACUNGA**

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGIA WIMAX  
ENTRE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN  
LATACUNGA Y LA BRIGADA PATRIA”**

**PROYECTO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGOS  
EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**CBOS.DE COM FLORES FREDDY GONZALO**

**CBOS. DE COM ALBAN LUIS ORLANDO**

**DIRECTOR: ING. NANCY GUERRÓN**

**CODIRECTOR: ING. CÉSAR NARANJO**

**Latacunga, Marzo del 2011**

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Cbos.de Com Flores Freddy Gonzalo y el Cbos. de Com Albán Luis Orlando, bajo mi supervisión.

---

Ing. Nancy Guerrón  
DIRECTORA DEL PROYECTO

---

Ing. Cesar Naranjo  
CODIRECTOR DEL PROYECTO

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN LATACUNGA**  
**JEFATURA DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA**  
**COLECTIVIDAD**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Nosotros:**

Cbos de Com Flores Freddy Gonzalo y el  
Cbos. de Com Alban Luis Orlando

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado: **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGIA WIMAX ENTRE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA Y LA BRIGADA PATRIA ”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, marzo del 2011

---

Cbos. de Com Flores Freddy  
C.I.1718514639

---

Cbos. de Com Alban Luis  
C.I. 0502341688

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**EXTENSIÓN LATACUNGA**  
**JEFATURA DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA**  
**COLECTIVIDAD**  
**AUTORIZACIÓN**

**Nosotros:**

Cbos de Com Flores Freddy Gonzalo y el  
Cbos. de Com Alban Luis Orlando

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la Biblioteca virtual de la Institución, del trabajo denominado: **“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGIA WIMAX ENTRE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA Y LA BRIGADA PATRIA ”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, marzo 2011

---

Cbos. de Com Flores Freddy  
C.I.1718514639

---

Cbos. de Com Alban Luis  
C.I. 0502341688

## **AGRADECIMIENTO**

Primero antes que nada nuestro agradecimiento especial a Dios, por darnos la vida, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecernos en nuestros corazones e iluminar nuestras mentes, por habernos dado unos excelentes padres y unas lindas familias, por habernos puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante el todo el periodo de formación profesional.

Agradecemos hoy y siempre a nuestras familias porque a pesar de no estar presente físicamente han estado con nosotros cada día dándonos animo y la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Agradecemos a la Escuela Politécnica del Ejercito Extensión Latacunga, ya que nos abrió sus puertas para poder formarnos profesionalmente e intelectualmente.

A la carrera de Eléctrica y Electrónica a sus profesores, por todos los conocimientos que nos brindaron.

Agradecemos a la directora de este proyecto Ingeniera Nancy Guerrón y codirector Ingeniero Cesar Naranjo por su apoyo, confianza y apertura para poder culminar con éxito el presente proyecto.

Un profundo agradecimiento a las personas que trabajan en el Departamento de Eléctrica y Electrónica, por su apoyo y sus conocimientos en todo momento que requeríamos sin ningún egoísmo, gracias por todo.

## DEDICATORIA

Queremos dedicar este trabajo a Dios, quien nos da la salud, la fe, la fortaleza, y la esperanza de culminar este trabajo.

En la vida hay personas muy importantes, que siempre nos brindan su apoyo, nos extienden la mano en momentos difíciles, nos escuchan, nos entienden, por todo eso, dedico este trabajo con todo el amor del mundo a nuestros padres que los admiramos y los amamos mucho, gracias por todo lo que han hecho por nosotros, por el apoyo que nos han brindado tanto moral como económicamente, por sus sabios concejos, por enseñarnos a luchar desde pequeños para alcanzar nuestras metas, por su nobleza quienes nos ayudan a encontrar la luz cuando todo es oscuridad y por estar siempre a nuestro lado en los momentos difíciles que Dios les bendiga y les proteja siempre.

A quienes un día les prometimos que terminaríamos nuestros estudios, hoy nuestro triunfo es el de usted queridos padres.

A nuestras queridas esposas, Natalia Romero y Mayra Molina, quienes nos brindaron su amor, su cariño, su estímulo, su comprensión, su paciencia y su apoyo constante en todo momento.

A nuestros hijos Brandon David y Dayana Alban quienes nos prestaron el tiempo que les pertenecía ¡Gracias, nuestros amores!, sin ustedes no hubiesemos podido hacer realidad nuestro sueño.

*FREDDY y ORLANDO*

## RESUMEN

El nuevo paradigma que rige actualmente en las Instituciones es la automatización y digitalización de sus procesos de trabajo, de manera que se adapten a las necesidades de las mismas, con la finalidad de generar recursos que le permita posicionarse en el entorno globalizado y tomar decisiones con menor grado de incertidumbre ante los diversos eventos presentados en los escenarios actuales. Por ello, el presente trabajo de investigación mediante las tecnologías inalámbricas de WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave), nos permite tener redes con celdas de acceso para Internet. Para ello, se requiere manejar las tecnologías en forma apropiada, los cuales se traducen finalmente en una administración de conocimiento organizacional, fundamentado en el manejo de la información en forma apropiada.

Las redes de comunicación son sistemas que permiten conectar ordenadores y otros equipos informáticos entre sí, con la finalidad de compartir información y recursos, esto permite que la comunicación no sea muy complicada entre diferentes usuarios que estén conectados a la red en la Institución que opte por tener una red de acceso inalámbrico. Mediante el proceso de compartir información y recursos en una red, los usuarios de los diferentes sistemas informáticos de la organización a la que pertenece podrán hacer un mejor uso de los mismos, mejorando de este modo el rendimiento global de la organización. Para visualizar de mejor forma las redes, vamos a citar varias de las ventajas:

- Mayor facilidad en la comunicación entre usuarios
- Reducción problemas en la red
- Mejoras en la administración de los equipos y programas
- Mayor seguridad para acceder a la información

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b><u>INTRODUCCION</u></b> .....	- 4 -
----------------------------------	-------

### **CAPÍTULO I** **FUNDAMENTOS DE LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS.**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
<b><u>1. ECUACIONES A SER UTILIZADAS EN LA PROPUESTA</u></b> .....	- 3 -
1.1. <b><u>MODELO DE RED DE TELECOMUNICACIONES</u></b> .....	- 4 -
1.1.1 <b><u>REQUERIMIENTOS ACTUALES EN TELECOMUNICACIONES</u></b> ..	- 6 -
1.2. <b><u>FUNDAMENTOS DE LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS</u></b> ....	- 6 -
1.3. <b><u>MEDIOS DE TRANSMISIÓN</u></b> .....	- 8 -
1.3.1. <b><u>TIPOS DE MEDIOS DE TRANSMISIÓN</u></b> :.....	- 8 -
1.4. <b><u>ÁREAS DE COBERTURA DE LAS REDES INALÁMBRICAS</u></b> .....	- 9 -
1.5. <b><u>EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</u></b> .....	- 10 -
1.6. <b><u>REDES DE ACCESO</u></b> .....	- 13 -
1.6.1. <b><u>CLASIFICACIÓN</u></b> .....	- 13 -
1.7. <b><u>TECNOLOGÍAS DE ACCESO A REDES</u></b> .....	- 14 -
1.7.1. <b><u>WIMAX</u></b> .....	- 14 -
1.7.1.2. <b><u>CARACTERÍSTICAS</u></b> .....	- 16 -
1.7.1.3. <b><u>VENTAJAS</u></b> .....	- 18 -
1.7.1.4. <b><u>DESVENTAJAS</u></b> .....	- 18 -
1.7.1.5. <b><u>TIPOS DE WIMAX</u></b> .....	- 20 -
1.7.6. <b><u>SERVICIOS QUE SE OFRECEN A TRAVÉS DE WIMAX</u></b> .....	- 21 -
1.7.1.7. <b><u>ESTRUCTURAS DE RED EXTREMO A EXTREMO</u></b> .....	- 23 -
1.7.1.8. <b><u>COMPONENTES DE UNA RED WIMAX</u></b> .....	- 24 -
1.7.9. <b><u>TOPOLOGÍA DE RED</u></b> .....	- 25 -
1.7.10. <b><u>ARQUITECTURA PUNTO-MULTIPUNTO (PMP)</u></b> .....	- 26 -
1.7.11. <b><u>REDES ENMALLADAS (MESH)</u></b> .....	- 29 -
1.7.12. <b><u>ESQUEMAS DE MODULACIÓN</u></b> .....	- 31 -
1.7.12.1. <b><u>MODULACIÓN DIGITAL</u></b> .....	- 32 -
1.7.12.2. <b><u>MODULACIÓN FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING)</u></b> .....	- 33 -

1.7.12.3. <u>MODULACIÓN PSK (PHASE SHIFT KEYING)</u> .....	- 33 -
1.7.12.4. <u>MODULACIÓN PSK CONVENCIONAL</u> .....	- 33 -
1.7.12.5. <u>MODULACIÓN BPSK O 2-PSK</u> .....	- 33 -
1.7.12.6. <u>MODULACIÓN ADAPTIVA</u> .....	- 35 -
1.7.12.7. <u>MODULACIÓN OFDM</u> .....	- 36 -
1.8. <u>ÁREA DE COBERTURA DE WIMAX</u> .....	- 38 -
1.9. <u>TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN</u> .....	- 39 -
1.9.1. <u>DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA</u> .....	- 39 -
1.9.2. <u>DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDD)</u> .....	- 39 -
1.9.3. <u>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR TDD Y FDD</u> .....	- 39 -
1.10. <u>TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO</u> .....	- 40 -
1.10.1. <u>ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA)</u> .....	- 40 -
1.11. <u>BANDAS DE FRECUENCIA DE WIMAX</u> .....	- 41 -
1.12. <u>CAPA FÍSICA DE WIMAX</u> .....	- 41 -
1.13. <u>CAPA MAC DE WIMAX</u> .....	- 42 -
1.14. <u>CALIDAD DE SERVICIO (QOS, QUALITY OF SERVICE)</u> .....	- 43 -
1.15. <u>CORRECCIÓN DE ERRORES HACIA DELANTE (FEC)</u> .....	- 44 -
1.16. <u>SEGURIDAD</u> .....	- 44 -
1.17. <u>COMPATIBILIDAD DE WIMAX EXISTENTES</u> .....	- 45 -
1.18. <u>INTEGRACIÓN DE SERVICIOS A TRAVÉS DE WIMAX</u> .....	- 48 -
1.19. <u>PROVEEDORES DE WIMAX</u> .....	- 49 -
1.20. <u>MÚLTIPLES PROVEEDORES</u> .....	- 52 -
1.21. <u>WIMAX EN EL ECUADOR</u> .....	- 53 -
1.22. <u>COSTOS</u> .....	- 54 -

## **CAPÍTULO II** **ESTANDARES DE LA TECNOLOGÍA WiMAX**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
2.1. <u>MAPA DE ESTÁNDARES INALÁMBRICOS</u> .....	- 55 -
2.2. <u>ESTANDARIZACIÓN DESCRIPCIÓN DEL IEEE 802.16</u> .....	- 56 -
2.2.1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	- 56 -

2.2.2. <u>ESTÁNDARES 802.16x</u> .....	- 58 -
2.2.3. <u>IEEE 802.16-2004</u> .....	- 59 -
2.2.4. <u>IEEE 802.16e</u> .....	- 60 -
2.2.5. <u>WiBro (Wireless Broadband)</u> .....	- 61 -
2.3. <u>TABLA COMPARATIVA ESTÁNDARES WIMAX</u> .....	- 62 -

**CAPÍTULO III**  
**PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON**  
**TECNOLOGÍA WIMAX**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
3.1. <u>ANTECEDENTES</u> .....	- 63 -
3.1.1. <u>PUNTOS DE COBERTURA DEL DISEÑO PROPUESTO</u> .....	- 65 -
3.2. <u>ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INTERNETWORKING</u> .....	- 65 -
3.2.1. <u>ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE USUARIOS</u> .....	- 67 -
3.2.2. <u>ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE LAS APLICACIONES</u> .....	- 67 -
3.2.2.1.1. <u>RESUMEN DE LAS APLICACIONES</u> .....	- 68 -
3.2.2.2. <u>ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE HOST</u> .....	- 69 -
3.2.3. <u>ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE RED</u> .....	- 69 -
3.2.3.1. <u>DISTRIBUCIÓN Y MODELO DEL FLUJO</u> .....	- 70 -
3.3 <u>ANÁLISIS DE FLUJO DE DATOS</u> .....	- 70 -
3.3.1. <u>DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO</u> .....	- 71 -
3.3.2. <u>SIMULACION DEL DIAGRAMA FISICO DE LA RED</u> .....	- 72 -
3.4. <u>RADIO ENLACES</u> .....	- 72 -
3.4.1. <u>ENLACE PUTZALAGUA- ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA</u> .....	- 74 -
3.4.1.1. <u>CÁLCULOS DEL RADIOENLACE</u> .....	- 75 -
3.4.1.2. <u>CUADRO RESUMEN DEL ENLACE PUTZALAGUA-ESPE</u> <u>SEDE LATACUNGA</u> .....	- 78 -
3.4.2. <u>RUTA 2: ENLACE PUTZALAGUA- BRIGADA</u> .....	- 78 -
3.4.2.1. <u>CÁLCULOS DEL RADIOENLACE</u> .....	- 79 -
3.4.2.2. <u>CUADRO RESUMEN DEL ENLACE PUTZALAGUA-BRIGADA</u>	- 81 -
3.4.3. <u>RUTA3: ENLACE PUTZALAGUA- CERRO AEROPUERTO</u> .....	- 82 -
3.4.3.1. <u>CÁLCULOS DEL RADIOENLACE</u> .....	- 83 -

3.4.3.2. <u>CUADRO RESUMEN DEL ENLACE PUTZALAGUA-CERRO AEROPUERTO</u> .....	- 85 -
3.4.4. <u>RUTA 4: ENLACE CERRO AEROPUERTO- AEROPUERTO</u> .....	- 85 -
3.4.4.1. <u>CÁLCULOS DEL RADIOENLACE</u> .....	- 86 -
3.4.4.2. <u>CUADRO RESUMEN DEL ENLACE CERRO AEROPUERTO- AEROPUERTO</u> .....	- 88 -
3.5. <u>DATOS OBTENIDOS DE RADIO MOBILE</u> .....	- 89 -
3.5.1. <u>AREA DE COBERTURA</u> .....	- 90 -
3.6. <u>SELECCIÓN DE EQUIPOS</u> .....	- 92 -
3.6.1 <u>YAGI ANTENNA - CA7 SERIES 460 DE 2M</u> .....	- 92 -
3.6.2. <u>GIGASET SE461 WIMAX</u> .....	- 93 -
3.6.3. <u>EQUIPO DE LA ESTACIÓN ESTACION BASE</u> .....	- 94 -
3.6.3.1. <u>CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES BASE</u> .....	- 95 -
3.7. <u>COSTOS DEL PROYECTO</u> .....	- 97 -

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
4.1. <u>CONCLUSIONES</u> .....	- 99 -
4.2. <u>RECOMENDACIONES:</u> .....	- 100 -
<u>GLOSARIO DE TÉRMINOS</u> .....	- 101 -
<u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	- 103 -
<u>ANEXOS</u> .....	- 107 -

### **INDICE DE FIGURAS**

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1.1 <u>Red de un Sistema de Telecomunicaciones</u> .....	- 5 -
Figura 1.2. <u>Áreas de cobertura de las Redes Inalámbricas</u> .....	- 9 -
Figura 1.3. <u>Distribución de las frecuencias en VHF</u> . ....	- 11 -
Figura 1.4. <u>Redes de Acceso</u> .....	- 14 -
Figura 1.5. <u>Red Inalámbrica Wimax</u> .....	- 15 -
Figura 1.6. <u>Red Fija y móvil con tecnología Wimax</u> .....	- 21 -

Figura 1.7. <u>Enlace de Microondas para Wimax</u> .....	- 22 -
Figura 1.8. <u>Esquema de red para zonas rurales y urbanas</u> .....	- 23 -
Figura 1.9. <u>Estructura de Red de Wimax</u> .....	- 24 -
Figura 1.10 <u>Componentes de una Red WIMAX</u> .....	- 25 -
Figura.1.11. <u>Esquema de red en arquitectura PTP</u> .....	- 26 -
Figura 1.12. <u>Topología PMP</u> .....	- 27 -
Figura 1.13. <u>Adición De Wlan's 802.11 Y Hotspots</u> .....	- 28 -
Figura 1.14. <u>Arquitecturas de WiMAX</u> .....	- 28 -
Figura 1.15. <u>Topología Malla</u> .....	- 29 -
Figura 1.16. <u>Representa una arquitectura de red mallada (Red sh)</u> ..	- 30 -
Figura 1.17. <u>Señal Modulada BPSK</u> .....	- 34 -
Figura 1.18. <u>Señal modulada BPSK (a) Fase, (b) Diagrama Fasorial,</u> <u>(c) Diagrama de Constelación</u> .....	- 35 -
Figura 1.19. <u>Radios relativos de la célula para la modulación adaptativa</u>	- 36 -
Figura 1.20. <u>OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional</u> ...	- 37 -
Figura 1.21. <u>Bandas de no Interferencia</u> .....	- 37 -
Figura 1.22. <u>Trama TDD</u> .....	- 39 -
Figura.1.23. <u>Distribución del Uso del Espectro con FDD y TDD</u> .....	- 40 -
Figura 1.24. <u>Integración WiFi con WiMAX</u> .....	- 49 -
Figura 2.1. <u>Mapa de Estándares Inalámbricos</u> .....	- 55 -
Figura 2.2. <u>Visión de Intel para Wimax</u> .....	- 60 -
Figura 2.3. <u>Estándar IEEE 802.16 – 2004 y IEEE 802.16e</u> .....	- 70 -
Figura 3.1. <u>Modelo de Flujo de la Red</u> .....	- 71 -
Figura 3.2. <u>Flujo de la Red</u> .....	- 72 -
Figura 3.3. <u>Diagrama Fisico de la Red</u> .....	- 73 -
Figura 3.4 <u>Enlaces de la Red de comunicaciones entre la ESPEL, la</u> <u>Brigada Patria y el Aeropuerto</u> .....	- 74 -
Figura 3.5. <u>Mapa de los puntos a enlazar PUTZALAGUA- ESPE-</u> <u>AEROPUERTO Y BRIGADA PATRIA</u> .....	- 75 -
Figura 3.6. <u>Enlace PUTZALAGUA-ESPE SEDE LATACUNGA</u> .....	- 79 -
Figura 3.7. <u>Enlace PUTZALAGUA-BRIGADA PATRIA</u> .....	- 82 -
Figura 3.8. <u>Enlace PUTZALAGUA-CERRO AEROPUERTO</u> .....	- 86 -
Figura 3.9. <u>Enlace CERRO AEROPUERTO –AEROPUERTO</u> .....	- 89 -
Figura 3.10. <u>Diagrama de Atribución del Espectro Radio Eléctrico</u> .....	- 89 -
Figura 3.11. <u>Nivel de Señal y altitud de acuerdo al color en el Software</u> <u>RADIO MOVILE</u> .....	- 90 -

Figura 3.12. <u>Diagrama del los enlaces y LOS de los enlaces del Proyecto</u> .....	- 91 -
Figura 3.13. <u>Área de Cobertura total</u> .....	- 91 -
Figura 3.14. <u>Área de Cobertura del Putzalahua</u> .....	- 91 -
Figura 3.15. <u>Antena Yagi</u> .....	- 92 -
Figura 3.16. <u>Diagrama de Radiación de la Antena</u> .....	- 92 -
Figura 3.17. <u>Antena GIGASET SE 461 WIMAX</u> .....	- 93 -
Figura 3.18. <u>Equipo de la Estación WIMAX</u> .....	- 94 -

## INDICE DE TABLAS

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. <u>Bandas de Frecuencias en el Espectro Electromagnético, según la ITU</u> .....	- 10 -
Tabla 1.2. <u>Frecuencias para aplicaciones ICM que requieren autorización</u> .....	- 11 -
Tabla 1.3. <u>Área de Cobertura de WiMAX</u> .....	- 38 -
Tabla 1.4. <u>Características y Beneficios de la Capa Física</u> .....	- 42 -
Tabla 1.5 <u>Características y Beneficios de la Capa MAC</u> .....	- 43 -
Tabla 1.6. <u>Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas</u> .....	- 48 -
Tabla 2.1. <u>Resumen de los estándares 802.16</u> .....	- 59 -
Tabla 2.2. <u>Tabla comparativa de Estándares WIMAX</u> .....	- 62 -
Tabla 3.1. <u>Requerimientos del sistema Internetworking</u> .....	- 66 -
Tabla 3.2. <u>Categorización de las aplicaciones</u> . ....	- 68 -
Tabla 3.3. <u>Requerimientos de los host</u> .....	- 69 -
Tabla 3.4. <u>Distribución de los flujos de datos de acuerdo a la Aplicación</u> . ....	- 70 -
Tabla 3.5. <u>Coordenadas de los puntos a enlazar</u> .....	- 74 -
Tabla 3.6. <u>Tabla de confiabilidad del sistema</u> .....	- 77 -
Tabla 3.7. <u>Datos del enlace PUTZALAGUA-ESPE SEDE LATACUNGA</u> .....	- 78 -
Tabla 3.8. <u>Tabla de confiabilidad del sistema</u> .....	- 81 -
Tabla 3.9. <u>Datos del enlace PUTZALAGUA – BRIGADA</u> .....	- 81 -

Tabla 3.10. <u>Tabla de confiabilidad del sistema</u> .....	- 84 -
Tabla 3.11. <u>Datos del enlace PUTZALAGUA –CERRO AEROPUERTO</u>	- 85 -
Tabla 3.12. <u>Tabla de confiabilidad del sistema</u> .....	- 88 -
Tabla 3.13. <u>Datos del enlace CERRO AEROPUERTO – - 88 -</u> <u>AEROPUERTO</u> .....	- 95 -
Tabla3.14. <u>Características técnicas del equipo de la Estación WIMAX.</u>	- 96 -
Tabla 3.15. <u>Características técnicas del equipo WIMAX</u> .....	- 97 -
Tabla 3.16. <u>Tabla de costos del Proyecto</u> .....	- 97 -

## INTRODUCCIÓN

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es el nombre comercial de un grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares WirelessMAN (Wireless Metropolitan Area Network – Red de Área Metropolitana Inalámbrica) IEEE 802.16. Si bien el término WiMAX sólo tiene algunos años, el estándar 802.16 ha existido desde fines de la década de 1990, primero con la adopción del estándar 802.16 (10-66GHz) y luego con el 802.16a (2-11GHz) en enero de 2003.

A pesar del establecimiento del estándar 802.16a, el mercado del FWA (fixed wireless access – acceso fijo inalámbrico) nunca terminó de despegar, aunque vale la pena mencionar que durante ese período toda la industria de telecomunicaciones estuvo luchando.

En 2001, se creó el Foro WiMAX para promover el estándar y para ayudar a asegurar la compatibilidad y la interoperabilidad a través de múltiples fabricantes, algo parecido a lo que la Alianza Wi-Fi hace por la familia de estándares IEEE 802.11x. Una faceta clave del proceso de los estándares IEEE, que se analiza con más detalles en una sección posterior, es que está limitado a las capas Físicas y MAC (Medium Access Control –Control de Acceso Medio), pero no hace nada para garantizar la interoperabilidad, las restricciones de RF o los niveles mínimos de rendimiento. En ese aspecto, el Foro WiMAX cumple con un requisito muy necesario.

Hoy, existen aproximadamente 300 compañías que participan en el Foro WiMAX, incluyendo algunos operadores y varios de los principales OEM: Alcatel, Ericsson, Lucent, Motorola, Nortel y Siemens, para nombrar solo algunos.

El trabajo de investigación se presenta en VI capítulos.

El capítulo I se muestra el fundamento teórico de la investigación, los estándares y dispositivos de red que conforman una red WiMAX.

El Capitulo II, encuentra los estándares de la tecnología WIMAX y características principales bajo las normativas internacionales y aplicadas en nuestro país.

El Capítulo III se realiza la determinación de los requerimientos, análisis de diseño del enlace mediante el software de Radio Mobile

En el capítulo IV, se indican las conclusiones y las recomendaciones finales obtenidas de la presente investigación desarrollada en la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga con la colaboración del cuerpo docente.

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DE LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS.

Las telecomunicaciones en el mundo contemporáneo cada vez avanza con mayor efectividad, la transmisión de información evoluciona aceleradamente, de esta manera se presenta numerosas alternativas para disponer de un medio de comunicación, pero así mismo al ser tecnologías nuevas no se ponen en práctica en sus totalidad, el porcentaje de habitantes en diversas regiones va creciendo y la necesidad de comunicarse es predominante. La telecomunicación es una técnica consistente en la transmisión de información (voz, video, datos, multimedia, etc.) de un punto a otro o a diferentes puntos cubriendo todas las formas de comunicación a distancia incluyendo: radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de computadoras a través de cables, equipos de radiofrecuencia, medios ópticos, físicos u otros sistemas electromagnéticos con la única finalidad de mantener una comunicación.

#### 1. ECUACIONES A SER UTILIZADAS EN LA PROPUESTA

##### LONGITUD DE ONDA

$$\text{Longitud de Onda } (\lambda) = \frac{\text{Velocidad}}{\text{Frecuencia}}$$

Velocidad ( $v$ )

Frecuencia ( $f$ ).

Longitud de onda ( $\lambda$ )

##### ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d$$

32,4=Constante

$f$ : frecuencia (MHz)

$d$ : distancia (km).

## INTENSIDAD DEL CAMPO RECIBIDO

$$E_o(\text{dB}\mu) = 74.7 + P_{TX}(\text{dB}) + G_{TX}(\text{dB}) - 20\log D_1(\text{Km})$$

$E_o$ =Intensidad de Campo

$D_1$ =distancia 1(Km)

$P_{TX}$ = Potencia de transmisión

$P_{RX}$ =Potencia de Recepción (db)

$G_{TX}$ = Ganancia de transmisión (db)

## POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL ENLACE

$$P_{RX}(\text{dB}) = P_{TX}(\text{dB}) + G_{TX}(\text{dB}) + G_{RX}(\text{dB}) - \alpha_{el}(\text{dB}) - \alpha_T$$

## UMBRAL DE RECEPCIÓN

$$U_{RX} = -203.98 + 10\log B(\text{Hz}) + 3 + 10 + F$$

203.98= constante

$B = 20\text{Mhz}$

$F$ = Factor de ruido de RX

### **1.1. MODELO DE RED DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES.**

Los elementos que integran un sistema de telecomunicación son un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. La telecomunicación puede ser punto a punto, punto a multipunto o teledifusión, como se puede observar en la figura 1.1.

Las posibles imperfecciones en un medio de transmisión son: ruido, tiempo de propagación, función de transferencia de canal no lineal, caídas súbitas de la señal, limitaciones en el ancho de banda.

Los modernos sistemas de comunicaciones tratan de evitar todos los problemas mencionados anteriormente y presentan muchas ventajas como el uso de la telefonía sobre IP, también ya no es necesario establecer medios físicos para transmitir información de un lugar a otro.

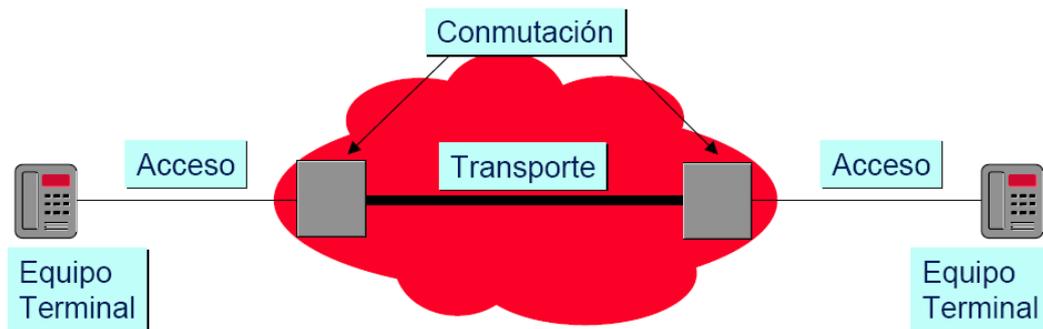


Figura 1.1 Red de un Sistema de Telecomunicaciones.<sup>1</sup>

- ✓ **Equipo Terminal.**- situado en las instalaciones del cliente para aprovechar un servicio de telecomunicaciones.
- ✓ **Acceso.**- la forma de conectar las instalaciones del cliente con las de la empresa proveedora del servicio
- ✓ **Conmutación.**- los equipos responsables de establecer la comunicación entre los clientes.
- ✓ **Transporte.**- la forma de conectar a los elementos de conmutación entre sí.

---

<sup>1</sup> Telecomunicaciones del siglo XXI, ASERCOM

### **1.1.2 REQUERIMIENTOS ACTUALES EN TELECOMUNICACIONES**

En la actualidad existe la necesidad de enviar datos provenientes de varias fuentes, con las características que se detallan a continuación:

- ✓ Integración de servicios y tipos de información. (voz, datos y video.)
- ✓ Mayor capacidad de transmisión (bps).
- ✓ Aumento de calidad (BER).
- ✓ Altos niveles de Confiabilidad (% Disp.)
- ✓ Cobertura de mayores distancias (Km).
- ✓ Compatibilidad en su manejo (estándares).
- ✓ Variedad de sistema de acceso.

### **1.2. FUNDAMENTOS DE LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS**

El objetivo de un sistema de comunicaciones es transferir información desde un sitio a otro, generalmente a distancias considerables. Esto se hace enviando la información en la forma de energía electromagnética a través del: aire, espacio, alambre, o fibra de plástico. En el caso de un sistema de comunicaciones inalámbricas la transmisión de la información se hace a través del aire o vacío por medio de la emisión de ondas electromagnéticas.

Cuando la comunicación entre dos puntos se realiza por medio de alambres o fibra, se dice que se emplea un medio guiado. Si la transmisión es por el aire o espacio se habla entonces de un medio no guiado. En cualquiera de los dos casos, el objetivo de un sistema de comunicaciones electrónico es enviar la información desde un punto a otro transmitiendo energía electromagnética desde el remitente hasta el destinatario. La transmisión por un medio guiado requiere el envío de ondas eléctricas sobre un par de cobre o el envío de ondas de luz transmitidas sobre fibra óptica. Para transmitir por un medio no guiado se emplean ondas electromagnéticas.

La energía electromagnética puede viajar de varios modos: como ondas de voltaje o de corriente por medio de alambres, como ondas de luz por medio de la fibra óptica o como emisiones de radio frecuencia que viajan por el aire o espacio. En cualquiera de los casos es importante conocer la longitud de Onda (Wavelength) con que viaja la señal.

$$\text{Longitud de Onda } (\lambda) = \frac{\text{Velocidad}}{\text{Frecuencia}}$$

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

Donde:

- ✓ Velocidad ( $v$ ): Es la velocidad a que viaja la onda. Depende del medio y se conoce como Velocidad de Propagación.
- ✓ Frecuencia ( $f$ ): La variación en ciclos por segundo de la señal que se propaga.
- ✓ Longitud de onda ( $\lambda$ ): la distancia a la que se repite la forma de la onda

La máxima velocidad de propagación, ' $c$ ', se logra en el vacío y se conoce como la "velocidad de la luz" y es aproximadamente igual a 300.000 Km/s. En el aire la velocidad de propagación de la energía electromagnética está entre 95 % a 98 % de la del vacío. Por un alambre está entre 60 % a 85 % y típicamente en el cable de TV Cable está en el orden de 75%.

La longitud de onda es muy importante pues algunos aspectos en el diseño y selección de los componentes electrónicos dependen de la misma. Por ejemplo, el tamaño de las antenas, y el tipo de cables a

emplearse depende de la frecuencia o longitud de onda con que se trabaje. Por otro lado, mientras más pequeña sea la longitud de onda, la energía electromagnética no puede ser fácilmente controlada o confinada, lo que hace más difícil trabajar con señales de frecuencias elevadas.

La energía electromagnética normalmente viaja en línea recta, pero esta trayectoria puede ser modificada de varias formas: por ejemplo cuando viaja confinada en un alambre o fibra óptica sigue la trayectoria fijada por el cable, o cuando viaja por el espacio puede ser reflejada, difractada o refractada al igual que ocurre con la luz.

### **1.3. MEDIOS DE TRANSMISIÓN**

El medio de transmisión es el soporte físico o no que facilita el transporte de la información. Es una parte fundamental en la comunicación de datos. La calidad de la transmisión dependerá de sus características.

Los **medios de transmisión** que han evolucionado más rápidamente son los utilizados para el transporte de señales eléctricas, ya que gracias al uso de estas señales es posible realizar transmisiones a grandes distancias.

#### **1.3.1. TIPOS DE MEDIOS DE TRANSMISIÓN:**

Guiados:

- ✓ UTP
- ✓ STP
- ✓ Multipar
- ✓ Cable Coaxial
- ✓ Fibra Óptica
- ✓ Guía de Onda

No Guiados

- ✓ Microondas
- ✓ Satélites
- ✓ Radio Frecuencia

- ✓ Infrarrojo
- ✓ Tx óptica.

Un medio de transmisión se selecciona por:

- ✓ Velocidad de transmisión
- ✓ Ancho de Banda
- ✓ Distancia
- ✓ Costos.

La calidad de transmisión es un factor importante en las comunicaciones, por lo cual se debe analizar el BER en sistemas digitales y la señal a ruido (S/N) en los sistemas analógicos.

#### **1.4. ÁREAS DE COBERTURA DE LAS REDES INALÁMBRICAS**

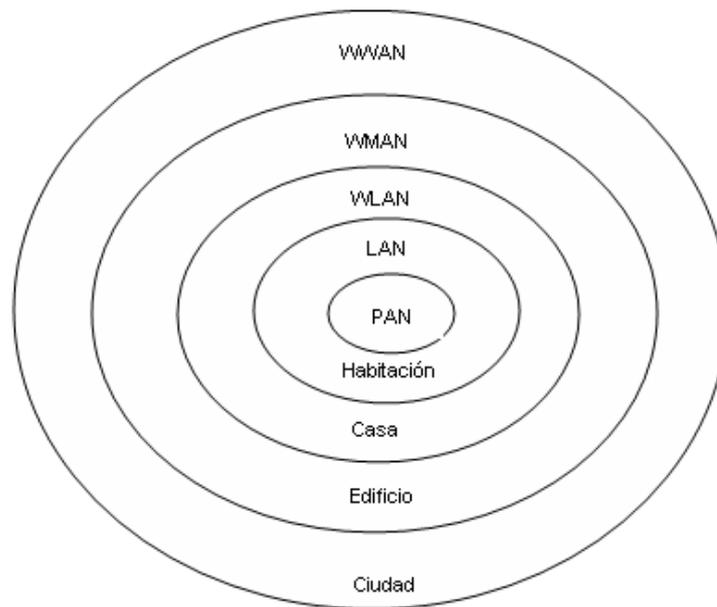


Figura 1.2. Áreas de cobertura de las Redes Inalámbricas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> <http://www.apertonet.com>

## 1.5. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético se divide en bandas, cada una con sus características o peculiaridades. Para evitar interferencias, a los usuarios se les asignan frecuencias específicas dentro de las bandas, frecuencias que adoptarán las peculiaridades asociadas a dichas bandas. En la transmisión inalámbrica se emplea un rango de frecuencias que va desde los 30 KHz hasta los cientos de GHz. A esto se conoce como el **Espectro Electromagnético**.

Tabla 1.1. Bandas de Frecuencias en el Espectro Electromagnético, según la ITU.

Número de la banda	Rango de frecuencias	Designación
2	30 – 300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 – 3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 – 30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 – 300 kHz	LF (frecuencias bajas)
6	0.3 – 3 MHz	MF (frecuencias medias)
7	3 – 30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 – 300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	0.3 – 3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 – 30 GHz	SHF (frecuencias superaltas)
11	30 – 300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 – 3 THz	Luz infrarroja
13	3 – 30 THz	Luz infrarroja
14	30 – 300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 – 3 PHz	Luz visible
16	3 – 30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 – 300 PHz	Rayos - X
18	0.3 – 3 EHz	Rayos gamma
19	3 – 30 EHz	Rayos cósmicos

\* $10^0$ , herz (Hz);  $10^3$  kilohertz (kHz);  $10^6$  megahertz (MHz);  $10^9$  gigahertz (GHz);  $10^{12}$  terahertz (THz);  $10^{15}$  petahertz (PHz);  $10^{18}$  exahertz (EHz);

Cada banda se emplea para varios servicios de telecomunicaciones. La asignación de las frecuencias para diferentes servicios se rige por una serie de acuerdos bajo el control de la International Telecommunications Union (ITU).

Organismos y regulaciones internacionales no solo que han definido los rangos del espectro Electromagnético, sino que también determinan el uso que se darán a los mismos, incluyendo sus subdivisiones. Por ejemplo, en la Figura 1.3 se muestra la cuidadosa distribución de frecuencias de VHF para diferentes usos, incluyendo el científico.

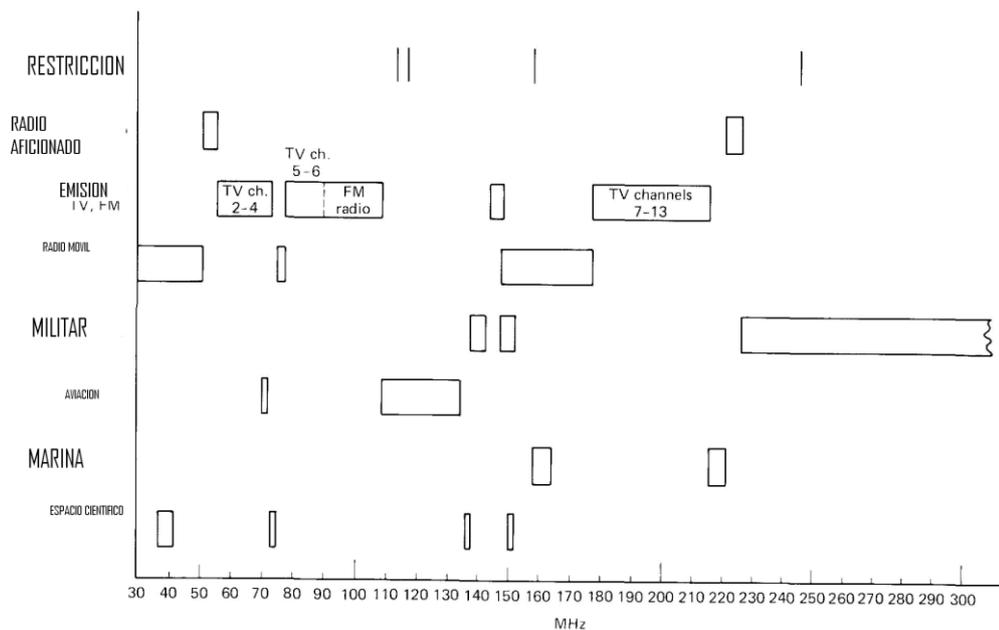


Figura 1.3. Distribución de las frecuencias en VHF.

En la Tabla N°1.2 se muestran los rangos asignados para ICM, donde una aplicación ICM (Industrial, Científica, y Médica) es definida como la aplicación de equipos o de instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares.

Tabla N° 1.2. Frecuencias para aplicaciones ICM que requieren autorización.

Banda de Frecuencias		Frecuencia Central
6765	– 6795 KHz	6780 KHz
13553	– 13567 KHz	13560 KHz
26957	– 27283 KHz	27120 KHz
40,66	– 40,70 MHz	40,68 MHz
433.05	– 434.79 MHz	433,92 MHz

902	– 928 MHz	915 MHz
2400 MHz	– 2500 MHz	2450 MHz
5725	– 5875 MHz	5800 MHz
24	– 24,25 GHz	24,125 GHz
61	– 61,5 GHz	61,25 GHz
122	– 123 GHz	122,5 GHz
244	– 246 GHz	245 GHz

También se controla y limita la potencia de la energía radiada. Para potencias pequeñas (por ejemplo, la que se emplea en los teléfonos inalámbricos caseros) no se requiere de permiso. Para comunicaciones de pequeño alcance, que sería el caso de comunicaciones inalámbricas dentro de una planta industrial, debe buscarse una frecuencia de trabajo para la que se requiere de permiso. Se debe tener en cuenta que con potencias medias y altas se pueden interferir a otros equipos o canales de comunicación funcionando en lugares cercanos; y a su vez el equipo debe ser capaz de soportar interferencias desde otros equipos.

Las frecuencias más bajas se emplean en sistemas especiales de comunicación, con submarinos por ejemplo, debido a que estas frecuencias bajas, de grandes longitudes de onda, pueden penetrar cientos de metros de agua.

La Audio Frecuencia (AF) va desde 20 Hz a 20 KHz, si bien puede ser propagada en su forma original desde un punto a otro, resulta impráctico emplearla como una alternativa de comunicación generalizada; para su envío se requiere de procesos de modulación.

En una planta industrial, también se puede emplear técnicas de modulación para transmitir todas las variables físicas desde su forma original, y de esta forma se evitará enviar el ruido que sería “escuchado” por todos los instrumentos desde todas las fuentes.

Se pueden emplear frecuencias de transmisión elevadas altas, incapaces de ser escuchadas por el oído humano, pero capaces de trasladar los valores de frecuencia de la información original a un rango mayor, para evitar que se mezclen y se interfieran, con otros rangos de frecuencias; con este propósito se emplea la modulación.

## **1.6. REDES DE ACCESO**

La red de acceso abarca los elementos tecnológicos que soportan los enlaces de telecomunicaciones entre los usuarios finales y el último nodo de la red denominado lazo de abonado. Sus principales componentes son: los medios de comunicación y los elementos que realizan la adecuación de la señal a los mismos.

La necesidad de Ancho de Banda ha hecho nacer varias tecnologías de acceso de banda ancha que a pesar de las diferencias, todas ellas se caracterizan por el aumento de la velocidad de transferencia de datos al usuario final; en consecuencia amplían los servicios. Todas estas tecnologías comparten el mismo protocolo subyacente ATM. (Ver Figura.4)

### **1.6.1. CLASIFICACIÓN:**

- ✓ Redes de Acceso vía Cobre
- ✓ Redes de Acceso vía Radio
- ✓ Redes de Acceso vía Fibra óptica.

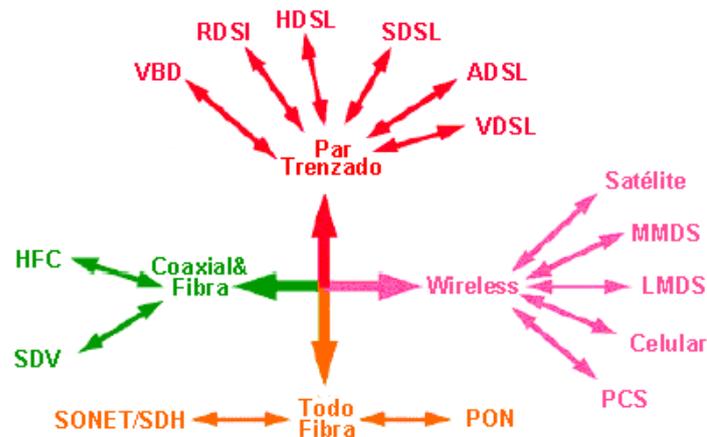


Figura 1.4. Redes de Acceso.

## 1.7. TECNOLOGÍAS DE ACCESO A REDES

Las tecnologías de acceso al Internet en la actualidad, han sufrido un desarrollo considerable, tienen características de robustez, cobertura y seguridad muy amplios, a continuación se analizará una de las más actuales como es Wimax.

### 1.7.1. WIMAX

WiMAX, viene de las siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,5 a 3,5 Ghz. , también 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 visión entre los puntos a conectar (LOS) como sin línea de visión (NLOS) en bandas de frecuencias de uso común o licenciadas. Así como WiFi de los estándares 802.11, que representa una iniciativa que busca promocionar la adopción de ésta y asegurar la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes. El WiMAX Forum define a WiMAX

como una tecnología de banda ancha inalámbrica de última milla, alternativa al servicio de cable modem y tecnologías DSL a través de líneas de compañías de teléfono. WiMAX tiene la capacidad de reemplazar varias infraestructuras de telecomunicaciones hoy en uso, lo cual ha generado bastante expectación y entusiasmo de las empresas relacionadas, lo que se ve reflejado en el gran número de empresas que se han unido al WiMAX Fórum, logrando hasta principios de noviembre de 2006 superar las 330. Como se dijo, WiMAX es el nombre bajo el cual se comercializan los estándares de la serie 802.16, de ésta los más importantes corresponden al 802.16-2004 que corresponde a las especificaciones para las aplicaciones inalámbricas fijas, y el 802.16e para las comunicaciones inalámbricas móviles. (Ver Figura 1.5)

#### WIMAX COMO TRABAJA

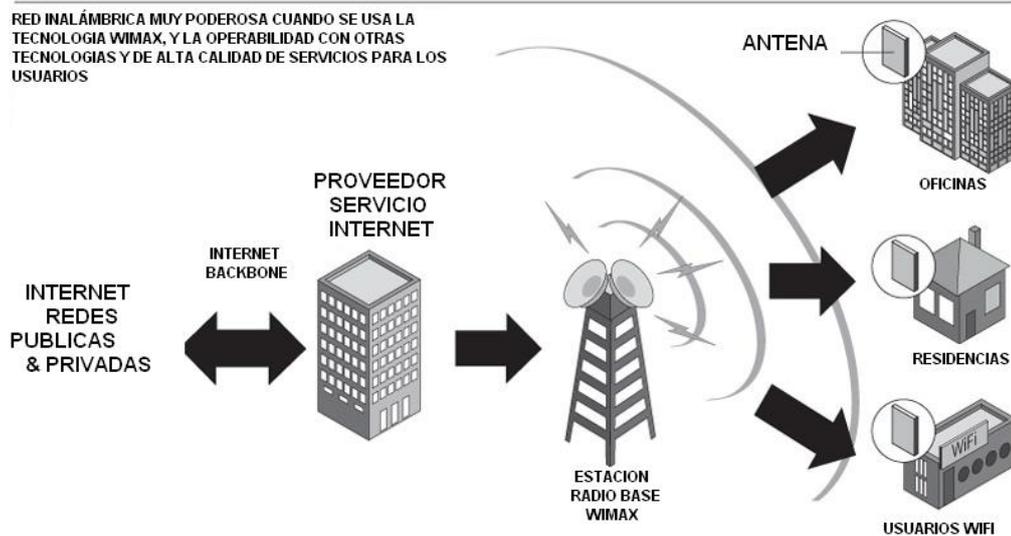


Figura 1.5. Red Inalámbrica Wimax.

### 1.7.2. CARACTERÍSTICAS

- ✓ Distancias de hasta 80 kilómetros, con antenas muy direccionales y de alta ganancia. Velocidades de hasta 75 Mbps, 35+35 Mbps, siempre que el espectro esté completamente limpio.
- ✓ Facilidades para añadir más canales, dependiendo de la regulación de cada país. Anchos de banda configurables y no cerrados sujeto a la relación de espectro. Permite dividir el canal de comunicación en pequeñas subportadoras (Dos tipos: Guardias y Datos).
- ✓ Una de las principales limitaciones en los enlaces a larga distancia vía radio es la limitación de potencia, para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere. Sin embargo, los más recientes avances en los procesadores digitales de señal hacen que señales muy débiles (llegan con poca potencia al receptor) puedan ser interpretadas sin errores, un hecho del que se aprovecha WiMAX. Con los avances que se logren en el diseño de baterías podrá haber terminales móviles WiMAX, compitiendo con los tradicionales de GSM, GPRS y de UMTS.
- ✓ Otra característica de WiMAX es que soporta las llamadas antenas inteligentes (smart antenas), propias de las redes celulares de 3G, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que 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.
- ✓ Las primeras versiones de WiMAX están pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto, típicas de los radioenlaces por microondas. Las próximas ofrecerán total movilidad, por lo que competirán con las redes celulares.

Los primeros productos que empiezan a aparecer en el mercado se enfocan a proporcionar un enlace de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto. Así, WiMAX puede resultar muy adecuado para unir hot spots WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento WiFi es relativamente barato pero un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que esta alternativa de radio parece muy razonable.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. En un futuro WiMAX podría ser una realidad ampliamente difundida, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas.

En los países en desarrollo resulta una buena alternativa por el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia.

La instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, por lo que por parte de los operadores móviles puede ser visto como una amenaza, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

### 1.7.3. VENTAJAS

- ✓ Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).
- ✓ **Gran ancho de banda:** Una sola estación base puede admitir más de 60 conexiones T1 o varias centenas de conexiones DSL<sup>3</sup>.
- ✓ **Independencia del protocolo.** Puede transportar, entre otros, IP, Ethernet y ATM. Esto hace que sea compatible con otros estándares.
- ✓ Puede utilizarse para transmitir **otros servicios añadidos** como VoIP, datos o vídeos.
  
- ✓ Soporta **antenas inteligentes** (smart antennas), lo cual favorece la eficiencia espectral. (Estas antenas emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo electrónicamente para enfocar siempre al receptor).
- ✓ **Seguridad:** Incluye medidas para autenticación de usuarios y encriptación de datos mediante los algoritmos 3DES y RSA<sup>4</sup>.

### 1.7.4. DESVENTAJAS

- ✓ **Limitación de potencia** para prever interferencias con otros sistemas.
  
- ✓ **Alto consumo** de batería en los dispositivos.

---

<sup>3</sup> DSL. Línea digital de Abonado

<sup>4</sup> 3DES En [criptografía](#) el Triple DES se llama al [algoritmo](#) que hace triple cifrado del [DES](#). También es conocido como TDES o 3DES  
RSA ([Rivest](#), [Shamir](#) y [Adleman](#)) es un [sistema criptográfico de clave pública](#)

- ✓ Interferencias: debido a que el espectro que no requiere licencia puede ser utilizado por varios sistemas diferentes de RF, hay altas probabilidades de que ocurran interferencias.
- ✓ Los sistemas de RF que no requieren licencia pueden incluir desde las redes rivales de WiMAX o los puntos de acceso de Wi-Fi. Los teléfonos inalámbricos y Bluetooth (sólo 2.4GHz) también usan este espectro. Tanto WiMAX como Wi-Fi soportan la DFS (Dynamic Frequency Selection - Selección Dinámica de Frecuencia) que permite que se utilice un nuevo canal si fuera necesario (por ejemplo, cuando se detectan interferencias). No obstante, DFS también puede introducir una mayor latencia que, a su vez, afecta las aplicaciones en tiempo real como VoIP.
- ✓ Mayor competencia: Los operadores que utilizan el espectro que no requiere licencia tienen que asumir que otro operador fácilmente podría ingresar en el mercado empleando el mismo espectro. En gran medida, el número relativamente alto de puntos de acceso públicos Wi-Fi se debe a este hecho. No obstante, los gastos de capital relacionados con la instalación de un punto de acceso Wi-Fi de carácter comercial son relativamente triviales (cientos de dólares, cuanto mucho) en comparación con el costo relacionado con desplegar una red WiMAX, que podría ser equivalente al costo de desplegar una red celular.
- ✓ Potencia limitada: Otra desventaja del espectro que no requiere licencia es que los entes reguladores del gobierno por lo general limitan la cantidad de potencia que puede transmitirse. Esta limitación es especialmente importante en 5.8GHz, donde la mayor potencia podría compensar la pérdida de propagación relacionada con el espectro en frecuencias más altas.
- ✓ Disponibilidad: Mientras el espectro de 2.4GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8GHz no se encuentra disponible en varios países.

## **1.7.5. TIPOS DE WIMAX**

### **a. FIJO**

El estándar del 802.16-2004 del IEEE (el cuál revisa y reemplaza versiones del IEEE del 802.16a y 802.16d) es diseñado para el acceso fijo que el uso modela. Este estándar puede ser al que se refirió como "fijo inalámbrico" porque usa una antena que se coloca en el lugar estratégico del suscriptor. La antena se ubica generalmente en el techo de una habitación o en un mástil, parecida a una antena de televisión vía satélite. 802.16-2004 del IEEE también se ocupa de instalaciones interiores, en cuyo caso no necesita ser tan robusto como al aire libre. El estándar 802.16-2004 es una solución inalámbrica para acceso a Internet de banda ancha que provee una solución de clase ínter operable de transportador para la última milla. WiMAX acceso fijo funciona desde 2.5-GHz autorizado, 3.5-GHz y 5.8-GHz exento de licencia. Esta tecnología provee una alternativa inalámbrica al módem cable y las líneas digitales de suscriptor de cualquier tipo (xDSL).

### **b. MÓVIL**

El estándar del 802.16e del IEEE es una revisión para la especificación base 802.16-2004 que apunta al mercado móvil añadiendo portabilidad y capacidad para clientes móviles con IEEE. Los adaptadores del 802.16e para conectarse directamente al WiMAX enlazan en red del estándar. Se espera que el estándar 802.16e haya sido consolidado en 2005.

El estándar del 802.16e usa Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), lo cual es similar a OFDM en que divide en las subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá agrupando subportadoras múltiples en subcanales. Una sola estación cliente del suscriptor podría usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los múltiples clientes podrían transmitir

simultáneamente usando cada uno una porción del número total de subcanales.

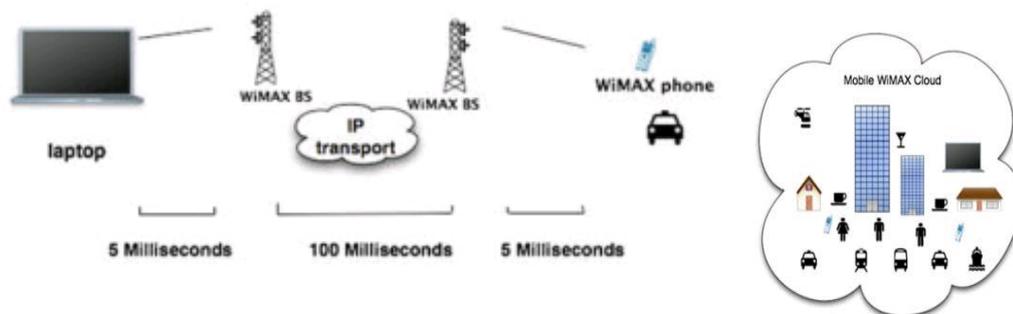


Figura 1.6. Red Fija y móvil con tecnología Wimax.

#### 1.7.6. SERVICIOS QUE SE OFRECEN A TRAVÉS DE WIMAX

La industria mundial al igual que la ecuatoriana se encuentra en un proceso de migración a WiMAX que marca el inicio de la nueva era de la conectividad. En las áreas del mundo donde la banda ancha no está disponible hoy, WiMAX es una alternativa ideal para conectar la infraestructura ya que es económico y rápido de implementar. Países que han sufrido la falta de acceso a los servicios de telecomunicaciones por muchos años podrán ahora levantarse y usar esta tecnología para revolucionar sus comunicaciones y experimentar un impulso en sus economías como resultado de ello.

WiMAX se perfila como la opción más eficiente, económica y técnicamente a la hora de implantar conectividad en el ámbito empresarial y residencial, y así satisfacer la creciente demanda de servicios de banda ancha, los servicios que se puede implantar son los siguientes:

- a) Gran ancho de banda, para envío de datos de voz, video y audio. WiMAX fomentará el actual mercado del acceso de banda ancha

gracias a que se sustenta en un completo proceso de estandarización y en características tales como la interoperabilidad y la capacidad de transmisión sin necesidad de línea de vista.

b) Conexión entre “hotspots” WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo, y a costo reducido. WiMAX extiende el alcance de WiFi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G.

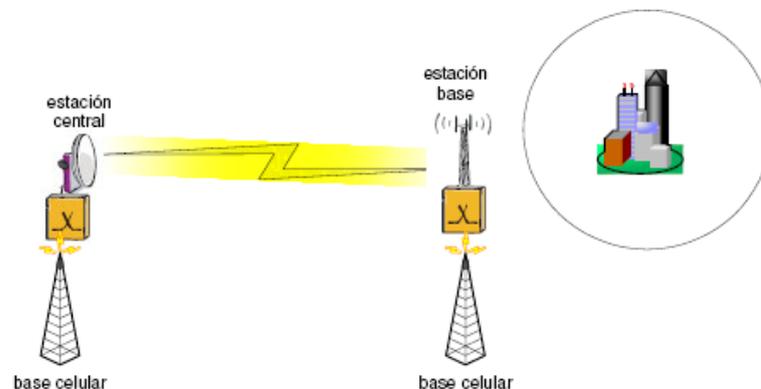


Figura 1.7. Enlace de Microondas para Wimax.

c) Acceso al Internet en zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radioenlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un costo muy competitivo frente a otras alternativas. En los países en desarrollo como el nuestro resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia. En general en la siguiente Figura 1.8 se presenta un ejemplo de una estructura de red utilizando WIMAX.

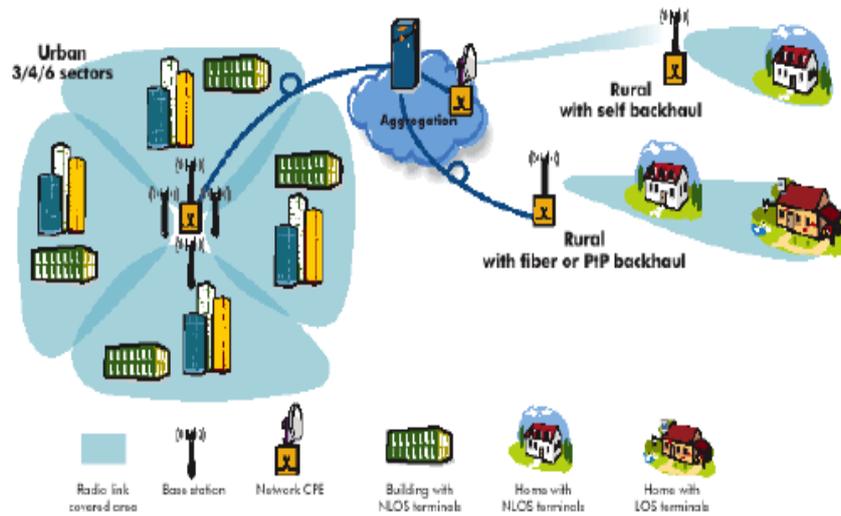
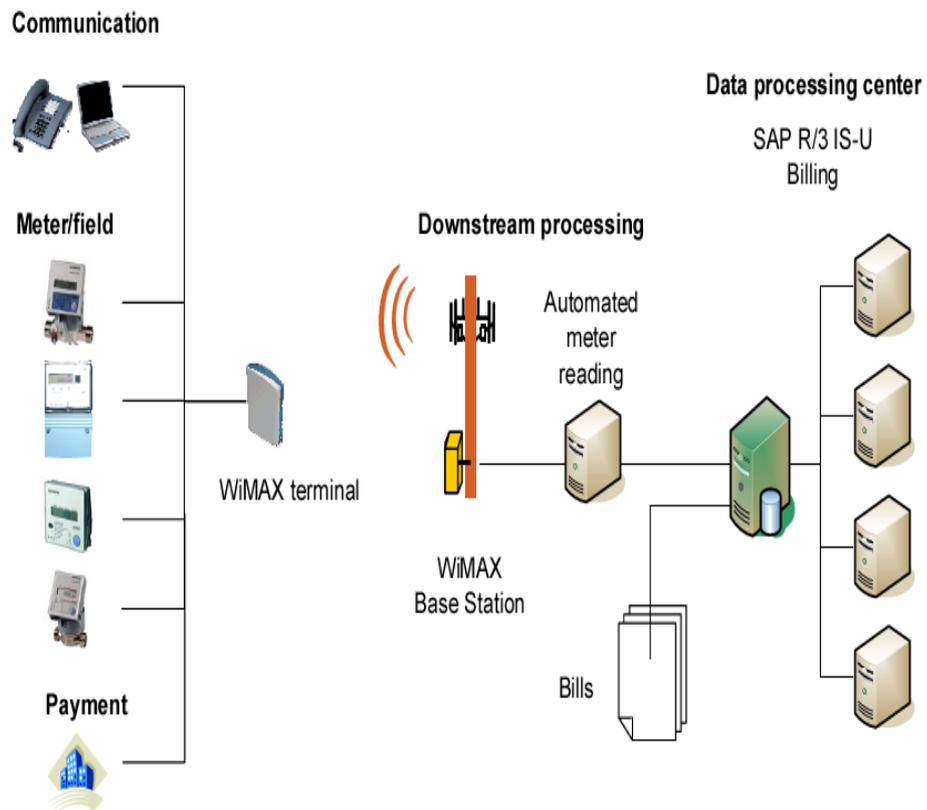


Figura 1.8. Esquema de red para zonas rurales y urbanas

### 1.7.7. ESTRUCTURAS DE RED EXTREMO A EXTREMO PARA DIVERSIFICAR SERVICIOS



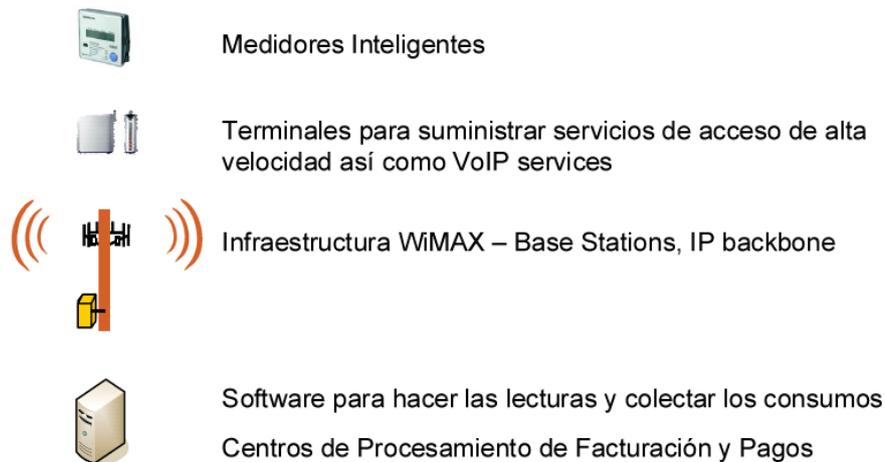


Figura 1.9. Estructura de Red de Wimax.

### 1.7.8. COMPONENTES DE UNA RED WIMAX.

Básicamente se pueden mencionar los dos tipos de elementos que forman las redes 802.16:

- ✓ El equipo de usuario o CPE ( Customer Premises Equipment ). Este es el equipo que incorpora las funciones de las SS ( Subscriber Station ) identificadas en el funcionamiento de las redes Broadband Wireless Acces (BWA). Este equipo proporciona la conectividad vía radio con la estación base (BS).
- ✓ La estación base con las funciones de BS ( Base Station ). Además de proporcionar conectividad con las SS también proporciona los mecanismos de control y gestión de los equipos SS. La estación base tiene los elementos necesarios para conectarse con el sistema de distribución.

En la Figura 1.10 se identifican estos dos elementos así como las posibles configuraciones de conectividad entre ellas. De forma general, una red WiMAX posee una arquitectura similar a las redes celulares tradicionales ya que se basa en una distribución estratégica

de una serie de emplazamientos en donde se ubicarán las estaciones base (BS).

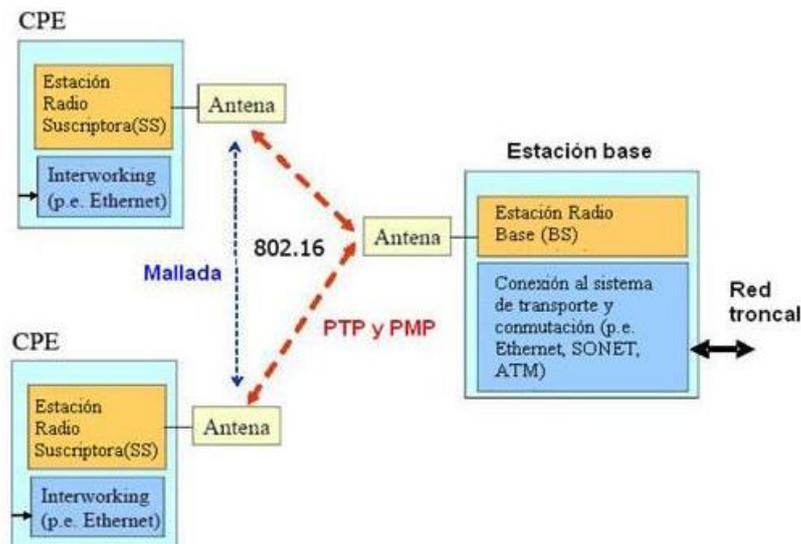


Figura 1.10 Componentes de una Red WIMAX

### 1.7.9. TOPOLOGÍA DE RED

Existen varias topologías de despliegue de red que pueden ser soportadas en las redes WiMAX. Es posible desplegar una red cableada dedicada a la interconexión de estaciones base, o bien realizar estas conexiones en base a circuitos radio Punto – punto en la banda de microondas, o inclusive emplear WiMAX para estos circuitos Punto – punto entre estaciones.

A continuación se presentan los tipos de topología de red para WiMAX:

#### a. TOPOLOGÍA PTP

La topología punto a punto se muestra en la siguiente Figura 1.11. En ella se pueden identificar los dos elementos que se comunican entre ellos (transmisor y receptor). El estándar define esta tipología como una variante de la topología punto a multipunto.

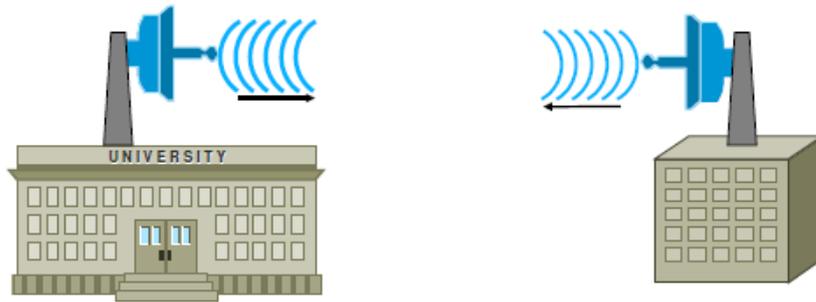


Figura.1.11. Esquema de red en arquitectura PTP

#### 1.7.10. ARQUITECTURA PUNTO-MULTIPUNTO (PMP).

En las configuraciones punto-multipunto (PMP) un enlace WiMAX se realiza a partir de una estación base (BS) central con antenas sectoriales, que consisten en un conjunto de antenas direccionales distribuidas alrededor de un mástil central. En estas redes pueden haber estaciones con 2 sectores (a  $180^\circ$ ), 4 sectores (a  $90^\circ$ ) u 8 sectores (a  $45^\circ$ ) todo depende del tipo de antena que se utilice y de la zona que se pretende dar cobertura. Dentro de un sector y para una determinada frecuencia (canal) todas las estaciones (BS) reciben la misma potencia o partes de la misma.

Cada antena define un sector, un área donde la frecuencia puede ser rehusada. Los sectores también pueden ser desarrollados en base a arrays de antenas, donde un conjunto de dipolos son combinados y se consiguen lóbulos direccionales para variar las relaciones de fase de las señales de cada una de las antenas. Las relaciones de fase son modificadas electrónicamente y, en el caso de antenas adaptativas, el sistema es capaz de ajustar la anchura y dirección del lóbulo para facilitar la mejor conexión con un determinado usuario. Son las conocidas antenas inteligentes.

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

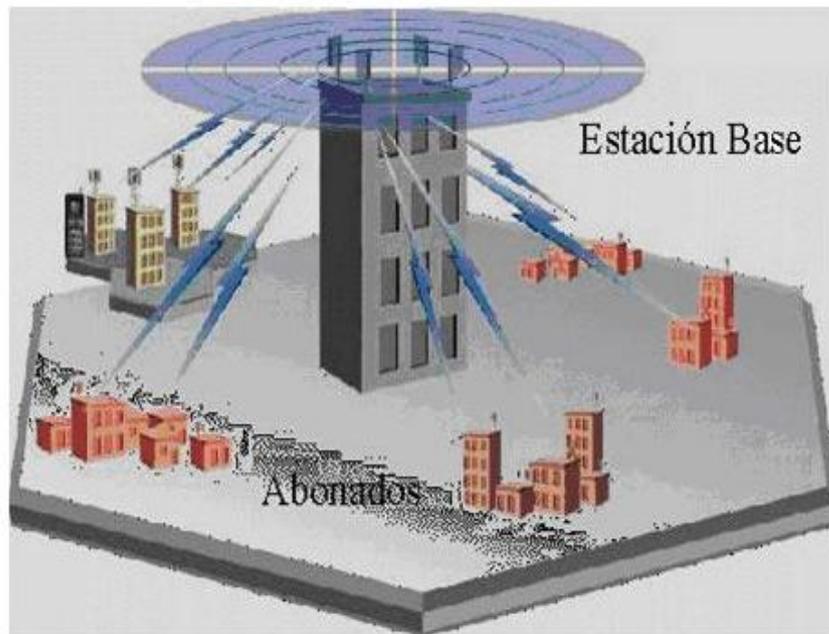


Figura 1.12. Topología PMP

En adición, el 802.16 provee una tecnología inalámbrica ideal para conectar WLAN's 802.11 y hotspots comerciales con Internet, como se puede apreciar en la siguiente Figura 1.13

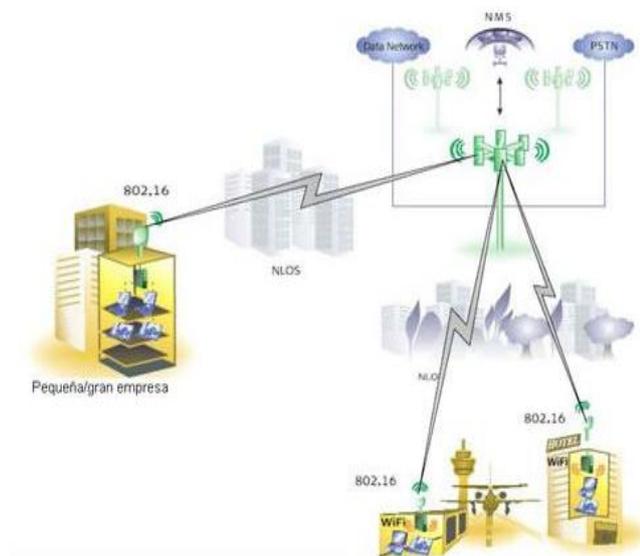


Figura 1.13. Adición De Wlan's 802.11 Y Hotspots

La arquitectura Punto - Multipunto representa la arquitectura más extendida que permite al operador de red alcanzar el mayor número de usuarios al menor coste y limita el número de routers y switches necesarios para operar la red.

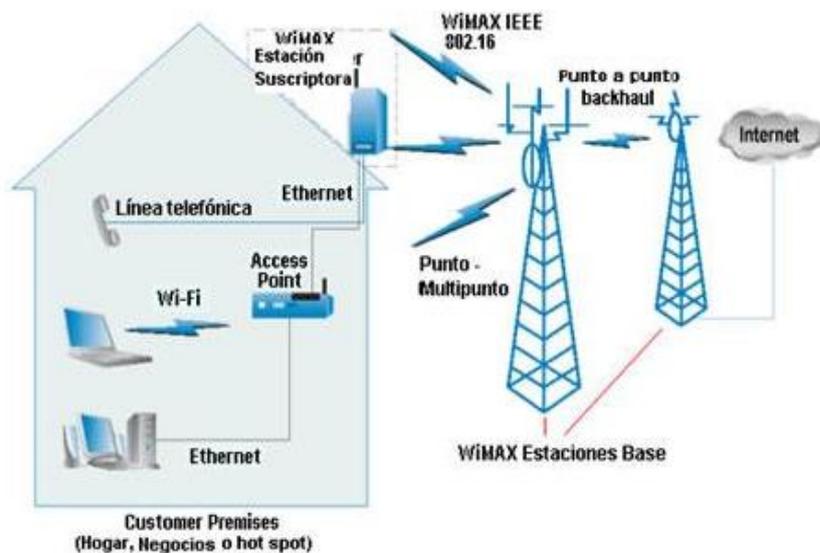


Figura 1.14. Arquitecturas de WiMAX.

**1.7.11. Redes Enmalladas (Mesh).** Las redes enmalladas son aquellas en las que la comunicación se puede hacer entre los diferentes nodos y no sólo entre nodo y estación base.

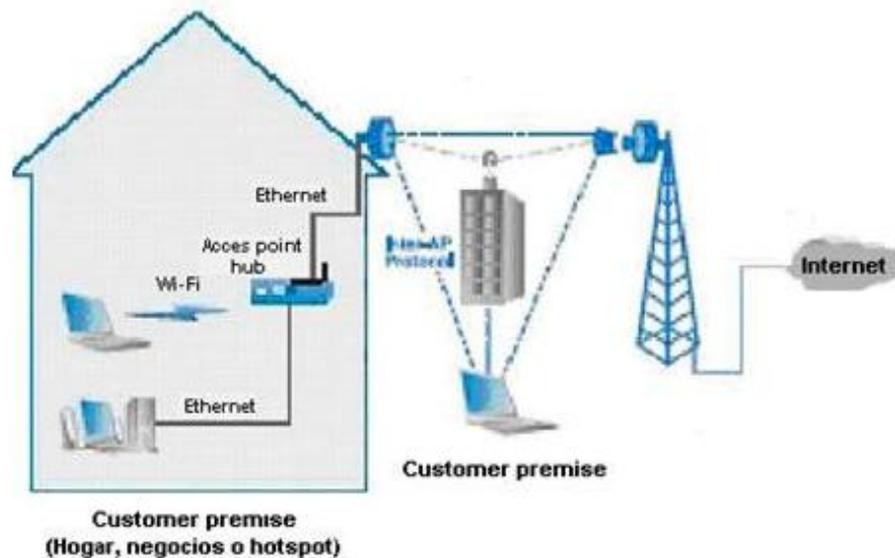


Figura 1.15. Topología Malla

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

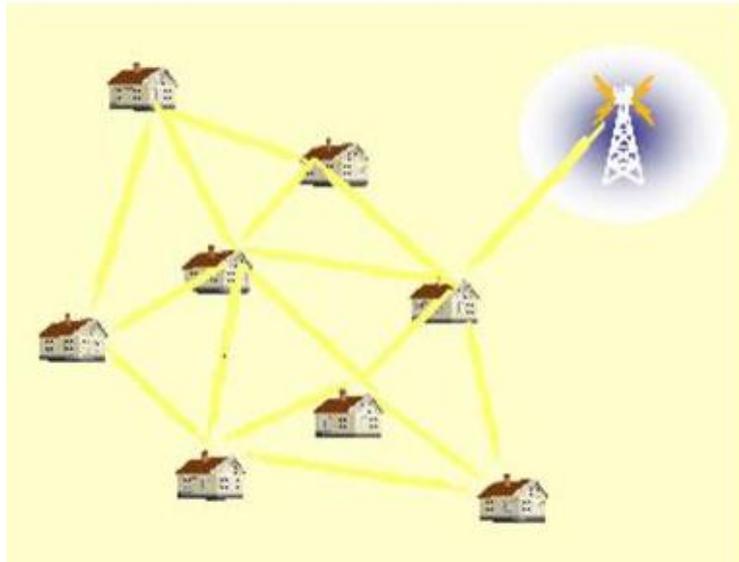


Figura 1.16. Representa una arquitectura de red mallada (Red Mesh).

En una red mesh cada terminal de usuario es capaz de establecer varios enlaces con usuarios adyacentes. De esta forma, existen una serie de alternativas antes de llegar al punto origen de la red. Algoritmos especiales de encaminamiento son capaces de direccionar las comunicaciones por el camino más adecuado en cada momento; si un equipo de cliente deja de funcionar, la red sigue funcionando por caminos alternativos.

En este sentido, una red modo mesh se caracteriza por:

- ✓ No se requiere una entidad centralizada de coordinación.
- ✓ Los usuarios se conectan unos con otros.
- ✓ Las tramas se dividen en minislots.
- ✓ No hay división entre uplink o downlink, la transmisión va en las dos direcciones por TDD<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> **TDD** Desarrollo guiado por pruebas, o Test-driven development (TDD)

La arquitectura permite la modularidad y la flexibilidad para dar cabida a una amplia gama de opciones de despliegue, tales como:

- a) En pequeña escala a gran escala (escasa densidad de la cobertura de radio y de la capacidad) las redes WiMAX
- b) Urbano, suburbano y rural de radio propagación entornos
- c) Licenciados y / o licencia exenta de las bandas de frecuencia
- d) Jerárquica, plana, la malla o topologías, y sus variantes
- e) La coexistencia de las fijas, nómadas, portátiles y móviles, modelos de uso

Apoyo a los Servicios y Aplicaciones: El de extremo a extremo la arquitectura incluye soporte para:

- a) De voz, multimedia y otros servicios por mandato reglamentario servicios tales como los servicios de emergencia y la interceptación legal
- b) El acceso a una variedad de independiente Application Service Provider (ASP )
- c) El uso de comunicaciones móviles, la telefonía VoIP
- d) Apoyo a la comunicación con los diversos medios de comunicación y el interfuncionamiento pasarelas que permitan la entrega de titular / legado traducido servicios sobre IP (por ejemplo, sobre IP SMS, MMS, WAP), el acceso a WiMAX Redes y
- e) Apoyo a la entrega de Broadcast IP Multicast y servicios a través de redes de acceso WiMAX.

#### **1.7.12. ESQUEMAS DE MODULACIÓN**

En telecomunicaciones el término modulación engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que permitirá transmitir más información simultánea y/o proteger la

información de posibles interferencias y ruidos. La modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir. Básicamente existen dos tipos de modulación: la modulación analógica y la modulación digital.

Mediante el proceso de modulación, el espectro de la señal original (en banda base) se traslada desde la gama de frecuencias en banda base a la gama de frecuencias de la onda portadora, la cual es generalmente una señal de alta frecuencia. El utilizar frecuencias superiores proporciona mayores anchos de banda para la transferencia de la información, lo cual redundaría en una capacidad superior y en el uso de antenas de menor tamaño. Así mismo usando modulación se puede conseguir mayores alcances en la transmisión y una radiación de la energía más efectiva. Sin embargo, la modulación no necesariamente utiliza altas frecuencias, como en el caso de transmisión de señales moduladas por líneas telefónicas.

#### **1.7.12.1. MODULACIÓN DIGITAL**

La modulación en banda ancha es una técnica en la cual los datos son transmitidos usando una señal portadora (normalmente una señal analógica, tal como una onda sinusoidal), la cual es modulada de acuerdo a la información digital (señal en banda base) que se desea transmitir, convirtiéndose la señal digital en una forma analógica para la transmisión. En el lado del receptor mediante el proceso de demodulación la señal recibida es convertida nuevamente al formato digital.

La modulación digital es entonces el proceso de introducir en la amplitud, frecuencia, fase o una combinación de estos parámetros de una Onda Portadora (sinusoide), la información digital en banda base.

#### **1.7.12.2. MODULACIÓN FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING)**

Es una técnica de modulación digital del tipo angular, en la que a un estado de la señal de datos le corresponde una determinada frecuencia de la señal modulada. De manera que la modulación FSK genera una señal de amplitud constante, en la cual la información está implícita en la frecuencia de la portadora modulada.

#### **1.7.12.3. MODULACIÓN PSK (PHASE SHIFT KEYING)**

En la modulación PSK (Phase Shift. Keying), es la fase de la portadora la que cambia de acuerdo a la señal de datos, en tanto, que la amplitud de la portadora modulada se mantiene constante. Constituye un tipo de modulación angular muy eficiente. Ampliamente utilizada en radio digital por sus características de amplitud constante, insensibilidad a variaciones de nivel y buen desempeño contra errores. Se tienen dos esquemas de modulación PSK, de acuerdo a cómo se dan los cambios en la fase de la portadora modulada.

#### **1.7.12.4. MODULACIÓN PSK CONVENCIONAL**

Este tipo de modulación se da cuando la información (modulante) está representada por el valor absoluto de la fase de la portadora modulada. Se tiene modulaciones de múltiples estados. Entre las más comunes: 2-PSK (BPSK), 4-PSK (QPSK), 8-PSK, 16-PSK, etc.

#### **1.7.12.5. MODULACIÓN BPSK O 2-PSK**

En este caso se tienen dos fases diferentes ( $M = 2$ ), asignándose una de ellas a los 1s y la otra a los 0s. La separación entre fases adyacentes es de 180 grados, pues  $\Delta \theta = 2 / M$ .

Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida (señal modulada) se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. En el dominio del tiempo la portadora modulada para el caso BPSK se vería como lo muestra la Figura 1.17

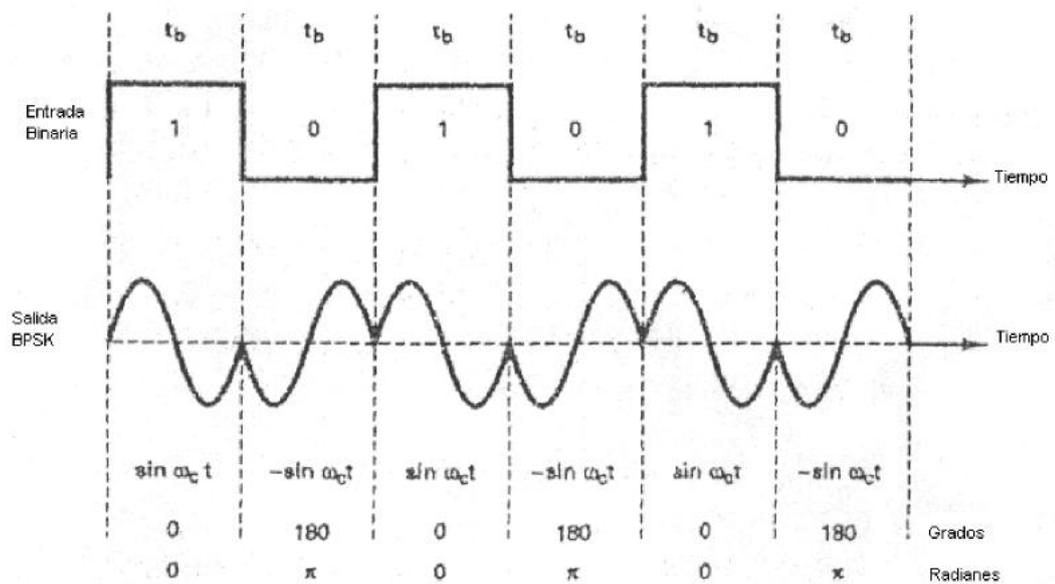


Figura 1.17. Señal Modulada BPSK.

Es muy ilustrativo representar la portadora modulada usando un diagrama de constelación, donde cada señal se representa por un punto, el cual corresponde al extremo del vector asociado en el diagrama fasorial. Tal diagrama para el caso BPSK se muestra en la Figura 1.18

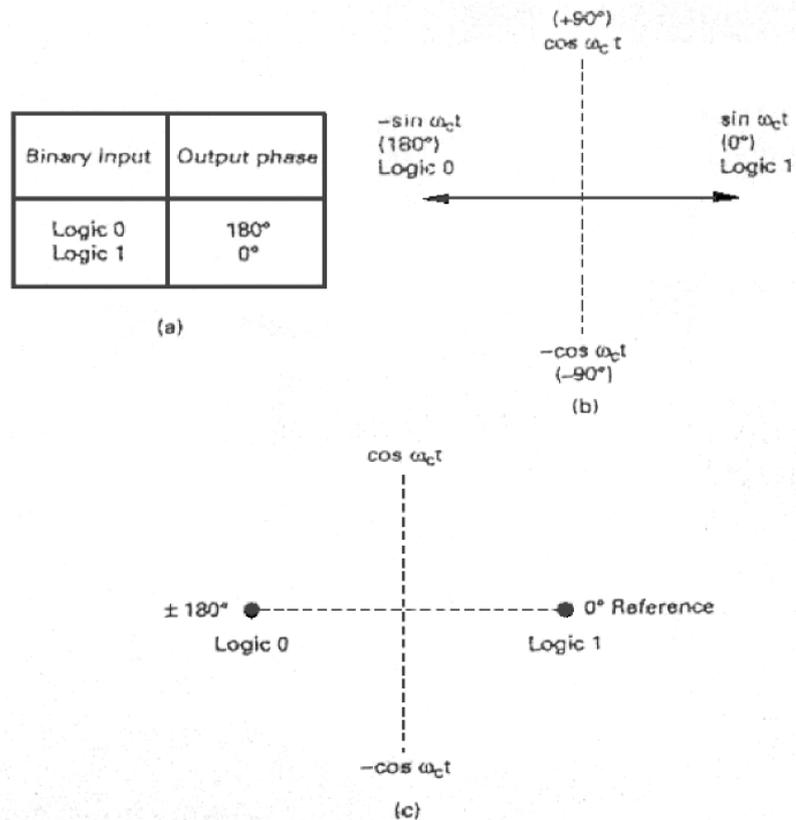


Figura 1.18. Señal modulada BPSK (a) Fase, (b) Diagrama Fasorial, (c) Diagrama de Constelación.

#### 1.7.12.6. MODULACIÓN ADAPTIVA

La técnica de modulación adaptiva consiste en ajustar una señal de información a un esquema de modulación más robusto en comparación del que está utilizando, de acuerdo al comportamiento de la señal en un canal de comunicación.

WiMAX utiliza 9 esquemas de modulación diferentes, con distintas características de eficiencia espectral. Entre las principales tenemos BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, y 256 QAM.

Como resultado de usar esta técnica se obtiene una señal con menor tasa de bits errados y mayor velocidad de transmisión, la Figura 19 representa un ejemplo de cómo trabajaría la modulación adaptativa en función de la distancia.

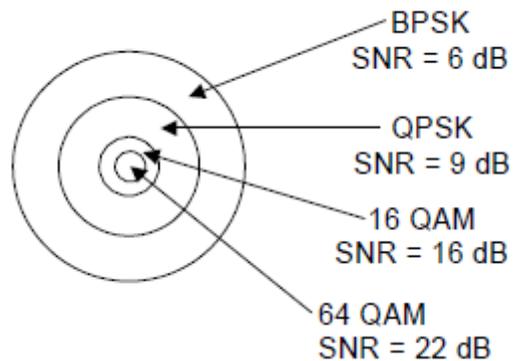


Figura 1.19. Radios relativos de la célula para la modulación adaptativa

#### 1.7.12.7. MODULACIÓN OFDM

El origen del OFDM es en la década de los 50/60 en aplicaciones de uso militar que trabajan dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras. OFDM es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-carrier considerada la piedra angular de la próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo. La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias, como se puede ver en la Figura 1.20. Este sistema al trabajar con gran número de portadoras tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Sincronización más simple y robusta
- ✓ Fácil de adaptarse a cortes
- ✓ Mejor inmunidad a ruidos impulsivos, interferencias
- ✓ Mejor robustez frente a distorsiones (fadings)

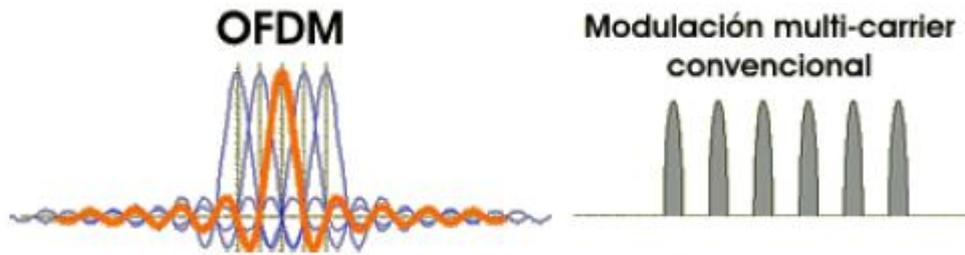


Figura 1.20. OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional

Fuente:www.upapl.org,

OFDM es una técnica de modulación de alta eficiencia espectral que maneja muy bien el ruido, los cambios de impedancia y las reflexiones producidas por los múltiples caminos que recorre la señal. Otra ventaja de OFDM es su habilidad para usar o dejar de usar cualquier subcanal, con el fin de mantener una óptima tasa de error. Esto permite además evitar interferencias con otros sistemas y poder cumplir los niveles de emisión regulados por las normas, como se indica en la Figura 1.21.



Figura 1.21. Bandas de no Interferencia.

Fuente:www.upapl.org,

Mediante OFDM puede alcanzarse velocidades de hasta 45 Mbps. El sistema usa modulación adaptativa, es capaz de medir los niveles de atenuación y ruido con una alta resolución espectral y en base a esta información usar unas u otras subportadoras para enviar la información. En cada subportadora se usa modulación QAM. Se está investigando y probando una nueva tecnología llamada MC-CDMA (Multiple Carrier-Code Division Multiple Access) que es una combinación de CDMA y OFDM, la cual permite incrementar el número de subportadoras y es posible llegar a alcanzar más de 100 Mbps.

### 1.8. ÁREA DE COBERTURA DE WiMAX

WiMAX es un sistema BWA (Broadband Wireless Access) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 Km.), escalable (es fácil añadir nuevos canales/usuarios, el ancho de banda asignado a cada uno es flexible y permite tanto sistemas en espectro “licenciado” como “no licenciado”) y en cuya cobertura se considera la incorporación de antenas sectoriales tradicionales o antenas adaptivas con modulaciones adaptables que permiten intercambiar ancho de banda por alcance, la tabla 3, a continuación nos da una visión del alcance y ancho de banda para diferentes tipos de propagación de las ondas de radio.

Tabla N°1.3. Área de Cobertura de WiMAX

ENTORNO	TAMAÑO	RENDIMIENTO
Urbanos en interiores (NLOS)	1 Km.	21 Mbps con canales 10
Suburbanos en interiores	2.5 Km.	22 Mbps con canales 10
Suburbanos en exteriores	7 Km.	22 Mbps con canales 10
Rurales en interiores (NLOS)	5 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5
Rurales en exteriores (LOS)	15 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5

## 1.9. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN.

El estándar WiMAX soporta FDD (*frequency division duplexing*) y TDD (*time division duplexing*) para permitir la interoperabilidad con los sistemas celulares y otros sistemas inalámbricos.

### 1.9.1. DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA

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

### 1.9.2. DUPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDD)

TDD se consigue subdividiendo cada trama en 24 intervalos de tiempo (time slots), 12 de los cuales son usados para el “down-link” y 12 para el “up-link”. Cada trama dura 10 ms proveyendo una velocidad promedio de 100 tramas duplex por segundo. Cada intervalo contiene 392 bits de datos, con 320 bits usados para información y 64 bits para chequeo de errores y control, como se puede apreciar en la Figura 1.22.

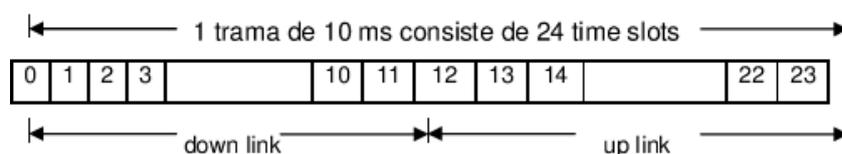


Figura 1.22. Trama TDD

### 1.9.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR TDD Y FDD

Cuando se utiliza TDD, el ancho de banda a ocupar se lo establece mientras el ciclo de trabajo transmisor/receptor varía en el tiempo. Con FDD, el ancho de banda es variable y el ciclo de trabajo

transmisor/receptor es fijo. Tanto TDD como FDD consumen una cantidad de espectro equivalente para una velocidad efectiva dada.

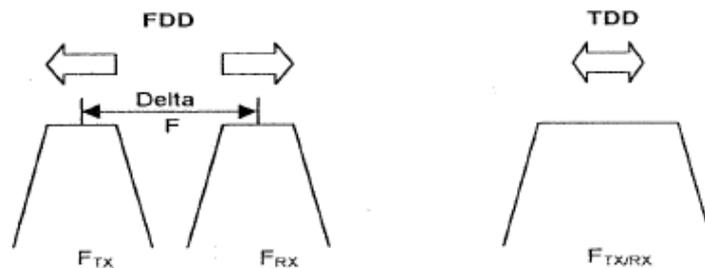


Figura.1.23. Distribución del Uso del Espectro con FDD y TDD

La Figura 23 muestra dos ventajas de utilizar TDD:

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

## 1.10. TÉCNICAS DE ACCESO AL MEDIO

### 1.10.1. ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA)

Método de acceso múltiple, que permite soportar a múltiples usuarios al mismo tiempo que comparten una mancomunidad de canales de radio, de forma que cualquiera de ellos puede acceder a cualquier canal. Cada portadora o trozo de espectro se divide en pequeños períodos de tiempo o microsegmentos llamados "time slots", de forma que a cada usuario se le asigna en cada momento un time slot, lo que permite multiplicar el número de usuarios.

### **1.11. BANDAS DE FRECUENCIA DE WiMAX**

El espectro electromagnético está dividido en bandas de frecuencias de radio enlaces conforme a las normas de los organismos reguladores de las comunicaciones mundiales, los cuales son parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Las frecuencias para radiocomunicaciones se definen entre límites bien establecidos y respetados por los diseñadores y usuarios.

El estándar inicial 802.16 se encontraba en la banda de frecuencias de 10-66 GHz y requería torres con Línea de Vista (LOS).

La nueva versión ratificada del estándar 802.16-2004, 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.

### **1.12. CAPA FÍSICA DE WiMAX**

El 802.16-2004 contempla cuatro especificaciones en su capa física:

- ✓ SC (10-66 GHz): Portadora única
- ✓ SCa (sub-11 GHz): Portadora única, NLOS, Bandas con licencia
- ✓ OFDM (sub-11 GHz): 256 portadoras, NLOS
- ✓ OFDMA (sub-11 GHz): 2048 portadoras, NLOS, Bandas con licencia

El Foro WiMAX ha determinado que los primeros planes de pruebas de interoperabilidad y eventual certificación soportaran 256 OFDM, siendo que esta capa es común entre 802.16-2004.

Otras características de la capa física que permiten obtener a WiMAX la robustez suficiente para trabajar en ambientes de canales de banda ancha son: ancho de canal flexible, perfil de ráfaga adaptivo, corrección de errores hacia delante con codificación convolucional y concatenación de Reed-Solomon, sistema avanzado de antena (AAS) para mejorar relación rango/capacidad, selección dinámica de frecuencia (DFS) para minimizar la interferencia y codificación espacio-tiempo (STC) para mejorar el desvanecimiento mediante diversidad espacial.

En la tabla 1.4.se indican las características y beneficios de la capa física de WiMAX.

Tabla N°1.4. Características y Beneficios de la Capa Física

<b>Características</b>	<b>Beneficio</b>
Señal con 256 subportadoras OFDM	Soporta direccionamiento multitrayectoria en ambientes LOS y NLOS externos
Modulación adaptiva y corrección de errores variable mediante RF	Asegura un robusto enlace de RF mientras maximiza la velocidad efectiva para cada suscriptor
Soporta duplexación TDD y FDD	Selección variable dependiendo de la compatibilidad permitida
Ancho del canal flexible (ej. 3.5MHz, 5MHz, 10 MHz, etc.)	Provee flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencia dependiendo del lugar de operación
Diseñado para soportar sistemas de antenas inteligentes	Suprimir interferencia, incrementar sistemas de ganancia para sistemas de banda ancha inalámbrica

### **1.13. CAPA MAC DE WiMAX**

El estándar 802.16-2004 usa un protocolo TDMA que se programa por la estación base (BS) para asignar la capacidad a los suscriptores en una topología de red punto multipunto.

Aprovechando este protocolo basado en TDMA, el sistema WiMAX será capaz no solo de ofrecer altas velocidades, sino también servicios de baja latencia como voz y video o acceso a base de datos.

WiMAX utiliza un mecanismo de acceso denominado petición/concesión, además de un mecanismo de corrección de errores de capa 2 denominado ARQ.

En la tabla 1.5, se indican las características y beneficios de la capa MAC de WiMAX.

Tabla N°1.5 Características y Beneficios de la Capa MAC

<b>Características</b>	<b>Beneficios</b>
Tramas uplink/downlink con TDM/TDMA	Uso eficiente de ancho de banda
Escalabilidad de 1 a cientos de usuarios	Efectiviza el costo de la red sin importar el número de usuarios
Orientado a Conexión	Calidad de servicio Enrutamiento y envío de paquetes más rápido
Petición de retransmisión automática (ARQ)	Mejora el rendimiento de la red eliminando errores inducidos por capas superiores
Utiliza modulación adaptiva	Ajusta la tasa de velocidad dependiendo de las condiciones del canal de comunicaciones
Seguridad y Encriptación	Protege la privacidad del usuario
Control Automático de Potencia	Habilita el despliegue de celdas minimizando la auto-interferencia

#### **1.14. CALIDAD DE SERVICIO (QoS, Quality of Service)**

La capacidad de voz es extremadamente importante sobretodo en el mercado internacional. Es por esto que WiMAX incluye características de calidad de servicio permitiendo ofrecer servicios de voz y video que requieren una baja latencia en la red.

Las características de concesión/petición de WiMAX en la capa MAC, permite ofrecer tanto servicios para negocios como un T1, servicios para hogares para manejar grandes volúmenes de datos mediante el “mejor esfuerzo”, similar al nivel de cable, y todo esto en una sola celda de una estación base.

### **1.15. CORRECCIÓN DE ERRORES HACIA DELANTE (FEC)**

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

### **1.16. SEGURIDAD**

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).

La arquitectura WiMAX de punto a punto de la red se basa en un marco de seguridad que es agnóstico a la ASN operador tipo y topología y se aplica de forma conjunta en Greenfield interconexión y el despliegue de modelos y escenarios de uso. En particular, existe apoyo para:

- a) Fuerte dispositivo de autenticación mutua entre el MS y la red de WiMAX, basado en el estándar IEEE 802,16 marco de seguridad
- b) Todos los mecanismos de autenticación comúnmente desplegadas y autenticación en el país y visitó operador de la red sobre la base de una hipótesis coherente y marco de autenticación extensible

- c) La integridad de datos, reproducción de protección, confidencialidad y no repudio usando longitudes de claves aplicables
- d) Uso de MS iniciado o terminado los mecanismos de seguridad, tales como redes privadas virtuales (VPNs)
- e) Norma garantizar mecanismos de gestión de dirección IP entre La MS / SS y visitó su casa o NSP.

### **1.17. COMPATIBILIDAD DE WiMAX CON TECNOLOGÍAS EXISTENTES**

WiMAX no ha sido diseñado para ser competidor de WiFi sino más bien para complementar y exceder las características técnicas de WiFi en aquellas carencias que éste presenta. WiMAX está pensado principalmente como tecnología de "última milla" y se puede usar para enlaces de acceso, MAN o incluso WAN. Destaca WiMAX por su capacidad como tecnología portadora sobre la que se puede transportar IP, TDM, T1/E1<sup>6</sup>, ATM, Frame Relay y voz, lo que la hace perfectamente adecuada para entornos de grandes redes corporativas de voz y datos así como para operadores de telecomunicaciones que se vean obligadas a usar enlaces inalámbricos como parte de su backbone. Para cumplir este último requisito era imprescindible contar con diferentes niveles de calidad de servicio así como el uso de diferentes canales de comunicación en un mismo radio enlace físico. Asimismo permite cubrir distancias bastante respetables sin línea de visión directa (N-LOS).

---

<sup>6</sup>**T1-DS1** es un estándar de entramado y señalización para transmisión digital de voz y datos basado en PCM ampliamente usado en telecomunicaciones en Norteamérica  
**E1E1 o Trama E1** es un formato de [transmisión digital](#); su nombre fue dado por la administración de la [CEPT](#). Es una implementación de la [portadora-E](#).

Con la penetrante adopción de las redes inalámbricas en hotspots empresariales, residenciales y públicos, con base en los estándares WiFi, WiMAX y 3GPP (3rd Generation Partnership Project) las plataformas móviles deben ser cada vez más compatibles con radios múltiples y heterogéneas (receptores, equipos terminales). La conectividad continua y en todo lugar pasará a ser una característica de la vida de los usuarios finales, que confiarán en sus comunicadores y otros dispositivos móviles para proporcionarles el mejor servicio del sector. Atender esta visión exige que el sector asuma desafíos técnicos, siendo uno de los más importantes la implantación de tecnologías de roaming inteligente capaces de hacer transiciones transparentes dentro de una red inalámbrica y a través de múltiples redes inalámbricas.

La conectividad transparente requiere movilidad y compatibilidad con transiciones homogéneas y heterogéneas. Las transiciones heterogéneas incluyen el paso por diferentes redes tales como WLAN, WiMAX y redes celulares. Las transiciones homogéneas incluyen el paso a través de puntos de conexión tales como puntos de acceso a WLAN (WiFi) o estaciones base WiMAX, dentro de la misma red.

En el caso de transiciones homogéneas dentro de un ambiente WLAN (WiFi), el primer paso es que la plataforma móvil reconozca de forma inteligente el ambiente inalámbrico inmediato del usuario y que seleccione automáticamente el mejor punto de acceso (Access Point- AP) disponible. En el segundo paso, se deben designar recursos de calidad del servicio (Quality of Service – QoS) y se deben computar las asociaciones de seguridad, tanto antes o durante el intervalo de reasociación.

IEEE 802.11k y 802.11r son los principales estándares del sector actualmente en desarrollo que permitirán transiciones de Conjunto de Servicio Básico (Basic Service Set - BSS) en el ambiente LAN. El estándar IEEE 802.11k proporciona información para descubrir el mejor punto de acceso disponible. El IEEE 802.11r define mecanismos para transiciones rápidas y seguras entre los puntos de acceso con el mismo Conjunto de Servicio (Extended Service Set - ESS).

Para mantener sin interrupción las conexiones del usuario durante las transiciones a través de diferentes redes, IEEE 802.21 define una función común de *Media Independent Handover* (MIH) entre la Capa 2 y 3 de la Interconexión de Sistemas Abiertos (Open Systems Interconnection-OSI) de la pila de red, lo que permite la movilidad a través de redes heterogéneas. Al permitir que los dispositivos y redes del cliente trabajen en cooperación durante estas transiciones de red, el IEEE 802.21 proporciona mecanismos para mejorar las transiciones a través de WiFi, WiMAX y radios celulares, lo que mejora significativamente la experiencia móvil del usuario.

Para asegurar una adopción amplia y exitosa de múltiples redes inalámbricas para aplicaciones de voz, video y datos, Intel lidera el desarrollo de esos estándares de IEEE y comercializa módulos de montaje de tecnología que proporcionarán la movilidad inalámbrica en las plataformas móviles de Intel.

La adopción de la tecnología WiFi sigue creciendo a un ritmo acelerado conforme más redes WAN inalámbricas se ponen en línea y conformen han progresado los adelantos a WiMAX. No obstante, sólo un pequeño

porcentaje de la población del mundo tiene acceso de banda ancha de este tipo. En resumen la tabla presenta una comparativa de WIMAX frente a tecnologías inalámbricas existentes.

Tabla N°1.6. Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas

Tecnología Características	WiMAX 802.16-2004	WiFi 802.11	MBWA 802.20	UMTS y CDMA2000
Velocidad	70 Mbps	11-54 Mbps	16 Mbps	2 Mbps
Cobertura	40-70 Km.	300 m	20 Km.	10 Km.
Licencia	Si/No	No	Si	Si
Ventajas	Velocidad y Alcance	Velocidad y Precio	Velocidad y Movilidad	Rango y Movilidad
Inconvenientes	Interferencias	Bajo alcance	Precio alto	Lento y caro

### 1.18. INTEGRACIÓN DE SERVICIOS A TRAVÉS DE WIMAX

Previo al estudio de demanda desarrollado, es necesario identificar los servicios que vamos a ofrecer a través de la red de comunicaciones. Esto permitirá tener una idea clara al momento de dimensionar la red, ya que se lo hará en función de los requerimientos de cada uno de los servicios antes mencionados.

El principal objetivo del proyecto es integrar los puntos de acceso WiFi existentes en el DMQ a través de un backbone inalámbrico, tal como podemos apreciar en la siguiente Figura 1.24

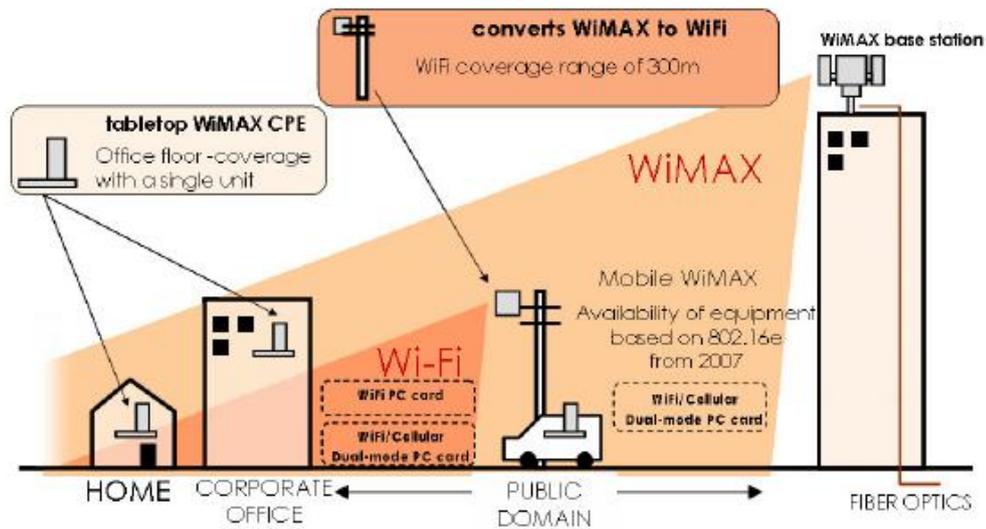


Figura 1.24. Integración WiFi con WiMAX

Además contemplamos otros servicios, que son los siguientes:

Principales:

- ✓ Internet de banda ancha
- ✓ Telefonía fija inalámbrica

Secundarios:

- ✓ Televisión digital
- ✓ Video bajo demanda
- ✓ Video vigilancia

### 1.19. PROVEEDORES DE WIMAX

Este estándar está respaldado por importantes fabricantes de equipos y proveedores de servicios. El WiMAX Fórum está formado por más de 230 miembros entre los que destacan nombres como Intel, Nokia, Siemens, Motorola, Samsung o Fujitsu, y donde no faltan operadores de telefonía como Deutsche Telekom, France Telecom, Telecom Italia o Euskaltel. Intel es el gran impulsor de esta nueva tecnología; ya produce los

primeros chips WiMAX que los fabricantes venderán integrados en sus equipos en años futuros.

Desde la publicación del estándar de banda ancha inalámbrica WiMAX por parte del WiMAX fórum y de IEEE, se ha generado una gran expectativa a nivel mundial por los cambios y el impacto en los negocios en el sector de las telecomunicaciones, tanto desde el punto de vista de los proveedores de servicios, como de parte de los fabricantes de equipos de radio, quienes ven una gran oportunidad de consolidar su liderazgo en el suministro de infraestructura tecnológica en el campo de las telecomunicaciones a nivel Mundial..

La demanda mundial por servicios de banda ancha, está principalmente movida por la necesidad cada vez más creciente, de intercambio eficiente de información para diversas aplicaciones.

En España, probablemente hoy el país de referencia en la implantación de la tecnología de acceso de Banda Ancha Inalámbrica WiMAX, son cuatro los operadores que disponen de licencia para el despliegue de WiMAX: Iberbanda, France Telecom (Auna, Uni2), Neo-Sky y Banda Ancha (antes Aló 2000). El primero de ellos ha venido trabajando con Intel (uno de los principales impulsores de WiMAX mediante el desarrollo de chipset como Rosedale para los fabricantes de equipos).

En el entorno corporativo los primeros pasos se han dado en conversaciones con operadores de cable, muy interesados en dar servicios que hasta la fecha no podían.

La expansión del WiMAX en América Latina, aunque sea aún de forma experimental, está teniendo un eco importante en la región. Por ello, es importante el análisis de esta tecnología atendiendo principalmente a dos cuestiones: las concesiones y el despliegue de redes.

En cuanto a la situación de concesión de licencias, es importante observar la situación por países prestando especial atención a Argentina, Brasil, México, Venezuela y, sobre todo, Colombia y Chile, que dispondrán de cobertura nacional en el corto plazo. Con respecto al

despliegue de redes y oferta comercial, se analiza más detalladamente el panorama incluyendo, además de los anteriores, a países como Paraguay, Costa Rica, El Salvador, Ecuador, República Dominicana, Uruguay y Guatemala.

En la actualidad existen a nivel mundial, 1028 licencias de operación de Banda ancha inalámbrica WiMAX. Norteamérica, es de lejos el líder en la región en términos de número de licencias concedidas, con un total de 404, en comparación con 256 licencias en Europa.

Las compañías que adquirieron bloques de frecuencias en 3.5 GHz, fueron:

- ✓ EMBRATEL (TELMEX)
- ✓ DirectNet (Neovia)
- ✓ Grupo Editorial Sinos
- ✓ Vant (Brasil Telecom)
- ✓ WKVE

En Ecuador Intel ha firmado un acuerdo con la Estación Científica Charles Darwin en las Islas Galápagos para implementar un proyecto piloto de interconexión WiMAX entre las diferentes islas que conforman el archipiélago.

Principales Proveedores de Servicio WiMAX a Nivel Mundial

- ✓ Alvarion
- ✓ ARC Wireless
- ✓ Berkeley Varitronics
- ✓ Pfannenberg, Inc.
- ✓ Tongyu Communication Equipment Co., Ltd
- ✓ Tranzeo Wireless Technologies Inc.
- ✓ WLAN Mall

- ✓ Wavesat
- ✓ Vecima Networks Inc.
- ✓ ZDA Communications

## **1.20. LA INTEROPERABILIDAD DE MÚLTIPLES PROVEEDORES**

Otro aspecto clave de la arquitectura de la red WiMAX es el apoyo de la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes dentro de un ASN y todo ASNs. Esta interoperabilidad incluirá la interoperabilidad entre:

- a) BS y vuelta dentro de un equipo de ASN, y
- b) Diversas ASN elementos (posiblemente de diferentes proveedores) y CSN, con mínima o ninguna degradación en la funcionalidad o capacidad de la ASN.

El estándar IEEE 802,16 define la convergencia de múltiples sub-capas. La arquitectura de la red WiMAX marco compatible con una gran variedad de tipos incluyendo CS: CS Ethernet, IPv4 e IPv6 CS CS.

Partiendo de la descripción anterior, está claro que la especificación de la Interfaz de Aire IEEE 802.16 es muy capaz y al mismo tiempo complejo. Existen los permisos para cierto número de capas físicas para diferentes bandas de frecuencia y reglamentos y regulaciones que van de región a región Existen características las cuales permiten un sistema IP centralizado o un sistema ATM centralizado dependiendo de las necesidades del cliente.

La especificación está diseñada para cubrir la aplicación hacia diversos mercados desde negocios con anchos de banda muy elevados hasta PYMES y usuarios residenciales.

Debido a la cantidad de opciones disponibles, un implementador hace frente a decisiones muy difíciles Para tratar este asunto, WiMAX emprendió el desarrollo de los Perfiles de Sistema.

El propósito de estos perfiles, es especificar cuáles características son obligatorias u opcionales para los varios escenarios MAC o PHY que son los más probables de presentarse en el desarrollo de sistemas reales.

Esto permite a los vendedores crear sistemas para diferentes mercados, los cuales son interoperables entre sí, y al mismo tiempo no requieren la implementación de todas las funciones o características de la tecnología. La Interfaz de Aire IEEE 802.16 es muy capaz y al mismo tiempo compleja. Existen los permisos para cierto número de capas físicas para diferentes bandas de frecuencia y reglamentos y regulaciones que van de región a región Existen características las cuales permiten un sistema IP centralizado o un sistema ATM centralizado dependiendo de las necesidades del cliente.

La especificación está diseñada para cubrir la aplicación hacia diversos mercados desde negocios con anchos de banda muy elevados hasta PYMES y usuarios residenciales

### **1.21. WIMAX EN EL ECUADOR**

La tecnología WIMAX, que ya se vende a los usuarios residenciales, comerciales e industriales, se conoce como "WiMAX ". Con la instalación de tres transmisores en la ciudad los usuarios ya no tendrán que conectarse con cables a los cajetines que se ubican en los postes sino con antenas, en forma inalámbrica. Para acceder al servicio, los clientes deberán contar con equipos que tengan antena incorporada o colocar una en sitios como balcones y techos. El sistema será idéntico a la telefonía móvil. La firma TV Cable espera iniciar sus operaciones y llegar a 4 000 usuarios en la primera fase, para luego crecer a 60 000 usuarios. TV Cable y sus aliadas Setel, Satnet y Suratel ofrecen servicio de telefonía, internet y televisión por cable. Sus principales competidores en Guayaquil son Pacifictel, Ecuador Telecom y Linkotel. Esta tecnología

tiene licencia autorizada y no es de libre uso. Además es un sistema muy avanzado y de bajo costo. En el mercado existen cuatro firmas que utilizan bandas de frecuencia para la tecnología WiMAX: Andinatel, Telecom, TV Cable, y una cuarta que está en pugna entre Pacifictel y Etapatelecom. Se reconoce que el futuro de las telecomunicaciones es el acceso de banda ancha inalámbrico.

Según expertos en telecomunicaciones, este negocio factura cerca de mil millones de dólares en el Ecuador. Según la SupTel los índices de cobertura en internet y telefonía son bajos respecto de otros países de Latinoamérica, como Colombia, Perú y Chile. El Grupo de TV Cable registra más de 30 000 usuarios en las diferentes empresas que ofrecen los servicios de telefonía, televisión por cable y proveedores de internet. El uso del internet tiene un índice del 2 % en Ecuador, y es considerado como el más bajo en Latinoamérica que es de alrededor del 15 %.

### **1.22. COSTOS**

- ✓ Todavía hay muy pocos equipos en el mercado.
- ✓ Los costos de WiMAX punto de acceso mayor a 5000 USD
- ✓ Los costos del usuario mayor 4000USD
- ✓ Los precios de los equipos se estiman que bajarán en los próximos años, igual que el Wifi.

## CAPÍTULO II

### ESTANDARES DE LA TECNOLOGÍA WiMAX.

#### 2.1. MAPA DE ESTÁNDARES INALÁMBRICOS.

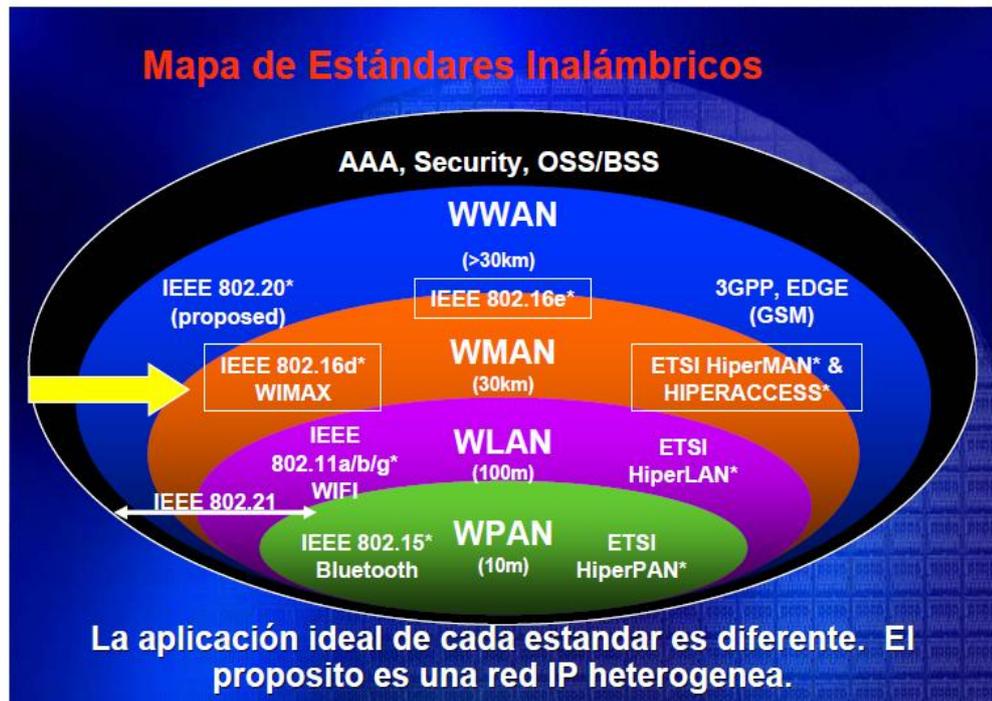


Figura 2.1. Mapa de Estándares Inalámbricos.

De acuerdo a la Figura 2.1 existen para cada tipo de red inalámbrico su respectiva estándar, donde tomaremos como referencia los siguientes estándares para Wimax:

#### a. Estándares

- ✓ Basado en IEEE 802.16-2004
  - Para enlaces fijos punto –multipunto
  - 802.16a - comunicación entre antenas (2-11Ghz)
  - 802.16b – entre 5 y 6 GHz con QoS
  - 802.16c – entre 10 y 66 GHz

- ✓ Basado en IEEE 802.16e  
Para dispositivos clientes móviles

En la Figura 2.2, podemos observar que de acuerdo a la aplicabilidad de la tecnología Wimax tiene su estándar como para acceso el 802.16 – 2004, para zonas metropolitanas y movilidad el 802.16.e.



Figura 2.2. Visión de Intel para Wimax.

## 2.2. ESTANDARIZACIÓN DESCRIPCIÓN DEL IEEE 802.16

### 2.2.1. INTRODUCCIÓN

El Grupo de Trabajo IEEE 802.16 ha desarrollado el estándar de acceso inalámbrico de banda ancha punto-a-multipunto para sistemas en los rangos de frecuencia de 10-66 GHz y el sub 11 GHz Dicho estándar cubre el control de acceso al medio (MAC) y las capas físicas (PHY).

Se tomaron las consideraciones necesarias para las PHY del entorno objetivo. Entre más altas sean las frecuencias, la línea de vista es obligatoria. Este requisito facilita el efecto del multipath (multidireccional),

permitiendo el uso de canales más anchos, típicamente mayores que MHz en ancho de banda. Esto le da la habilidad al IEEE 802.16 de proveer enlaces de alta capacidad en el uplink y downlink. Para el sub 11 GHz, se requiere la capacidad de funcionar sin línea de vista.

A pesar de que el proyecto para la creación de un nuevo estándar se gestó hace 6 años en el IEEE, no fue hasta abril de 2002 que la primera versión del mismo, la 802.16, se publicó, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor, pensada para cubrir la "última milla" (o la primera, según desde que lado se mire), utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz.

Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMAX, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. También se pensó para enlaces fijos, pero llega a extender el rango alcanzado desde 40 a 70 kilómetros, operando en la banda de 2 a 11 GHz, parte del cual es de uso común y no requiere licencia para su operación. Es válido para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para redes en malla, y no requiere línea de visión directa. Emplea las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que 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 disponer de licencia alguna.

Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (*Media Access Layer*) que soporta múltiples enlaces físicos (PHY). Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso. Pero WiMAX también tiene competidores, y así una alternativa es el estándar Hiperaccess (>11 GHz) e HiperMAN (<11 GHz) del ETSI, pero el auge que está tomando WiMAX ha hecho que se esté estudiando la posibilidad de armonizarlo con esta última norma, que también utiliza una modulación

OFDM. Sin olvidarnos de Mobile-Fi, el estándar 802.20 del IEEE, específicamente diseñado desde el principio para manejar tráfico IP nativo para un acceso móvil de banda ancha, que provee velocidad entre 1 y 16 Mbit/s, sobre distancias de hasta 15 o 20 km, utilizando frecuencias por debajo de la banda de 3,5 GHz.

Actualmente se recogen dentro del estándar 802.16, existen dos variantes:

**a. Acceso fijo**, (802.16d), en el que se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo de usuario situado en el domicilio del usuario, Para el entorno fijo, las velocidades teóricas máximas que se pueden obtener son de 70 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz. Sin embargo, en entornos reales se han conseguido velocidades de 20 Mbps con radios de célula de hasta 6 Km, ancho de banda que es compartido por todos los usuarios de la célula.

**b.Movilidad completa** (802.16e), que permite el desplazamiento del usuario de un modo similar al que se puede dar en GSM/UMTS, el móvil, aun no se encuentra desarrollado y actualmente compite con las tecnologías LTE, (basadas en femtocélulas, conectadas mediante cable), por ser la alternativa para las operadoras de telecomunicaciones que apuestan por los servicios en movilidad, este estándar, en su variante "no licenciado", compite con el WiFi IEEE 802.11n, ya que la mayoría de los portátiles y dispositivos móviles, empiezan a estar dotados de este tipo de conectividad (principalmente de la firma Intel).

### **2.2.2. ESTÁNDARES 802.16x**

La tabla 2.1 contempla los estándares IEEE 802.16x, todas sus revisiones y características de cada uno.

Tabla 2.1. Resumen de los estándares 802.16

<b>ESTANDAR</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
<b>802.16(2001)</b>	10 – 60 GHz, Modulación QAM, LOS
<b>802.1 6a(2003)</b>	2 – 11 GHz, OFDM y OFDMA, NLOS
<b>802.1 6b/c</b>	Interoperabilidad y especificaciones de certificaciones
<b>802.1 6d(2004)</b>	Añade 2 – 11 GHz a la especificación de interoperabilidad,
<b>802.16-2004</b>	Reemplaza a 802.16, 802.1 6a y 802.1 6d
<b>802.1 6e(2005)</b>	2 – 6 GHz, Movilidad

### **2.2.3. IEEE 802.16-2004**

IEEE 802.16-2004 es una tecnología reciente de acceso inalámbrico fijo, lo que significa que está diseñada para servir como una tecnología de reemplazo del DSL inalámbrico, para competir con los proveedores de cable de banda ancha o DSL, o para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en áreas subabastecidas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso; los ejemplos incluyen a países en desarrollo y áreas rurales en países desarrollados donde el cable de cobre no tiene un sentido económico.

El 802.16-2004 también es una solución viable para el backhaul inalámbrico para puntos de acceso Wi-Fi o potencialmente para redes celulares, en particular si se usa el espectro que requiere licencia. Finalmente, en ciertas configuraciones, Wi-MAX Fijo puede usarse para proveer mayores velocidades de datos y, por lo tanto, puede usarse como una opción de reemplazo de T-1 para abonados corporativos de alto valor.

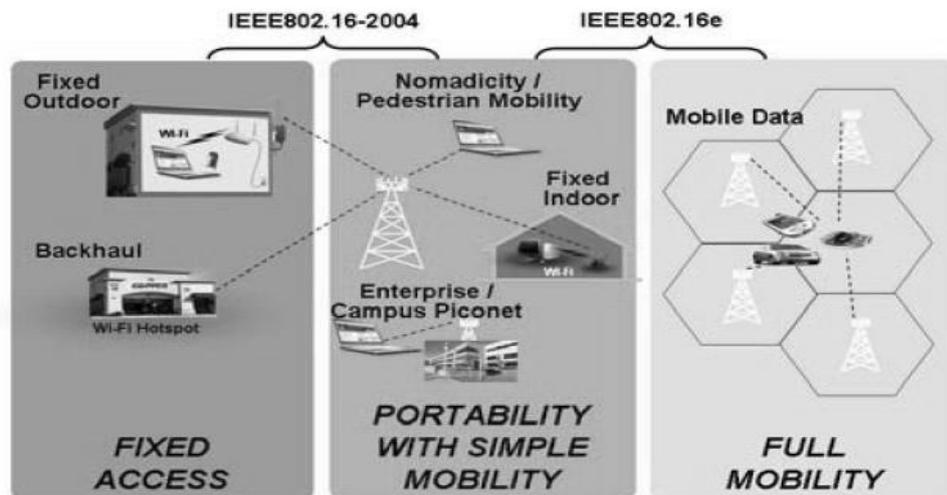


Figura 2.3. Estándar IEEE 802.16 – 2004 y IEEE 802.16e

#### 2.2.4. IEEE 802.16e

IEEE 802.16e aún es un estándar no publicado que está diseñado para ofrecer una característica clave de la que carece el 802.16-2004: portabilidad y, con el tiempo, movilidad a toda escala. Este estándar requiere una nueva solución de hardware/software ya que no es compatible con el anterior 802.16-2004, lo cual no es necesariamente algo bueno para los operadores que están planeando desplegar el .16-2004 y luego ascender al 16e. El estándar .16e, por otro lado, trata de incorporar una amplia variedad de tecnologías propuestas, algunas más comprobadas que las otras. En virtud de que sólo ha habido una sola justificación modesta de características propuestas, sobre la base de datos de rendimiento, y la composición final de estas tecnologías no ha sido determinada por completo, es difícil saber si una característica en particular mejorará el rendimiento.

### **2.2.5. WiBro (Wireless Broadband)**

WiBro (Wireless Broadband – Banda Ancha Inalámbrica). WiBro es una iniciativa de Corea del Sur y una oportunidad para que el país establezca una tecnología inalámbrica local, algo parecido a lo que los chinos están haciendo con TD-SCDMA. WiBro ahora probablemente será incluido en el proyecto general del.16e, haciendo así otro perfil potencial de Wi-MAX.

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

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

No está del todo claro cómo Wi-MAX/WiBro evolucionarán, pero es previsible que la tecnología primero tratará de incorporar características portátiles limitadas y luego, según la demanda de los clientes, los avances de la tecnología y la economía subyacente de una solución inherentemente más cara, se desplazará más hacia una “movilidad ininterrumpida”, término que Motorola fue el primero en acuñar.

### 2.3. TABLA COMPARATIVA ESTÁNDARES WIMAX

	802.16	802.16a	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 802.16a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
Anchos de banda	20, 25 y 28 MHz	Seleccionables entre 1,25 y 20 MHz	Igual que 802.16a 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.

Tabla 2.2. Tabla comparativa de Estándares WIMAX

## **CAPÍTULO III**

### **PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA WIMAX**

#### **3. 1. ANTECEDENTES**

Durante muchos años los sistemas de banda ancha inalámbricos han estado basados en tecnologías propietarias de las compañías que los instalaban, tenían un rendimiento limitado y en muchos casos eran demasiado caros para ser colocados de manera masiva; razones por las cuales se gesta el estándar WiMAX para acceso inalámbrico a Internet.

El proyecto para la creación del nuevo estándar WIMAX, se gestó hace 6 años en el IEEE, no fue hasta abril de 2002 que la primera versión del mismo, la 802.16, se publicó, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor, pensada para cubrir la "última milla", utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz. Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMAX, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. También se pensó para enlaces fijos, pero llega a extender el rango alcanzado desde 40 a 70 kilómetros, operando en la banda de 2 a 11 GHz, parte de la cual, es de uso común y no requiere licencia para su operación. El abanico de posibilidades está abierto para que entren a participar, los operadores legalmente constituídos y habilitados que se hallan principalmente en etapa de pruebas, ofreciendo planes cada vez más competitivos, más asequibles al mercado Ecuatoriano y con la creación de nuevas propuestas de valor agregado principalmente en servicios como: telemetría, televisión, y voz entre otros WiMAX, es considerado hoy en día, como el futuro de las redes WiFi; es el nombre comercial del estándar 802.16, un protocolo de transmisión de datos

inalámbrico que va un paso más allá de WiFi. WiMAX promete una velocidad de 70 megabits por segundo (siete veces el ancho de banda de WiFi), cubriendo un área de hasta 50 kilómetros a la redonda, frente a los 300 metros de WiFi. Es decir, WiMAX será a una ciudad entera lo que WiFi es para los hogares: conexión a Internet a alta velocidad sin cables. El estándar 802.16 está respaldado por importantes fabricantes de equipos y proveedores de servicios; como<sup>1</sup>: Intel, Nokia, Siemens, Motorola, Samsung o Fujitsu, y otros operadores de telefonía como Deutsche Telekom, France Telecom, Telecom Italia o Euskaltel. Intel es el gran impulsor de esta nueva tecnología; ya produce los primeros chips WiMAX que los fabricantes venderán integrados en sus equipos en años futuros. WiMAX es válido emplearse para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para redes en malla, y no requiere línea de visión directa. Emplea las bandas de 3,5 GHz y 10,5 GHz, válidas internacionalmente, que 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 disponer de licencia alguna.

Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (Media Access Layer) que soporta múltiples enlaces físicos (PHY). Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso. Pero WiMAX también tiene competidores, y así una alternativa es el estándar Hiperaccess (>11 GHz) e HiperMAN (<11 GHz) del ETSI, pero el auge que está tomando WiMAX ha hecho que se esté estudiando la posibilidad de armonizarlo con esta última norma, que también utiliza una modulación OFDM.

### **3.1.1. PUNTOS DE COBERTURA DEL DISEÑO PROPUESTO**

#### **UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

Los puntos donde se establecerán los equipos; para lograr la cobertura entre la ESPE, la Brigada Patria y el Aeropuerto, se detallan a continuación:

##### **a. ESPE Extensión Latacunga**

Se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, en la zona central del país. (Coordenadas Latitud: 00°56'9.64", Longitud: 78°36'46.23" y Elevación: 2771m)

##### **b. Brigada Patria**

Se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, en la Panamericana Norte km12. (Coordenadas Latitud: 00°50'7.06", Longitud: 78°40'6.41" y Elevación: 2975m)

##### **c. Aeropuerto**

Se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, en Km 35, Bellavista, Ecuador. (Coordenadas Latitud: 00°55'2.6", Longitud: 78°37'7.08" y Elevación: 2777m)

### **3.2. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INTERNETWORKING**

#### **3.2.1. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE USUARIOS:**

Sobre la base del recurso humano, y las necesidades de cada usuario, se establece la siguiente tabla de requerimientos.

Tabla 3.1. Requerimientos del sistema Internetworking

<b>REQUERIMIENTOS DEL USUARIO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Localización (es) y número (s) de usuarios	Brigada Patria - 120 Administrativos  ESPE-LATACUNGA - 60 Administrativos - 300 Usuarios  Aeropuerto - 100 Administrativos
<b>Crecimiento esperado en el número de usuarios</b>	
Después de un año	1 % de usuarios
Después de dos años	5 % de usuarios
<b>Expectativas del usuario</b>	
Interactividad	Los usuarios esperan un comportamiento de la red excelente que les permita tener disponibilidad de los servicios de forma rápida e ininterrumpida.
Fiabilidad	Para las aplicaciones de VoIP y VideoIP deberá ser del 99,9 % en una sesión de la aplicación
Calidad	La red deberá tener alta calidad en la transmisión de datos, dando prioridad a las aplicaciones de voz y video
Flexibilidad	La red deberá adaptarse fácilmente a los cambios de ubicación de usuarios.
Seguridad	La red deberá contar con un alto grado de seguridad, para evitar congestiones en la red

De acuerdo a los requerimientos se puede detallar:

- ✓ Las instituciones requieren de equipos de conectividad LAN para 300 usuarios, 280 Administrativos, distribuidos de la siguiente forma: En el aeropuerto 100 Administrativos, en la Escuela

Politécnica del Ejército 300 Usuarios y 60 Administrativos, la Brigada Patria 120 Administrativos.

- ✓ La ESPE se encuentra a una distancia de 30Km de la brigada patria
- ✓ La ESPE está distanciada a 5km del aeropuerto.
- ✓ Los servidores de VoIP, VideoIP y SAN estarán ubicados en el aeropuerto.
- ✓ Cada institución estará provista de un servidor Mail.
- ✓ El servicio Web será provisto para todas las instituciones desde el aeropuerto.
- ✓ El aeropuerto estará dotado de 1 sala de Video Conferencia, la brigada patria de 2 salas de video conferencia, y la ESPE constara de 3 salas de video conferencia en 3 de sus facultades.
- ✓ Se debe considerar el diseño de la red de Backbone en fibra óptica dejando el diseño del cableado estructurado de cada institución a los directivos de las mismas.

### **3.2.2. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE LAS APLICACIONES**

- ✓ **Aplicación A: Servicio de VideoIP**, Aplicación de misión crítica, el video se digitaliza en paquetes IP. Se consideró la naturaleza sensible de esta aplicación para establecer una red independiente y dedicada para éste tipo de tráfico. Se ha estimado el envío de 20 flujos de video de 512 Kbps simultáneos entre los nodos de la red.
- ✓ **Aplicación B: Servicio de VoIP**, Aplicación de misión crítica, la voz se digitaliza en paquetes IP. Se consideró la naturaleza sensible de esta aplicación para establecer QoS. Se ha estimado el envío promedio de 100 flujos de audio de 56 Kbps simultáneos entre los nodos del backbone.

- ✓ **Aplicación C: Sistema de Storage Área Network (SAN),** Aplicación de Best-effort, ambiente Cliente/Servidor. Flujo de tráfico asimétrico. Se ejecuta sobre TCP/IP. Tamaño promedio de los datos de 20 MB, número de usuarios simultáneos 500; tiempo de transferencia esperado de hasta 2 minutos, para almacenamiento y respaldo de la información.
  
- ✓ **Aplicación D: Servicio WEB,** Aplicación de Best-effort, ambiente Cliente/Servidor, tráfico bidireccional y asimétrico. Consumo de capacidad de 32 Kbps por cada sesión. Número de usuarios simultáneos proyectados: 400. Número promedio de sesiones abiertas por usuario: 5.
  
- ✓ **Aplicación E: Servicio e-mail,** Aplicación de Best-effort, tráfico bidireccional utiliza el protocolo SMTP. Tamaño promedio total de los datos de 512 KB, número de usuarios simultáneos 150; tiempo de transferencia esperado de hasta 1 minuto.

### 3.2.2.1. RESUMEN DE LAS APLICACIONES:

Tabla 3.2. Categorización de las aplicaciones.

<b>Categorizando aplicaciones</b>	Misión crítica	Controlled-rate	Tiempo real	Best-effort
Aplicación A	X			
Aplicación B	X			
Aplicación C				X
Aplicación D				X
Aplicación E				X

### 3.2.2.2. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE HOST

Tabla 3.3. Requerimientos de los host

<b>Tipos de Host o Equipos</b>	<b>Cantidad / localizaciones</b>
<b>Estaciones de Trabajo (PCs)</b>	780 / Usuarios
<b>Terminales de telefonía IP</b>	280 / Administrativos
<b>Servidor Aplicación A</b>	1 / aeropuerto
<b>Servidor Aplicación B</b>	1 / aeropuerto
<b>Servidor Aplicación C</b>	1 / aeropuerto
<b>Central Aplicación D</b>	1 / aeropuerto
<b>Servidor Aplicación E</b>	2/ instituciones (Brigada – Patria y Aeropuerto) ESPEL tiene el punto de acceso

### 3.2.2.2. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE RED

Realizado el análisis preliminar de los requerimientos de los nodos se ha visto en la necesidad de tomar en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ Brindar el ancho de banda suficiente para cada usuario final dependiente de las aplicaciones que cada uno utilice.
- ✓ Diseño de la red jerárquico.
- ✓ Factibilidad para que los costos de administración de las operaciones de la red sean bajos.
- ✓ Facilidad de configuración de los equipos de networking.
- ✓ Proveer escalabilidad, control de tráfico, y alta seguridad.
- ✓ Proporcionar soporte integrado para agentes de monitoreo.
- ✓ Proveer calidad de servicios (QoS).

### 3.2.3. DISTRIBUCIÓN Y MODELO DEL FLUJO

Tabla 3.4. Distribucion de los fujos de datos de acuerdo a la Aplicación

APLICACIÓN	ID. FLUJO	MODELO DE FLUJO	DISTRIBUCIÓN DE FLUJO
A	Fa	Cliente/Servidor	20/80 (local/remoto)
B	Fb	Cliente/Servidor	20/80 (local/remoto)
C	Fc	Cliente/Servidor	40/60 (local/remoto)
D	Fd	Cliente/Servidor	20/80 (local/remoto)
E	Fe	Cliente/Servidor	40/60 (local/remoto)

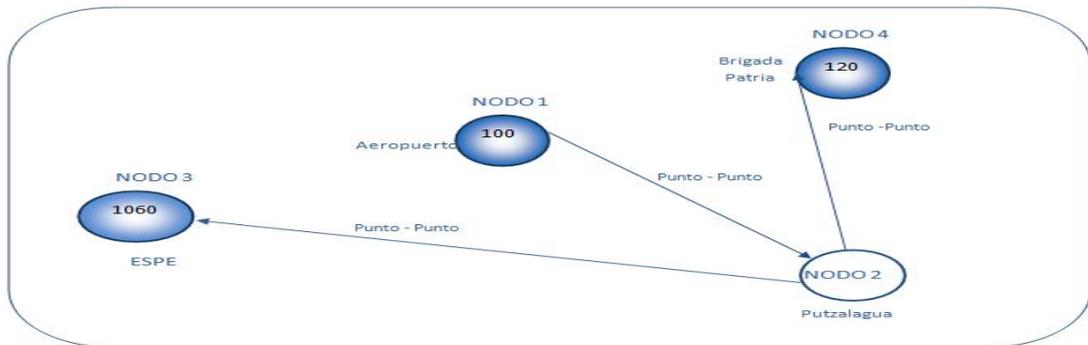


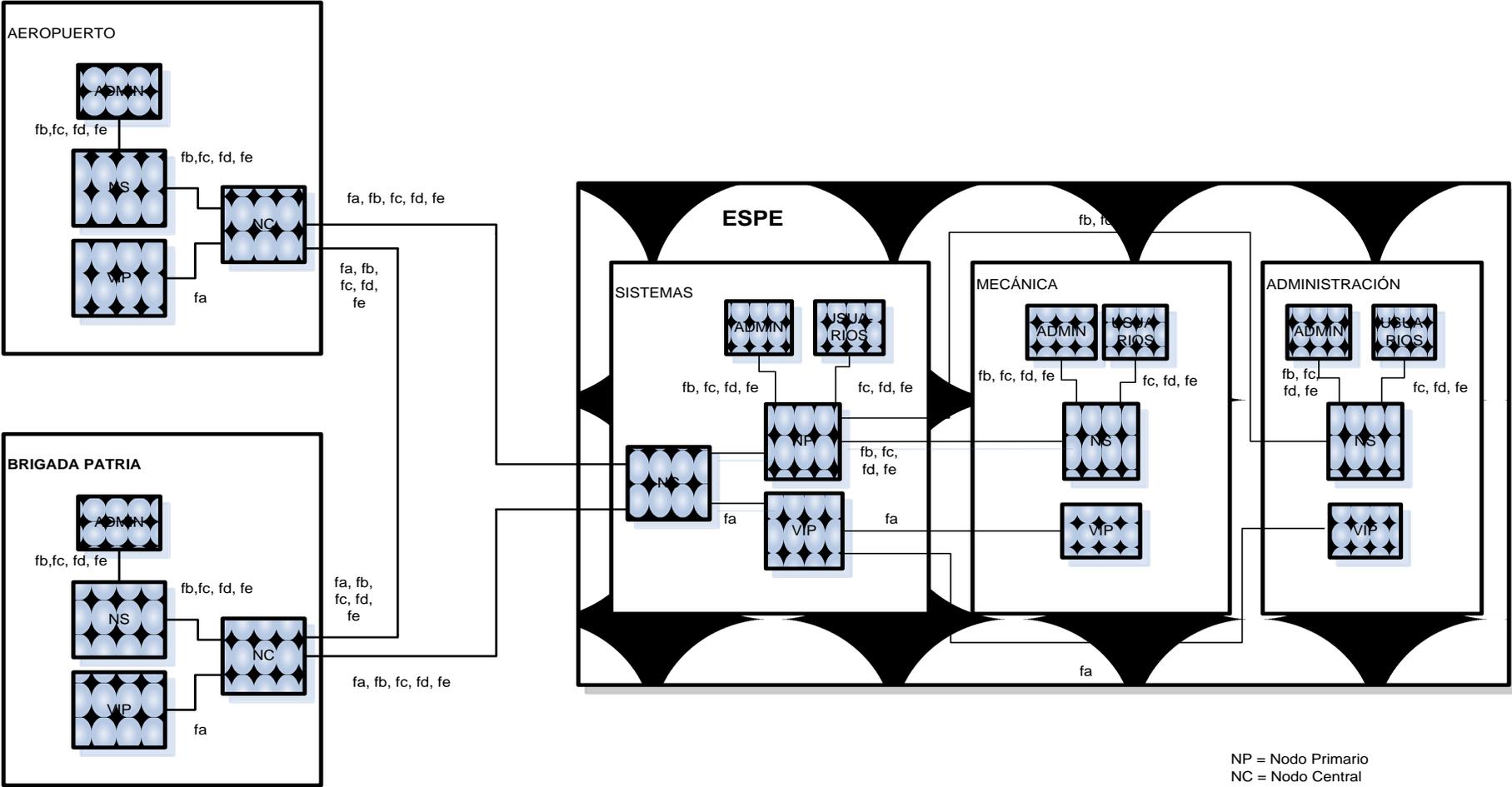
Figura 3.1. Modelo de Flujo de la Red

Se tiene enlaces punto a punto, con una topología tipo estrella, el nodo principal está ubicado en el aeropuerto, en donde se encuentra el router de borde para la conexión con el ISP, este nodo se conecta hacia el nodo 2 donde se encuentra un repetidor para poder distribuir el servicio hacia los de mas nodos, como se puede observar en la figura 3.1 y su distribución en la figura 3.4. del siguiente subcapítulo.

### 3.3 ANÁLISIS DE FLUJO DE DATOS

En este ítem, se analiza cómo se distribuye el flujo de los datos a través de la red diseñada; entre los diferentes puntos de cobertura. (Ver figura 3.2)

### 3.3.1. DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO



NP = Nodo Primario  
 NC = Nodo Central  
 NS = Nodo Secundario  
 VIP = Video IP

Figura 3.2. Flujo de la Red

### 3.3.2. SIMULACION DEL DIAGRAMA FISICO DE LA RED

En la Figura 3.3, se puede observar la simulación del esquema de la red y el recorrido de los datos entre todos los nodos; para lo cual se empleó el software de Simulación Packet Racer V5.0; todas las relaciones se establecen con los enlaces punto – multipunto empleando la tecnología Wimax; para lo cual a continuación se va a realizar el estudio y el análisis de cada uno de los radioenlaces, aquí presentados.

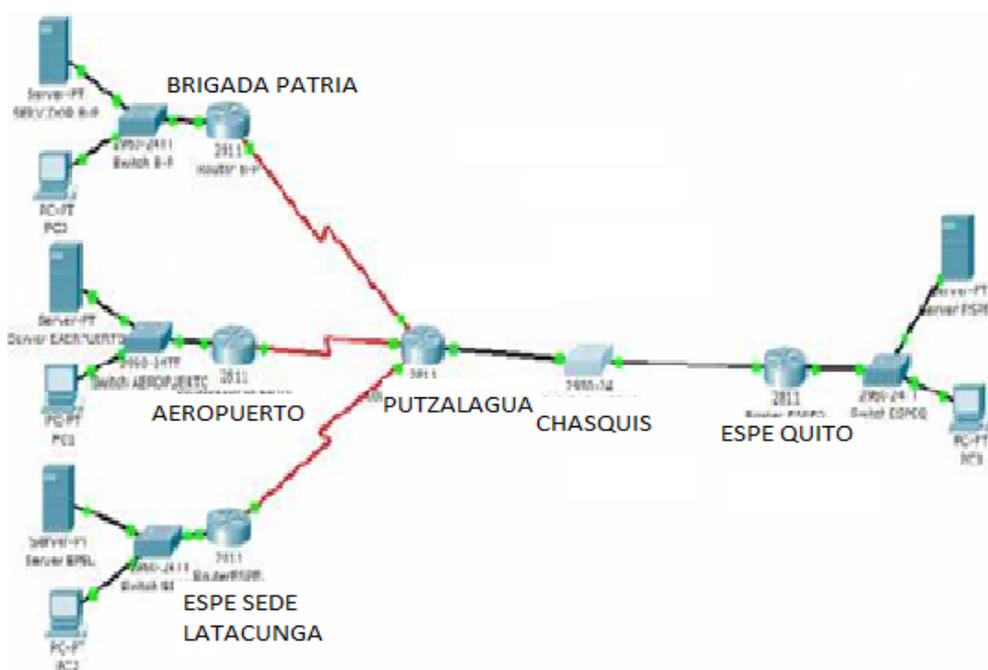


Figura 3.3. Diagrama Físico de la Red

### 3.4. RADIO ENLACES

Es una interconexión entre dos o más equipos de comunicaciones de RF, que para este proyecto son los terminales de telecomunicaciones; esta conexión se efectúa por medio de la recepción y envío de ondas electromagnéticas; que una vez que son capturadas por las antenas, se transforman en señales de corriente y voltaje. Si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se lo denomina dentro de los servicios de esas características. Se puede definir al radio enlace del servicio fijo, como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Los enlaces se hacen básicamente entre puntos

visibles, es decir, puntos altos de la topografía. En este trabajo se realiza el estudio de un radio enlace, para que se pueda brindar servicio de transmisión de datos entre diferentes instituciones; en este enlace se tiene una conexión punto - multipunto entre Putzalagua y las diferentes instituciones como son Brigada Patria, ESPE Extensión Latacunga y el Aeropuerto, como se indica en la figura 3.4

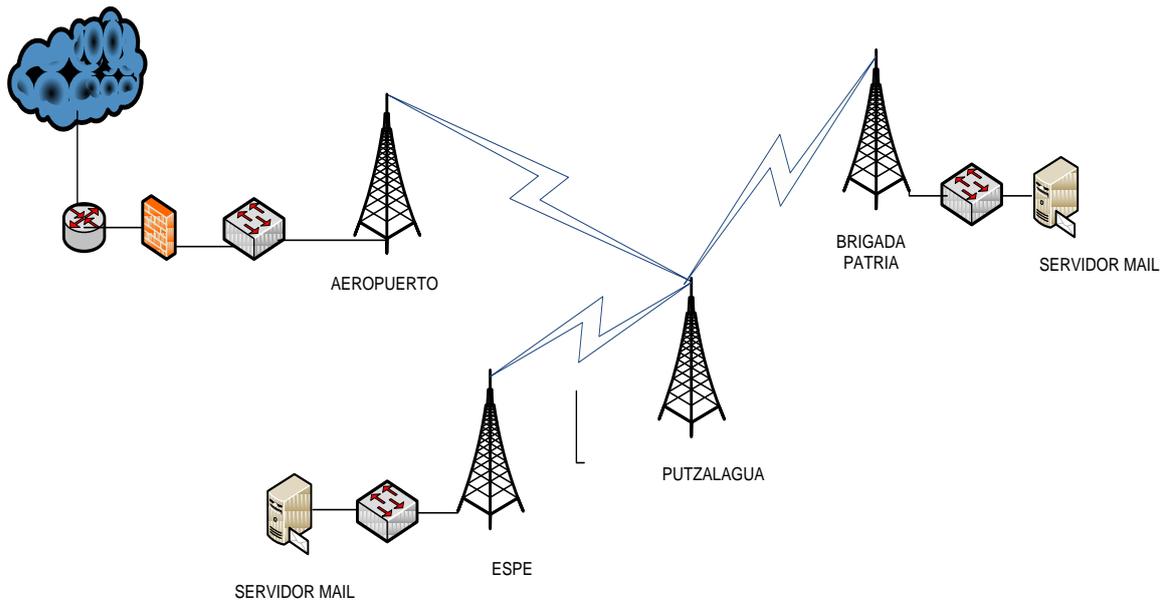


Figura 3.4 Enlaces de la Red de comunicaciones entre la ESPEL, la Brigada Patria y el Aeropuerto

### a. PUNTOS A INTERCONECTAR

En la tabla 3.5.se indican las coordenadas de latitud, longitud y elevación de los puntos y enlaces a conectarse; se tiene un enlace PUNTO – MULTIPUNTO donde se conecta la ESPE – Latacunga, con el Aeropuerto y la Brigada Patria como se puede observar en la figura 3.5.

Tabla 3.5. Coordenadas de los puntos a enlazar

CERRO	COORDENADAS		
	Latitud	Longitud	Elevación
Putzalagua	00°57'56.00"	78°33'42.70"	3531
Cerro Aeropuerto	00°57'11.00"	78°39'32.00"	2928
Cerro Brigada Patria	00°56'56.00"	78°40'15.00"	2932
Aeropuerto	00°55'2.6"	78°37'7.08"	2777
Brigada Patria	00°50'7.06"	78°40'6.41"	2975
ESPE sede Latacunga	00°56'9.64"	78°36'46.23"	2771

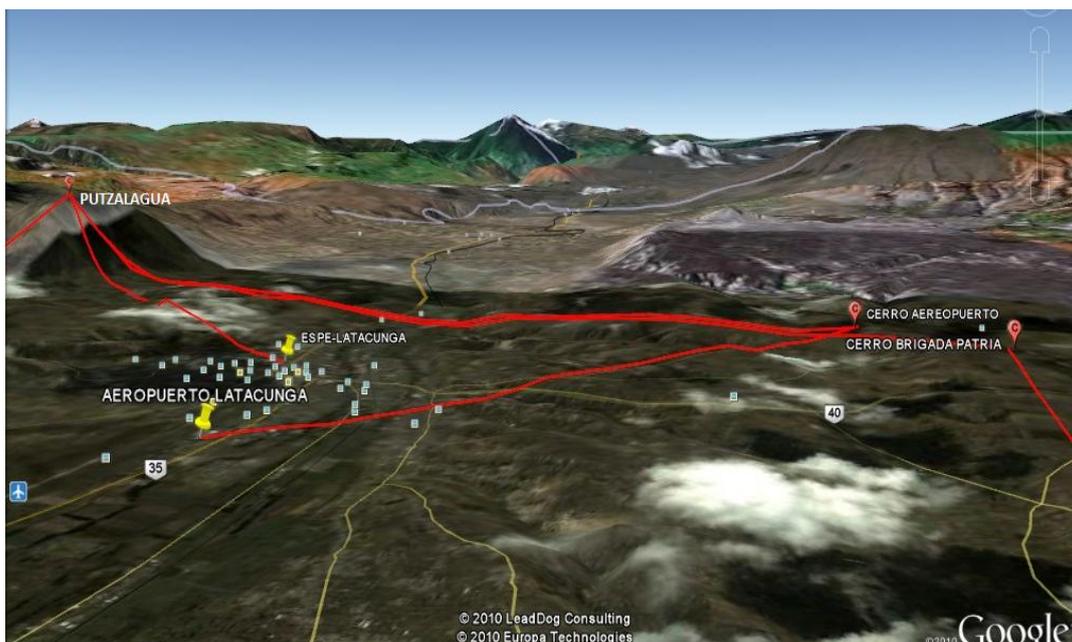


Figura 3.5. Mapa de los puntos a enlazar PUTZALAGUA- ESPE-AEROPUERTO Y BRIGADA PATRIA

### 3.4.1. CARACTERISTICAS DE LOS ENLACES Y EQUIPOS

#### 3.4.1.1. ENLACE PUTZALAGUA- ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

Empleando Antena Grilla de 27 dBi; y el software RADIO MOVILE, se obtuvieron las siguientes características:

- ✓ La distancia del enlace entre ESPE EXTENSION LATACUNGA y PUTZALAGUA es 18,53 km
- ✓ Azimut = 271,72°
- ✓ Angulo de elevación = 0,419°
- ✓ El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 3,2 F1
- ✓ La frecuencia promedio es 2400 MHz
- ✓ La pérdida de propagación total es 141,6 dB

En la figura 3.6, se puede observar el perfil topográfico, la zona de fresnel, la distancia y las pérdidas en el enlace. Posteriormente se comprueba estos resultados con los datos cálculos.

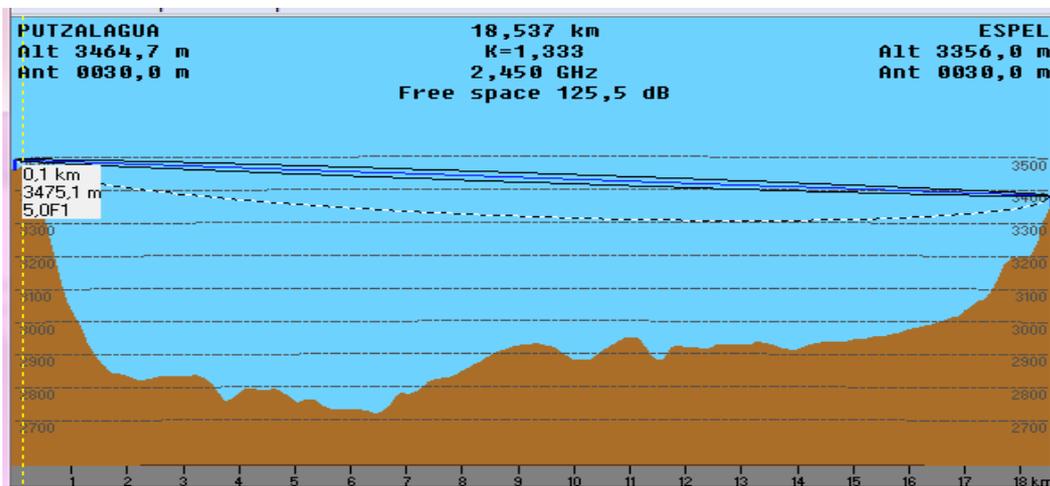


Figura 3.6. Enlace PUTZALAGUA-ESPE SEDE LATACUNGA

### 3.4.1.1.1. CÁLCULOS DEL RADIOENLACE

#### RUTA 1: ENLACE PUTZALAGUA- ESPE SEDE LATACUNGA

##### a. CÁLCULOS

**DATOS:**

f=2.4GHz

Altura de Torre: 30m

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ (m/seg)}}{2.4 \text{ (GHz)}}$$

$$\lambda = 0.125 \text{ m}$$

## b. CARACTERÍSTICAS DE LOS REPETIDORES TSUNAMI 5054R

$$PTX = 30w$$

$$PTX_{dB} = 10\log PTX$$

$$PTX_{dB} = 10\log 30w = 14.77 dB$$

$$GTX = 45dBm$$

## c. ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

$$\alpha_{el} (dB) = -32.44 - 20\log f[\text{MHz}] - 20\log D1[\text{Km}]$$

$$\alpha_{el} = -125.39(dB)$$

## d. INTENSIDAD DEL CAMPO RECIBIDO

$$E_o(dB\mu) = 74.7 + PTX(dB) + GTX(dB) - 20\log D1(\text{Km})$$

$$E_o(dB\mu) = 74.7 + 14.77 + 15 - 20\log 18.51$$

$$E_o(dB\mu) = 79.12(dB)$$

$$E_o(dB\mu) = 79.12 - 60 = 19.12 dB$$

$$E_o = \text{anti log} \frac{19.12}{20} = 9.04 \frac{v}{m}$$

## e. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN

Donde:

$\gamma$  = coeficiente de absorción.

$$\checkmark \gamma \text{ Lluvia} = 0.05 \frac{dB}{km}$$

$$\checkmark \gamma \text{ Neblina} = 0.032 \frac{dB}{km}$$

De las alturas obtenidas de las cartas topográficas, se deduce que tipo de atenuación puede producirse:

$$\alpha_T = \alpha_{TX} + \alpha_{RX} + \alpha_{abs}$$

$$\alpha_{abs} = \alpha_{lluvia} + \alpha_{neblina}$$

$$\alpha_{abs} = \gamma_{lluvia} (r2 - r1) + \gamma_{neblina} (r2 - r1)$$

### f. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DEL ENLACE.

$$\alpha_{abs} = 0.05 \times (18.51)$$

$$\alpha_{abs} = 0.93(dB)$$

$$\alpha_T = 2 + 0.05 + 0.93$$

$$\alpha_T = 2.98(dB)$$

### g. POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL ENLACE

$$P_{RX}(dB) = P_{TX}(dB) + G_{TX}(dB) + G_{RX}(dB) - \alpha_{el}(dB) - \alpha_T$$

$$P_{RX}(dB) = 14.77 + 15 + 15 - 125.39 - 2.98$$

$$P_{RX}(dB) = -83.6(dB)$$

$$P_{RX} = \text{anti log} \frac{-83.6}{10}$$

$$P_{RX} = 4.36\eta w$$

### h. UMBRAL DE RECEPCIÓN

$$U_{RX} = -203.98 + 10 \log B(\text{Hz}) + 3 + 10 + F$$

- ✓ B = 20Mhz
- ✓ F = Factor de ruido de RX

$$U_{RX} = -203.98 + 10 \log 20\text{MHz} + 3 + 10 - 40$$

$$U_{RX} = -157.96(dB)$$

### i. MARGEN DE DESVANECIMIENTO DEL ENLACE.

$$M_D = P_{RX} - U_{RX}$$

$$M_D = (-83.6 + 157.96)$$

$$M_D = 74.36dB$$

Tabla 3.6. Tabla de confiabilidad del sistema

Tabla de Confiabilidad	
Confiabilidad %	M.D. dB
90	10
99	20
99.9	30
99.99	40

Observamos que de acuerdo a la tabla 3.6, el sistema es confiable en un 99.999% y no va a tener fallas teóricamente 365 días al año.

### 3.4.1.2. CUADRO RESUMEN DEL ENLACE PUTZALAGUA-ESPE SEDE LATACUNGA

Tabla 3.7. Datos del enlace PUTZALAGUA-ESPE SEDE LATACUNGA

DESCRIPCION	ESPE Extensión LATACUNGA	PUTZALAGUA
Elevación (msnm)	2771	3531
Latitud	00°56'9.64"S	00°57'56.00"S
Longitud	78°36'46.23"O	78°33'42.70"O
Tipo de Antena	Directiva	Directiva
Altura de Antena	30	30
Ganancia de la Antena (dBi)	12	12
Longitud de Línea de Tx (m)	30	0
Perdida en Línea de Tx (dB/100m)	3	3
Perdidas Misceláneas (dB)	1.50	1.50
Frecuencia (MHz)	785- 790	785- 790
Polarización	Vertical	Vertical

### 3.4.2. RUTA 2: ENLACE PUTZALAGUA- BRIGADA

Empleando Antena Grilla de 27 dBi; y el software RADIO MOVILE, se obtuvieron las siguientes características:

- ✓ La distancia del enlace entre PUTZALAGUA a BRIGADA PATRIA es 17,79 km

- ✓ Azimut = 328,25°
- ✓ Angulo de elevación = 1,876°
- ✓ El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,2F1 a
- ✓ La frecuencia promedio es 2400 MHz
- ✓ Valor mínimo de potencia es de 32,9 dB

En la figura 3.7, se puede observar el perfil topográfico, la zona de fresnel, la distancia y las pérdidas en el enlace. Posteriormente se comprueban estos resultados.

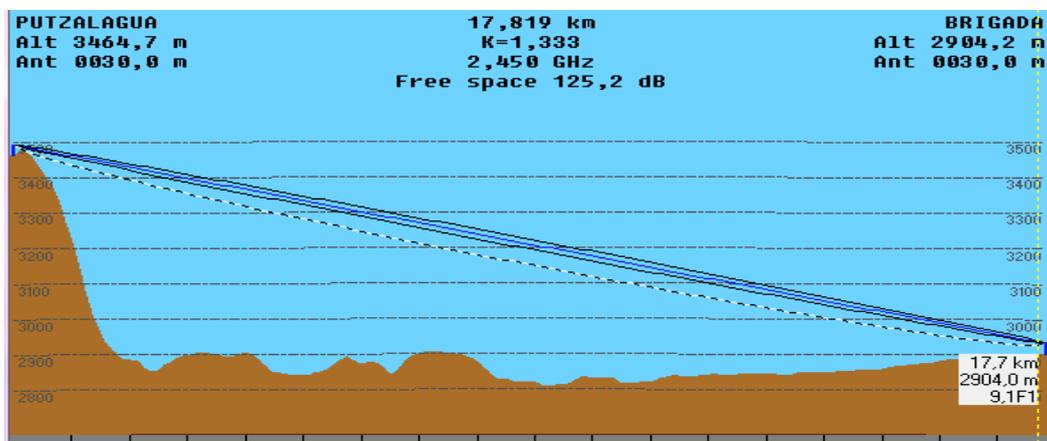


Figura 3.7. Enlace PUTZALAGUA-BRIGADA PATRIA.

### 3.4.2.1. CÁLCULOS DEL RADIOENLACE

#### a. CÁLCULOS

**DATOS:**

f=2.4GHz

Altura de Torre: 30m

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 (m/seg)}{2.4 (GHz)}$$

$$\lambda = 0.125m$$

## **b. CARACTERÍSTICAS DE LOS REPETIDORES TSUNAMI 5054R**

$$PTX = 30w$$

$$PTX_{dB} = 10 \log PTX$$

$$PTX_{dB} = 10 \log 30w = 14.77 dB$$

$$GTX = 45 dBm$$

## **c. ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE**

$$\alpha_{el} (dB) = -32.44 - 20 \log f [MHz] - 20 \log D1 [Km]$$

$$\alpha_{el} = -125.05 (dB)$$

## **d. INTENSIDAD DEL CAMPO RECIBIDO**

$$E_o (dB\mu) = 74.7 + PTX (dB) + GTX (dB) - 20 \log D1 (Km)$$

$$E_o (dB\mu) = 74.7 + 14.77 + 15 - 20 \log 17.79$$

$$E_o (dB\mu) = 79.47 (dB)$$

$$E_o (dB\mu) = 79.47 - 60 = 19.47 dB$$

$$E_o = \text{anti log} \frac{19.47}{20} = 9.41 \frac{v}{m}$$

## **e. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DEL ENLACE.**

$$\alpha_{abs} = 0.05 \times (17.79)$$

$$\alpha_{abs} = 0.89 (dB)$$

$$\alpha_T = 2 + 0.05 + 0.89$$

$$\alpha_T = 2.94 (dB)$$

## **f. POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL ENLACE**

$$P_{RX} (dB) = P_{TX} (dB) + G_{TX} (dB) + G_{RX} (dB) - \alpha_{el} (dB) - \alpha_T$$

$$P_{RX} (dB) = 14.77 + 15 + 15 - 125.05 - 2.94$$

$$P_{RX} (dB) = -83.22 (dB)$$

$$P_{RX} = \text{anti log} \frac{-83.22}{10}$$

$$P_{RX} = 4.76 \eta w$$

### g. UMBRAL DE RECEPCIÓN

$$U_{RX} = -203.98 + 10 \log B(\text{Hz}) + 3 + 10 + F$$

$$U_{RX} = -203.98 + 10 \log 20\text{MHz} + 3 + 10 - 40$$

$$U_{RX} = -157.96(\text{dB})$$

### h. MARGEN DE DESVANECIMIENTO DEL ENLACE.

$$M_D = P_{RX} - U_{RX}$$

$$M_D = (-83.22 + 157.96)$$

$$M_D = 74.74\text{dB}$$

Tabla 3.8. Tabla de confiabilidad del sistema

Tabla de Confiabilidad	
Confiabilidad %	M.D. dB
90	10
99	20
99.9	30
99.99	40

Observamos que de la tabla 3.8, el sistema es confiable en un 99.99% y no va a tener fallas teóricamente 365 días al año.

### 3.4.2.2. Cuadro Resumen del enlace PUTZALAGUA-BRIGADA

Tabla 3.9. Datos del enlace PUTZALAGUA – BRIGADA

DESCRIPCION	BRIGADA	PUTZALAGUA
Elevación (msnm)	2932	3531
Latitud	00°56'56.00"S	00°57'56.00"S
Longitud	78°40'15.00"O	78°33'42.70"O
Tipo de Antena	Directiva	Directiva
Altura de Antena	30	30
Ganancia de la Antena (dBi)	12	12
Longitud de Línea de Tx (m)	30	0

Perdida en Línea de Tx (dB/100m)	3	3
Perdidas Misceláneas (dB)	1.50	1.50
Frecuencia (MHz)	2400-2500	2400-2500
Polarización	Vertical	Vertical

### 3.4.3. RUTA3: Enlace Putzalagua- Cerro Aeropuerto

Empleando Antena Grilla de 27 dBi; y el software RADIO MOVILE, se obtuvieron las siguientes características:

- ✓ La distancia del enlace entre PUTZALAGUA y AEROPUERTO es 10,87 km
- ✓ Azimut = 277,34°
- ✓ Angulo de elevación = 2,882°
- ✓ El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,2F1 a
- ✓ La frecuencia promedio es 2400 MHz

De acuerdo a los datos obtenidos del software RADIO MOVILE, se obtiene en la figura 3.8, el perfil topográfico, la zona de fresnel, la distancia y las pérdidas en el enlace. Posteriormente se comprueban los estos resultados.

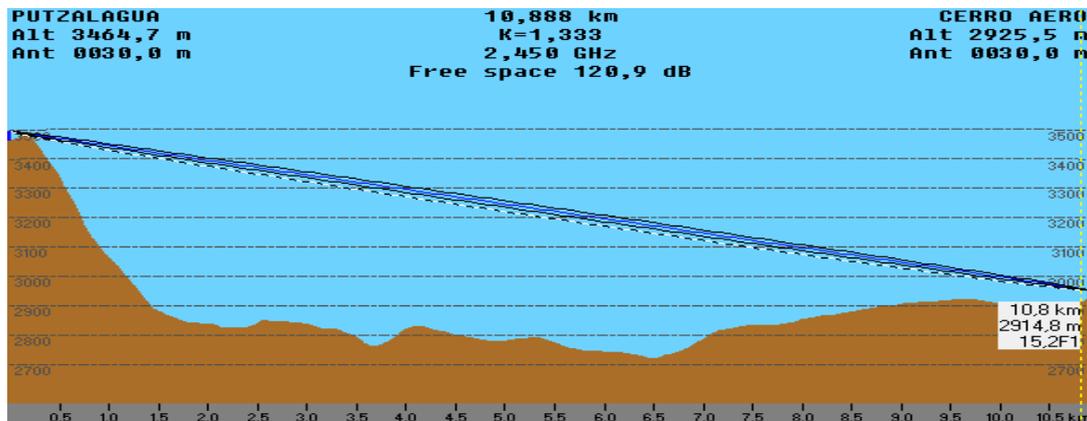


Figura 3.8. Enlace PUTZALAGUA-CERRO AEROPUERTO

### 3.4.3.1. CÁLCULOS DEL RADIOENLACE

#### a. CÁLCULOS

##### DATOS:

f=2.4GHz

Altura de Torre: 30m

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 (m/seg)}{2.4 (GHz)}$$

$$\lambda = 0.125m$$

#### b. CARACTERÍSTICAS DE LOS REPETIDORES TSUNAMI 5054R

$$PTX = 30w$$

$$PTX_{dB} = 10 \log PTX$$

$$PTX_{dB} = 10 \log 30w = 14.77 dB$$

$$GTX = 45 dBm$$

#### c. ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

$$\alpha_{el} (dB) = -32.44 - 20 \log f [MHz] - 20 \log D1 [Km]$$

$$\alpha_{el} = -120.77 (dB)$$

#### d. INTENSIDAD DEL CAMPO RECIBIDO

$$E_o (dB\mu) = 74.7 + PTX (dB) + GTX (dB) - 20 \log D1 (Km)$$

$$E_o (dB\mu) = 74.7 + 14.77 + 15 - 20 \log 10.87$$

$$E_o (dB\mu) = 83.75 (dB)$$

$$E_o (dB\mu) = 83.75 - 60 = 23.75 dB$$

$$E_o = \text{anti log} \frac{23.75}{20} = 15.39 \frac{v}{m}$$

#### e. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN

$$\alpha_{abs} = 0.05 \times (10.87)$$

$$\alpha_{abs} = 0.544 (dB)$$

$$\alpha_T = 2 + 0.05 + 0.544$$

$$\alpha_T = 2.59(dB)$$

### f. POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL ENLACE

$$P_{RX}(dB) = P_{TX}(dB) + G_{TX}(dB) + G_{RX}(dB) - \alpha_{el}(dB) - \alpha_T$$

$$P_{RX}(dB) = 14.77 + 15 + 15 - 120.77 - 2.59$$

$$P_{RX}(dB) = -78.59(dB)$$

$$P_{RX} = \text{anti log} \frac{-78.59}{10}$$

$$P_{RX} = 0.014 \mu w$$

### g. UMBRAL DE RECEPCIÓN

$$U_{RX} = -203.98 + 10 \log B(\text{Hz}) + 3 + 10 + F$$

$$U_{RX} = -203.98 + 10 \log 20 \text{MHz} + 3 + 10 - 40$$

$$U_{RX} = -157.96(dB)$$

### h. MARGEN DE DESVANECIMIENTO DEL ENLACE.

$$M_D = P_{RX} - U_{RX}$$

$$M_D = (-78.59 + 157.96)$$

$$M_D = 74.74 dB$$

Tabla 3.10. Tabla de confiabilidad del sistema

Tabla de Confiabilidad	
Confiabilidad %	M.D. dB
90	10
99	20
99.9	30
99.99	40

Se observa en la tabla 3.10, que el sistema es confiable en un 99.999% y no va a tener fallas teóricamente 365 días al año.

### 3.4.3.2. Cuadro Resumen del enlace PUTZALAGUA-CERRO AEROPUERTO

Tabla 3.11. Datos del enlace PUTZALAGUA –CERRO AEROPUERTO

DESCRIPCION	CERRO AEROPUERTO	PUTZALAGUA
Elevación (msnm)	2928	3531
Latitud	00°57'11"S	00°57'56.00"S
Longitud	78°39'32"O	78°33'42.70"O
Tipo de Antena	Directiva	Directiva
Altura de Antena	30	30
Ganancia de la Antena (dBi)	12	12
Longitud de Línea de Tx (m)	30	0
Perdida en Línea de Tx (dB/100m)	3	3
Perdidas Misceláneas (dB)	1.50	1.50
Frecuencia (MHz)	2400-2500	2400-2500
Polarización	Vertical	Vertical

### 3.4.4. RUTA 4: ENLACE CERRO AEROPUERTO- AEROPUERTO

Empleando Antena Grilla de 27 dBi; y el software RADIO MOVILE, se

obtuvieron las siguientes características:

- ✓ La distancia del enlace entre CERRO AEROPUERTO y AEROPUERTO es 4,1 km
- ✓ Azimut = 37,64°
- ✓ Angulo de elevación = 1,396°
- ✓ El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,7F1
- ✓ La frecuencia promedio es 2400 MHz

De acuerdo a los datos obtenidos del software RADIO MOVILE, obtenemos la figura 3.9, donde podemos observar el perfil topográfico, la zona de fresnel, la distancia y las pérdidas en el enlace. Posteriormente comprobaremos estos datos con los cálculos obtenidos más adelante.

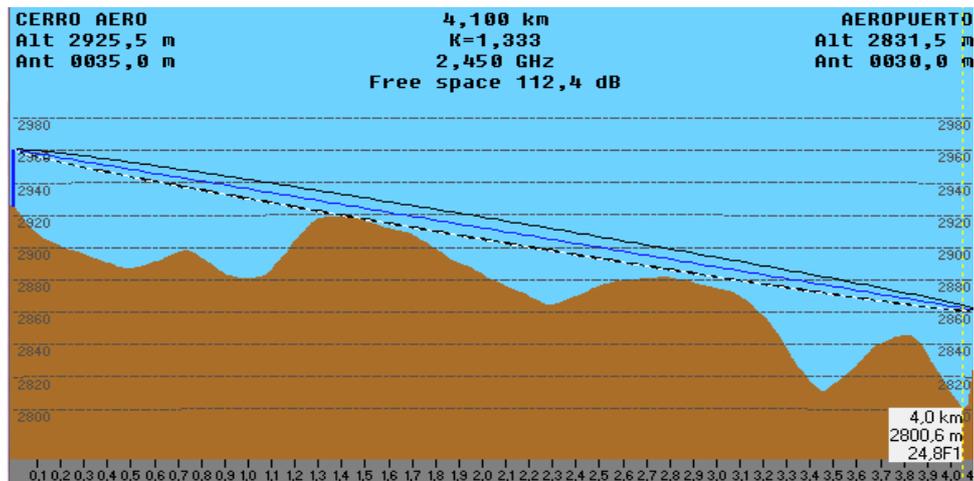


Figura 3.9. Enlace CERRO AEROPUERTO -AEROPUERTO

### 3.4.4.1. CÁLCULOS DEL RADIOENLACE

#### a. CÁLCULOS

##### DATOS:

$f=2.4\text{GHz}$

Altura de Torre: 30m

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ (m/seg)}}{2.4 \text{ (GHz)}}$$

$$\lambda = 0.125\text{m}$$

#### b. CARACTERÍSTICAS DE LOS REPETIDORES TSUNAMI 5054R

$$PTX = 30\text{w}$$

$$PTX_{dB} = 10 \log PTX$$

$$PTX_{dB} = 10 \log 30\text{w} = 14.77\text{dB}$$

$$GTX = 45\text{dBm}$$

#### c. ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

$$\alpha_{el} \text{ (dB)} = -32.44 - 20 \log f [\text{MHz}] - 20 \log D1 [\text{Km}]$$

$$\alpha_{el} = -112.29 \text{ (dB)}$$

#### d. INTENSIDAD DEL CAMPO RECIBIDO

$$E_o(dB\mu) = 74.7 + P_{TX}(dB) + G_{TX}(dB) - 20\log D1(Km)$$

$$E_o(dB\mu) = 74.7 + 14.77 + 15 - 20\log 4.09$$

$$E_o(dB\mu) = 92.23(dB)$$

$$E_o(dB\mu) = 92.23 - 60 = 32.23dB$$

$$E_o = \text{anti log} \frac{32.23}{20} = 40.88 \frac{v}{m}$$

#### e. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN

$$\alpha_{abs} = 0.05 \times (4.09)$$

$$\alpha_{abs} = 0.21(dB)$$

$$\alpha_T = 2 + 0.05 + 0.21$$

$$\alpha_T = 2.26(dB)$$

#### f. POTENCIA DE RECEPCIÓN DEL ENLACE

$$P_{RX}(dB) = P_{TX}(dB) + G_{TX}(dB) + G_{RX}(dB) - \alpha_{el}(dB) - \alpha_T$$

$$P_{RX}(dB) = 14.77 + 15 + 15 - 112.29 - 2.26$$

$$P_{RX}(dB) = -69.78(dB)$$

$$P_{RX} = \text{anti log} \frac{-69.78}{10}$$

$$P_{RX} = 0.11\mu w$$

#### g. UMBRAL DE RECEPCIÓN

$$U_{RX} = -203.98 + 10\log B(Hz) + 3 + 10 + F$$

$$U_{RX} = -203.98 + 10\log 720MHz + 3 + 10 - 40$$

$$U_{RX} = -157.96(dB)$$

## h. MARGEN DE DESVANECIMIENTO DEL ENLACE.

$$M_D = P_{RX} - U_{RX}$$

$$M_D = (-69.78 + 157.96)$$

$$M_D = 74.74dB$$

Tabla 3.12. Tabla de confiabilidad del sistema

<b>Tabla de Confiabilidad</b>	
<b>Confiabilidad %</b>	<b>M.D. dB</b>
90	10
99	20
99.9	30
99.99	40

Se observa en la tabla 3.12, que el sistema es confiable en un 99.999% y no va a tener fallas teóricamente 365 días al año

### 3.4.4.2. Cuadro Resumen del enlace CERRO AEROPUERTO-AEROPUERTO

Tabla 3.13. Datos del enlace CERRO AEROPUERTO – AEROPUERTO

<b>DESCRIPCION</b>	<b>AEROPUERTO</b>	<b>CERRO AEROPUERTO</b>
Elevación (msnm)	2777	2928
Latitud	00°55'2.6"S	00°57'11"S
Longitud	78°37'7.08"O	78°39'32"O
Tipo de Antena	Directiva	Directiva
Altura de Antena	30	30
Ganancia de la Antena (dBi)	12	12
Longitud de Línea de Tx (m)	30	0
Perdida en Línea de Tx (dB/100m)	3	3
Perdidas Misceláneas (dB)	1.50	1.50
Frecuencia (MHz)	2400-2500	2400-2500
Polarización	Vertical	Vertical



En la Figura 3.12, se indican los enlaces, con las posiciones geográficas de los nodos a ser enlazados, su ubicación y la LOS en cada uno de ellos y el nivel del área de cobertura de las antenas.

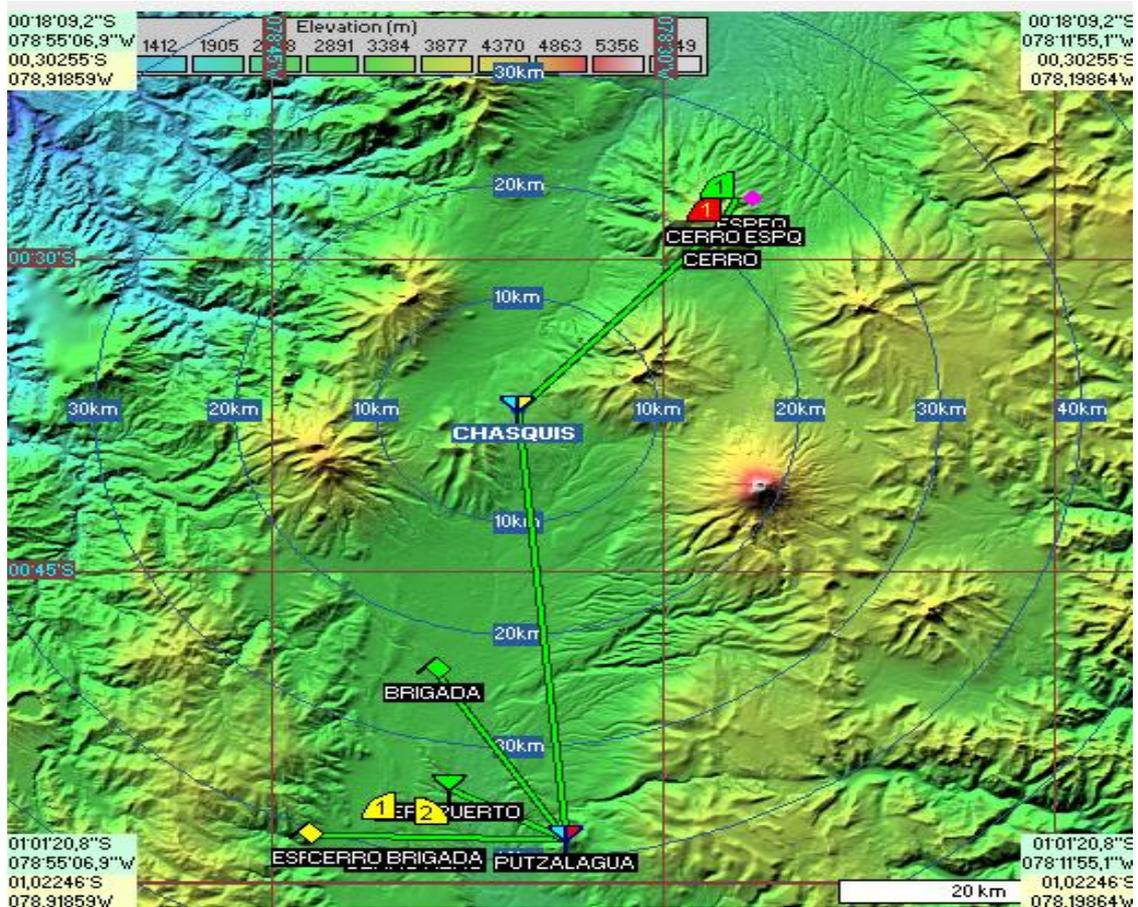


Figura 3.12. Diagrama del los enlaces y LOS de los enlaces del Proyecto

### 3.5.1. AREA DE COBERTURA

En la figura 3.13 se indica las áreas de cobertura de los enlaces; también del nodo repetidor del Putzalahua; donde se puede observar que existe una cobertura total sin obstrucción para todo el enlace, entre todos los nodos.

En la Figura 3.14, se muestra la cobertura del Putzalahua con el Aeropuerto y la ESPEL donde se tiene un buen nivel de señal; empleando un patrón de radiación de antena tanto en forma omnidireccional como direccional; además se determina el azimut y las pérdidas de la antena.

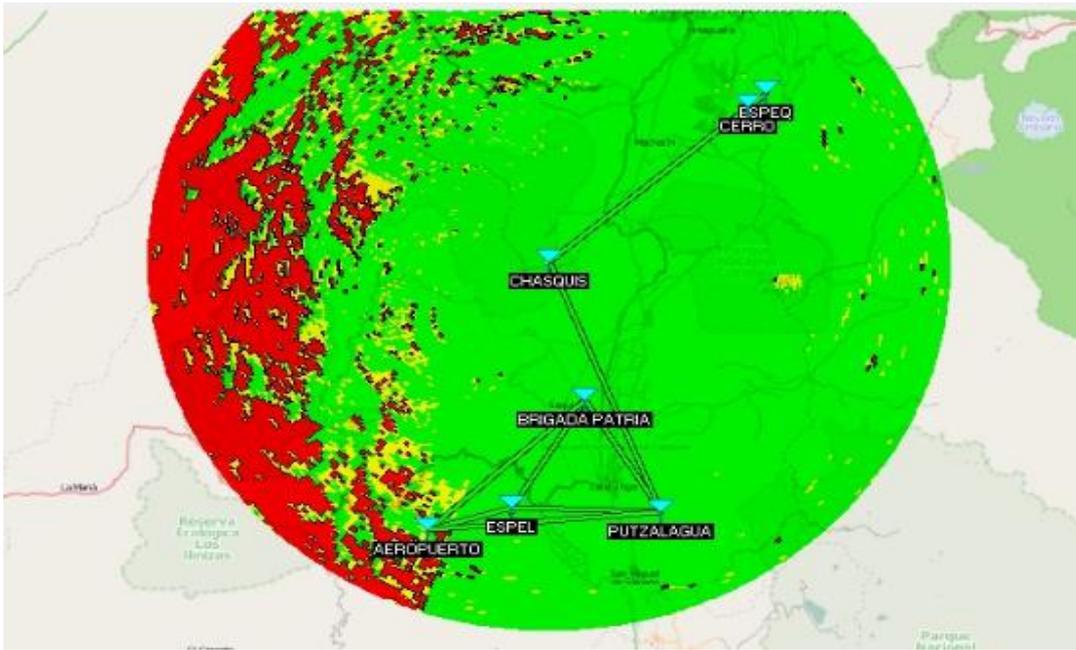


Figura 3.13. Área de Cobertura total.

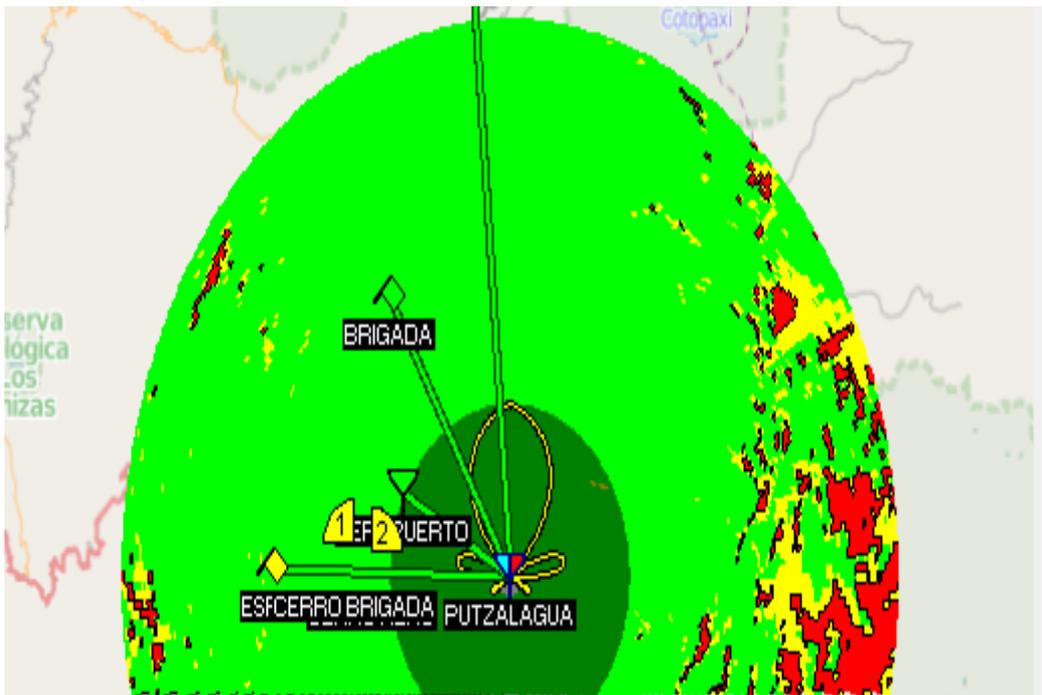


Figura 3.14. Área de Cobertura del Putzalagua.

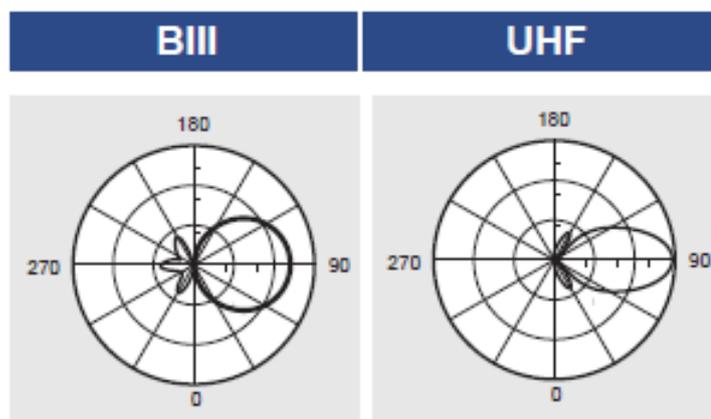
### 3.6. SELECCIÓN DE EQUIPOS

#### 3.6.1 YAGI ANTENNA - CA7 SERIES 460 de 2m

Este tipo de antena funcionaria como el enlace punto a punto, a continuación se muestran las especificaciones.



Figura 3.15. Antena Yagi



*Ref. 1034*

Figura 3.16. Diagrama de Radiación de la Antena

## Datos:

Frequency range	450–470 MHz*
Gain	12 dBi
Impedance	50 ohms
VSWR	<1.35:1**
Polarization	Horizontal or vertical
Front-to-back ratio	>18 dB
Maximum input power	250 watts (at 50°C)
H-plane beamwidth	53 degrees (half-power)
E-plane beamwidth	41 degrees (half-power)
Connector	N female
Weight	6.5 lb (2.95 kg)
Dimensions	39.9 x 14.9 inches (1013 x 378 mm)
Equivalent flat plate area	0.55 ft <sup>2</sup> (0.051 m <sup>2</sup> )
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	41 x 15 x 6 inches (1041 x 381 x 152 mm)
Shipping weight	9 lb (4.1 kg)
Mounting	For masts of 2.375 inches (60 mm) OD.

## EQUIPO DEL USUARIO

### 3.6.2. GIGASET SE461 WIMAX



Figura 3.17. Antena GIGASET SE 461 WIMAX

La unidad Gigaset SE461 WiMAX (Ver Figura 3.17), es la solución WiMAX de Siemens, que ofrece acceso a la banda ancha inalámbrica "Last Mile"; utiliza la tecnología OFDM "Non-Line-of-Sight" compatible con el estándar IEEE 802.16.

Funciona en la banda de frecuencia de 2.4 – 3.5 GHz; es idónea para ofrecer acceso rápido a Internet y servicios de streaming y datos,

constituye una alternativa inalámbrica y económica a los sistemas xDSL con cable y con una mayor eficacia del espectro para obtener la mayor capacidad del medio.

### **Características:**

- ✓ Acceso inalámbrico de alta velocidad a Internet con velocidad de hasta 15 Mbps (descendente)
- ✓ Compatibilidad con el estándar: IEEE 802.16-2004
- ✓ Compatible con todos los sistemas operativos comunes
- ✓ Idóneo para su aplicación en entornos privados y comerciales
- ✓ Otros protocolos admitidos: TCP/IP, SMTP, HTTP y otros protocolos de Internet
- ✓ Fácil instalación y orientación de la antena
- ✓ Servidor DHCP y funciones de selección de rutas
- ✓ Gran rendimiento y calidad de servicios (QoS)

### **3.6.3. EQUIPO DE LA ESTACIÓN ESTACION BASE**



Figura 3.18. Equipo de la Estación WIMAX

El equipo utilizado es TSUNAMI MP11 MODEL 5054R WIMAX; como se puede observar en la figura 3.18, cumple los requerimientos para dar una cobertura total entre los diferentes puntos de acceso que se tiene diseñado; tanto en el campus de la ESPEL, la Brigada y el Aeropuerto; también permite la comunicación full dúplex con los diferentes nodos y la distribución de Internet.

### 3.6.3.1. Características de las Estaciones Base

En las tablas 3.14 y 3.15 se puede observar las características técnicas del equipo a ser utilizado en las estaciones bases.

3.14. Tabla Características técnicas del equipo de la Estación WIMAX

Technical Data	
<b>Standard Compliance</b>	
Air Interface	IEEE802.16-2004 OFDM 256FFT
Seamless upgrade towards IEEE802.16e OFDMA	
<b>QoS</b>	
Service Classes	Best Effort, Non-Real-Time/Real-Time Polling, Continuous Grant
Peak Data Rate	Configurable per Service, separately in Up/Down-link
Guaranteed Data Rate	Configurable per Service, separately in Up/Down-link
User Priority	Configurable per Service, separately in Up/Down-link
<b>Radio Frequency Section</b>	
Frequency bands	3.5 GHz, 2.5 GHz
Duplex Mode WayMAX@vantage Basestation	FDD, TDD
Duplex Mode Gigaset SE461 and Siemens 2010	half-FDD (H-FDD), TDD
Sub-carrier Modulation	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM adaptive
RF Channel size	1.75 ÷ 14 MHz SW configurable
Output power at antenna connector WayMAX@vantage Basestation	up to 35 dBm
Output power at antenna connector Gigaset SE461 and Siemens 2010	up to 27/24 dBm
Receiver Sensitivity @ 1.75 MHz/3.5 MHz	-103/-100 dBm ÷ -85/-82 dBm

## WayMAX@vantage Basestation

### Networking

Network Interface	Gigabit Ethernet optical & electrical
Packets classification	Layer2 IEEE802.1p; Layer3 IP DSCP

### Performance

Sectors	up to 4 (4+1 protection)
Max net capacity (UL+DL)	320Mbps
Max # of Simultaneous Services	16384

### Quality Aspects

Environmental	ETSI EN 300 019
Acoustic Noise Emission	ETSI EN 300 753(6) class 3.1 Business
Radio	ETSI EN 301 021
EMC	ETSI EN 301 489
Safety	ETSI EN 60950
Power Supply	ETSI EN 300-132

### Mechanical & Electrical

Dimensions Shelf (HxWxD)	405x435x258 mm
Max Power Consumption 3 sectors Basestation	470 W
Operation Temperature indoor part	0 °C ÷ +45 °C
Operation Temperature outdoor part	-33 °C ÷ +55 °C

### 3.15. Tabla Características técnicas del equipo WIMAX

WiMAX - General properties	
Dimensions	ODU 269 x 221 x 78 mm (L x W x H), without antenna fixture, IDU 140 x 65 x 36 mm (L x W x H)
Operation temperature range	IDU +5 °C to +40 °C, ODU -40 °C to +60 °C
Power consumption	~ 18W
Power supply	Input 100 - 240V AC, Output 56V
Color	Light grey
Outdoor antenna - Electrical properties	
Frequency range	3400 - 3800 MHz
Nominal impedance	50 Ohm N
VSWR	1.5 max
Gain	18 dBi
Radiation pattern, -3 dB beam width	Horizontal plane: 16 °, Vertical plane: 20 °
Front to back ratio	-30 dB Max
Polarization	Vertical
Cross polarization	Horizontal plane: -20 dB, Vertical plane: -20 dB
Side lobe suppression	-

<b>Outdoor antenna - Electrical properties</b>	
Side lobe level	Horizontal plane: -15 dB Max. Vertical plane: -15 dB Max
Max. power	6 W
Connector type	N plug
Antenna cable type	RG 316
ETSI compliance	EN 302085 - TS2 Range 1
Length	270 mm
<b>Outdoor antenna - Mechanical properties</b>	
Dimensions	305 x 305 x 25 mm (12.01" x 12.01" x 0.98")
Weight	1.5 kg
Radome material	UV resistant PP
Ground plate material	-
Bracket and clamps material	AL,AL,LM2-T6 with chemical coating
Fasteners	-
Fixing system	Bracket for pole and wall mounting
Pole diameter	25 - 76 mm (1" - 3")

### 3.7. COSTOS DEL PROYECTO

Para representar los Costos del Proyecto, se ha realizado una proforma con los costos de los equipos que se emplearán en esta propuesta.

3.16. Tabla de costos del Proyecto

<b>Q</b>	<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Subtotal</b>
2	Tsunami MP.11 Model 5054-R Long Range Base Station unit with Type-N Connector - 5054-BSUR-LR-US 54 Mbps nominal 5,8 GHz, hasta 22 Mbps troughput, ideal para backbone, que actúe como bridge o router, cumple protocol WORP (WIRELESS OUTDOOR ROUTER POLLING). Técnica de modulación OFDM en 5,8GHz en Spread Spectrum.	2.368,00	4.736,00
2	Proxim Tsunami MP.11 5054-R Long Range Suscriber Unit - 5054-SUR-LR-US 54 Mbps nominal 5,8 GHz, hasta 22 Mbps troughput, ideal para backbone, que actúe como bridge o router, cumple protocol WORP (WIRELESS OUTDOOR ROUTER POLLING). Técnica de modulación OFDM en 5,8GHz en Spread Spectrum.	1.284,00	2.568,00

4	Kit de Antenas compuesto por Antena Grilla de 27 dBi (5,X GHz), Cable LMR-600 y Lightning Protector, con los respectivos herrajes para montaje.	215,43	861,72
10	Surge Arrestor Cable.	60,93	609,3
3	Splitter de 2 vías 5,8 GHz.	152,35	457,05
4	Accesorios adicionales como cables para datos hacia Switch, toma eléctrica, mástil, tierra y demás accesorios.	150,00	600,00
3	Torre de 30 m fabricada en tubo de 1 ½” tipo de poste de 40 cm por lado, triangular, soportada, tejida por varilla lisa de 8mm a los lados galvanizada, pintura anticorrosiva color blanco y rojo armados en tramos de 3 metros. La torre de escalera con separación entre escalones de 40 cm por lado para sitio de repetición.	1.897,50	5.692,50
3	Sistema de respaldo de Energía Eléctrica. Incluye banco de dos baterías de 12 A, 90 A/h con tiempo de respaldo superior a las 48 horas. Incluye caja para protección de equipos a intemperie.	1.050,00	3.150,00
3	Instalación y ConFiguración del Sistema. Incluye trámites de legalización de los enlaces ante los organismos de control.	200,00	600,00
<b>TOTAL</b>			<b>19.274,57</b>

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado se puede concluir lo siguiente:

- ✓ El estudio y diseñado de una Red de Acceso con tecnología Wimax, entre la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA Y LA BRIGADA PATRIA, se realizó a cabalidad, según lo presentado en el anteproyecto de grado; y se realizó la simulación del diseño, para su verificación.
- ✓ El propósito de las redes de acceso inalámbrico con tecnología WIMAX móvil, es proveer conexión entre usuarios separados a grandes distancias y brindándole servicios de banda ancha, que le permitan tener completa movilidad y conectividad a través de la red.
- ✓ Se utilizó el software “Radio Móvil”; para realizar el cálculo de parámetros del radioenlace; y evaluar el diseño propuesto; debido a las facilidades que brinda para su implementación, porque permite realizar cambios en algunos parámetros; brinda los datos sobre las coordenadas geográficas de los puntos a conectarse; traza el perfil topográfico del terreno en el cual se va a trabajar y determina las pérdidas en cada tramo del enlace.
- ✓ En el país existe por muchas irregularidades geográficas en el terreno y algunos fenómenos climatológicos, que producen atenuaciones por lluvia, niebla y otros factores; en consecuencia se debe buscar una ruta alternativa; y esto se lo hizo mediante el acceso inalámbrico.
- ✓ WiMAX se perfila como una solución inalámbrica de banda ancha que permitirá reducir notablemente los costos de operación y mantenimiento en comparación a los actuales servicios de redes cableados, creando de esta manera la posibilidad de satisfacer una necesidad de comunicación y provisión de servicios básicos en zonas hasta el momento totalmente aisladas. Cabe mencionar

que el despliegue de una red WiMAX será rápido y simple, constituyéndose como complemento para WiFi y Bluetooth.

- ✓ El diseño propuesto ha sido estructurado de una forma básica y sencilla, permitiendo una futura expansión mediante la inclusión de nuevas estaciones base en diferentes lugares de la red, ampliando de esta manera el área de cobertura y el ancho de banda por usuario.
- ✓ El detalle del equipamiento necesario para la implementación de la red, guarda relación directa con las características de los equipos disponibles en el mercado, por lo que la configuración presentada es totalmente factible de obtenerse.
- ✓ El mercado actual en la ciudad de Latacunga es propicio para implementar un sistema como el que se ha expuesto en el presente trabajo, ya que es algo novedoso y no ha sido muy explotado hasta el momento por operadores de servicios de telecomunicaciones.

#### **4.1. RECOMENDACIONES:**

Al momento de implementar el sistema, se recomienda.

- ✓ Para conseguir una mejor calidad en los enlaces con los clientes, quienes tendrán enlaces NLOS, se deberá hacer apuntamientos con las antenas en todas direcciones en orden de obtener la mejor señal.
- ✓ Si se desea ampliar la red utilizando más radio bases en otras localidades, se debería pensar en la utilización de una tecnología más versátil y robusta para el diseño del backbone, una

tecnología que permita transmisión de datos a velocidades más altas y con menos retardos, como puede ser la fibra óptica, cuya tasa de transmisión esta en el orden de las decenas de Mbps.

- ✓ Tomar en cuenta las frecuencias asignadas del CONATEL para la transmisión de datos ya que esto es un requisito indispensable.
  
- ✓ Para el despliegue de redes WiFi dentro de campus universitarios, centros de estudio y otros, se recomienda la utilización de equipos que complementan las tecnologías WiMAX y WiFi, los mismos que se pueden ubicar en postes de alumbrado público o edificios, así obteniendo una cobertura total del lugar.
  
- ✓ Se recomienda al ente regulador la creación de normas para la prestación de servicios “triple play” ya que en la actualidad no es posible que un mismo proveedor de servicios pueda ofrecer múltiples servicios a través de una red.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

- ✓ AAS: Sistemas de antenas adaptables
- ✓ AES: Encriptación avanzada de datos
- ✓ ARPU: Ingreso promedio por usuario
- ✓ BPSK: Transmisión por desplazamiento de fase binaria
- ✓ BRD: Servicio de radio de banda ancha
- ✓ CAPEX: Gastos de capital
- ✓ CLEC: Operadora de cambio local Competitiva
- ✓ CPE: Equipo de las instalaciones del cliente

- ✓ CSMA/CA: acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones
- ✓ DES: Selección de frecuencia dinámica
- ✓ DOCSIS: Especificación de Interfaz de Datos sobre Servicios de Cable
- ✓ DSL: Línea de abonado digital
- ✓ DSSS: Espectro ensanchado por secuencia directa
- ✓ FCC: Federal Communications Commission
- ✓ FBWA: Acceso fijo inalámbrico de banda ancha
- ✓ FLASH-OFDM: Acceso rápido de baja latencia con OFDM de transferencia íntegra
- ✓ FDD: Duplexación de división de frecuencia
- ✓ FDM: Multiplexación por división de frecuencia
- ✓ FHSS: Espectro de dispersión con salto de frecuencia
- ✓ FTTN: Fibra al nodo
- ✓ FTTP: Fibra a las instalaciones
- ✓ GPS: Sistema de posicionamiento global
- ✓ IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ✓ ILEC: Operadora local de intercambio
- ✓ ISP: Proveedor de servicio de Internet
- ✓ LOS: Línea de vista (line of sight)
- ✓ MAC: Control de acceso a medios
- ✓ MSO: Operadora de servicios múltiples
- ✓ NLOS: Sin línea de vista (non line of sight)
- ✓ OEM: Fabricante de equipo original
- ✓ OFDM: Multiplexación por división de frecuencia ortogonal
- ✓ OFDMA: Acceso multiplexado por división de frecuencia ortogonal
- ✓ OPEX: Gastos operativos
- ✓ PCMCIA: Personal Computer Memory Card International Association
- ✓ PHY: Capa física

- ✓ PMP: Punto a multipunto
- ✓ PTP: Punto a punto
- ✓ POP: Punto de presencia
- ✓ QAM: Modulación de amplitud de cuadratura
- ✓ QoS: Calidad de servicio
- ✓ QPSK: Transmisión por desplazamiento de fase de cuadratura
- ✓ SME: Pequeña y mediana empresa
- ✓ SOHO: Pequeña oficina, oficina en el hogar
- ✓ TDD: Dúplex por división de tiempo
- ✓ VoIP: Voz sobre IP
- ✓ Wi-Fi: Fidelidad inalámbrica
- ✓ WiMAX: Interoperabilidad mundial para acceso por microondas
- ✓ WISP: ISPs inalámbricos
- ✓ WLAN: Red inalámbrica local
- ✓ WMAN: Red inalámbrica de áreas metropolitanas
- ✓ WWAN: Redes inalámbricas de áreas extensas

## **BIBLIOGRAFIA**

- ✓ D.K. SATTAROV. Fibra Óptica Tomo 1. Ed. Vocento. España. Pág. 185 – 192.
- ✓ CHOMYCZ, Bob. Instalaciones de Fibra Óptica. Ed. McGraw-Hill. México. Pág. 25 – 75.
- ✓ MARTÍNEZ, R. Rubio. Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica. Ed. Paidós. México. Pág. 70 – 94.
- ✓ GOMEZ MONT, Carmen. Nuevas Tecnologías de Comunicación. Ed. Trillas. México. Pág. 74 – 80.

- ✓ KRAUS, Sidney. Comunicación Masiva. Ed. Paidós. México. Pág. 145 – 160.

## **LINKOGRAFÍA**

### **MANUAL RADIO MOVIL**

- ✓ <http://www.tsc.urjc.es/Master/RETEPAD/sites/default/files/manual%20RADIOMOBILE%20V4.pdf>
- ✓ [http://www.gatv.ssr.upm.es/stelradio/RDCM/adjuntos/material\\_consulta/Manuales%20del%20programa%20Radio%20Mobile/Manual%20de%20Radio%20Mobile.pdf](http://www.gatv.ssr.upm.es/stelradio/RDCM/adjuntos/material_consulta/Manuales%20del%20programa%20Radio%20Mobile/Manual%20de%20Radio%20Mobile.pdf)

### **MANUAL GOOGLE EARTH**

- ✓ [www.ge3d.com/img/tutorial\\_g\\_earth.pdf](http://www.ge3d.com/img/tutorial_g_earth.pdf)
- ✓ [google-earth.malavida.com/manuales/](http://google-earth.malavida.com/manuales/) - España

### **RADIOENLACE**

- ✓ [www.eslared.org.ve/.../06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/.../06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v01%5B1%5D.pdf)

### **EQUIPOS**

- ✓ [www.cisco.com/.../routers/.../1841/.../qsg18esp.pdf](http://www.cisco.com/.../routers/.../1841/.../qsg18esp.pdf)
- ✓ [advanteknetworks.com/.../networkswitches/ans2402g.htm](http://advanteknetworks.com/.../networkswitches/ans2402g.htm)

### **ANTENAS**

#### **ANTENA YAGI**

- ✓ [www.upv.es/antenas/catalogos/antenas\\_televes.pdf](http://www.upv.es/antenas/catalogos/antenas_televes.pdf)

## **ANTENA OMNIDIRECCIONAL**

- ✓ [aire.ec/.../Datasheet\\_2\\_4GHz\\_Omnidirectional\\_Antennas\\_VPOL\\_Spanish.pdf](http://aire.ec/.../Datasheet_2_4GHz_Omnidirectional_Antennas_VPOL_Spanish.pdf)

## **CABLES**

- ✓ <http://www.tech-faq.com/es/rg-58.html>
- ✓ <http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/cable/rg58.shtm>

## **CONEXIONES RADIOENLACE**

- ✓ <http://www.i-excom.com/radio-enlaces-inalambrico>

## **CALCULOS**

- ✓ [www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1511.pdf](http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1511.pdf)
- ✓ [www.eslared.org.ve/.../06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/.../06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v01%5B1%5D.pdf)
- ✓ [www.it46.se/...Calculo-Radioenlace/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_presentacion\\_v01.pdf](http://www.it46.se/...Calculo-Radioenlace/06_es_calculo-de-radioenlace_presentacion_v01.pdf)

## **WIMAX**

- ✓ <http://www.WiMAXforum.org>
- ✓ <http://www.WiMAX.com>
- ✓ <http://es.wikipedia.org/wiki/Modulacion>
- ✓ <http://es.wikipedi.org/WiMAX>
- ✓ <http://www.intel.com>
- ✓ <http://www.monografias.com/trabajos16/WiMAX/WiMAX.shtm>
- ✓ <http://www.blogWiMAX.com>
- ✓ <http://www.pixelydixel.com/2005/04/intel-presenta-WiMAX.html>

- ✓ <http://www.conatel.gov.ec>
- ✓ <http://www.airspan.com>
- ✓ <http://www.apertonet.com>
- ✓ <http://www.alvarion.com>
- ✓ <http://www.siemens.ie/carrier/topics/WiMAX/index.htm>
- ✓ [http://es.wikipedia.org/wiki/Voz\\_sobre\\_IP](http://es.wikipedia.org/wiki/Voz_sobre_IP)
- ✓ <http://www.monografias.com/trabajos3/voip/voip.shtml>
- ✓ <http://www.esmas.com/Estudiodemercado/Lademanda>
- ✓ <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
- ✓ <http://www.andinanet.net>

# **ANEXOS**

## ANTENNAS



Innovative Solutions For Wireless Communications

### 5.8 GHz ISM / UNII Band 27 dBi Reflector Grid Wireless LAN Antenna - Model: HG5827G

#### Applications and Features

##### Applications:

- 5.8GHz UNII applications
- 5.8GHz ISM applications
- 5.8GHz Wireless LAN systems
- Long-range Directional Applications
- Point to Point, Point to Multi-point Systems
- Wireless Bridges
- Backhaul Applications
- Wireless Video Systems

##### Features:

- 27 dBi gain
- Superior performance
- Cast aluminum construction
- UV stable light gray powder coat finish
- All weather operation
- Easy to assemble



#### Description

##### Superior Performance

The HyperGain® HG5827G High-Performance Reflector Grid Wi-Fi Antenna is ideal for long-range highly directional 5.8GHz ISM and UNII band applications. These antennas are ideal for point to point systems, point to multi-point and wireless bridges. Its compact design makes it nearly invisible in most installations, and it can be installed for either vertical or horizontal polarization.

##### Rugged and Weatherproof

The antennas' construction features a rustproof cast aluminum reflector grid for superior strength and lightweight. The 2-piece reflector grid is simple to assemble and significantly reduces shipping costs. The grid surface is UV powder coated for durability and aesthetics. The open-frame grid design minimizes wind loading.

This antenna is supplied with a 60-degree tilt and swivel mast mount kit. This allows installation at various degrees of incline for easy alignment. They can be adjusted up or down from 0° to 60°.



Vertical or Horizontal Polarization



Tilt & Swivel Mast Mount



e-mail: [sales@hyperlinktech.com](mailto:sales@hyperlinktech.com) • tel: 561-995-2256 • fax: 561-995-2432  
web: [www.hyperlinktech.com](http://www.hyperlinktech.com) • 1201 Clint Moore Road • Boca Raton FL 33487

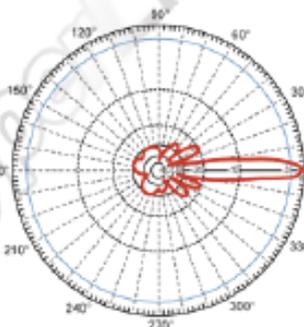
**Specifications**

Frequency	5725-5850 MHz
Gain	27 dBI
Polarization	Horizontal or Vertical
Horizontal Beam Width	6°
Vertical Beam Width	9°
Front to Back Ratio	25 dB
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	100 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.
Weight	5.3 lbs. (2.4 kg)
Grid Dimensions	15.7 x 23.6 inches (400 x 600 mm)
Mounting	2 in. (50.8 mm) diameter mast max.
Operating Temperature	-40° C to to 85° C (-40° F to 185° F)
Lighting Protection	DC Short
Connector	N-Female
RoHS Compliant	Yes

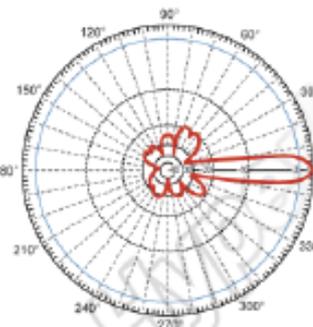
**Wind Loading Data**

Wind Speed (MPH)	Loading
100	20.0 lb.
120	31.0 lb.

**RF Antenna Patterns**



**Horizontal**



**Vertical**

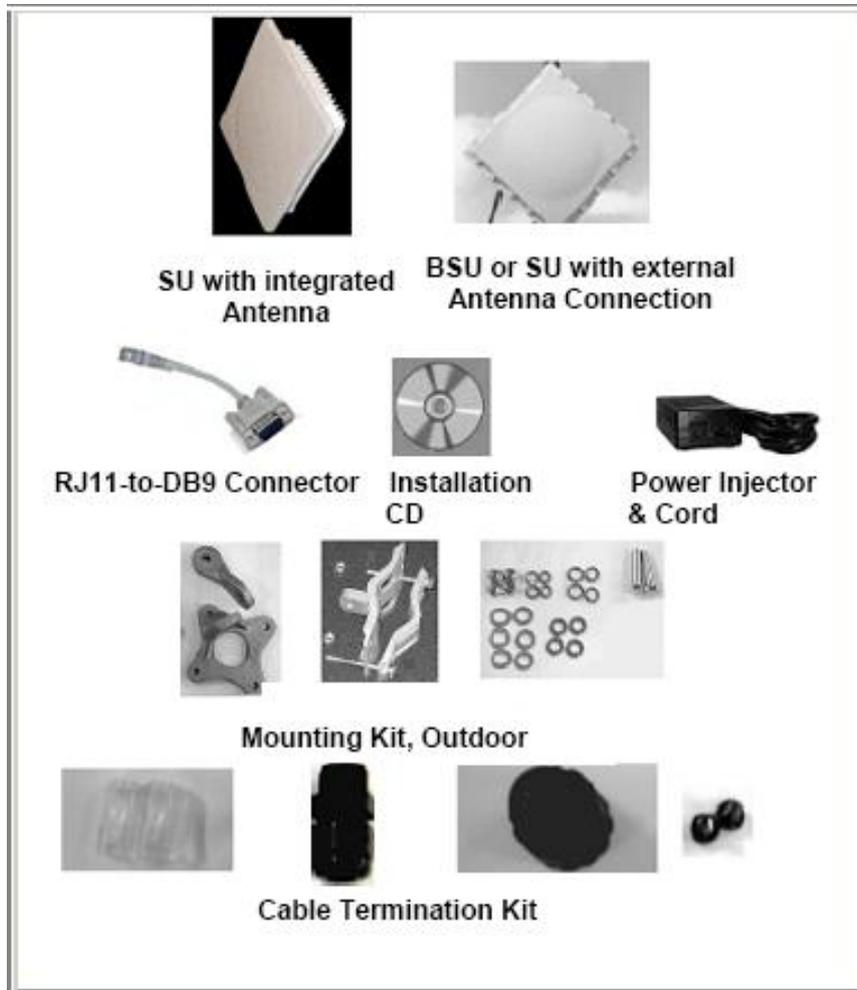
**Guaranteed Quality**

This product is backed by Hyperlink's Limited Warranty



e-mail: [sales@hyperlinktech.com](mailto:sales@hyperlinktech.com) • tel: 561-995-2256 • fax: 561-995-2432  
 web: [www.hyperlinktech.com](http://www.hyperlinktech.com) • 1201 Clint Moore Road • Boca Raton FL 33487

## MATERIALES DE INSTALACIÓN DEL EQUIPO





**FILTRO PARA LA ANTENA**



**GUÍAS DE ONDA Y CABLE**



**GABINETES PARA OUTDOOR**



# PROXIM TSUNAMI MP.11 MODEL 5054-R



## Tsunami MP.11 Model 5054-R Wireless Point-to-Multipoint System

### The Next-Generation Broadband Wireless Access Solution

Like its predecessor, the 5054-R continues to offer a comprehensive feature set to future-proof wireless networks.

- With a Peltier heating and cooling technology inside a ruggedized enclosure, the 5054-R can be deployed in extreme weather conditions
- Support for three 5 GHz bands - 5.25, 5.47 and 5.725 GHz, 20 total non-overlapping channels and performance that scales from 6 to 36 Mbps, all selectable via simple user interfaces
- Advanced revenue-enhancing features are standard - including flexible bandwidth provisioning for DSL, T1 or Ethernet-like tiered services as well as NAT and DHCP for IP-based storage and e-mail hosting

### Paving the Path to WiMAX Today

Drawing on Proxim's leadership in the WiMAX arena, the 5054-R has been developed as a platform to enable WiMAX applications. By deploying the 5054-R today, businesses are assured of a smooth transition to the WiMAX family of products.

- Equipped with software features to address the WiMAX markets such as: mobile hot-spot, MAN, cost-effective last mile access, security and surveillance
- Migration plan to support future WiMAX customers allowing business growth and network scalability
- Investment protection through common concept of network design and software feature sets, which

includes mobile roaming, rich management capabilities, most advanced encryption with AES and authentication via RADIUS, antenna alignment utility and revenue-enhancing services with bandwidth control, NAT/DHCP

### Mobile Roaming Enables New Applications

Proxim Innovation delivers another wireless industry first - mobile roaming of Subscriber Units (SU) between Base Station Units (BSU). Public safety first responder networks, transportation system monitoring and telemetry and mobile security and surveillance are now all possible with a low cost, robust system.

- Fast handoff at speeds up to 200 km per hour (120 miles per hour)
- Customizable roaming parameter maintains minimum bandwidth required for application performance

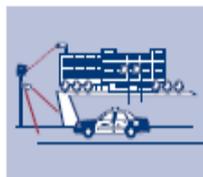
### Adaptive Wireless Network Optimizes Performance

Using advanced OFDM technology and Wireless Outdoor Routing Protocol (WORP), 5054-R networks dynamically adapt to the ever-changing network load for optimum performance.

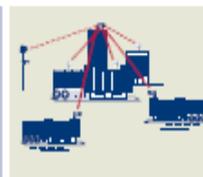
- WORP adapts to avoid collisions and maximizes data content with each transmission
- Dynamic Data Rate Selection automatically compensates for temporary link degradation maintaining robust connectivity and mitigating service calls

### APPLICATIONS

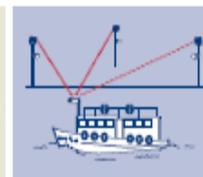
- **Emergency First Responders**  
Critical information delivery such as medical data and video feeds during in-progress events
- **Enterprise Campus Connectivity**  
Extend main network to remote branch offices, warehouses or other out buildings without leased line
- **Mobile Hot Spot**  
On-demand entertainment and broadband access solutions for ferry, transit buses and railway system commuters



Emergency First Responders



Enterprise Campus Connectivity



Mobile Hot Spots



**APPLICATIONS**

- **Security and Surveillance**  
Wireless solutions for bandwidth-intensive and high-definition IP-surveillance cameras located at important city and transportation infrastructure such as airports, bridges and trains
- **Business and Residential Last Mile Access**  
Competitive broadband service alternative to DSL or cable modems for residences and T1 or Ethernet for businesses
- **Metropolitan Area Networks**  
Secure and reliable connectivity between city buildings

**Advanced Security Protects Privacy**

Multiple security mechanisms protect operator, residential customer and enterprise privacy.

- Weatherized enclosure allows collocation on rooftops – limiting physical access
- Proxim's Wireless Outdoor Routing Protocol (WORP) prevents snooping common to Wi-Fi systems
- Advanced encryption protects over-the-air transmission
- Intracell blocking forbids direct communication between Subscriber Units
- BSU and SU mutual authentication eliminates unauthorized use of system by rogue SUs and man-in-the middle attacks
- Password protection of all remote management methods

**Designed for Fast Installation and Lower Maintenance Cost**

The 5054-R incorporates hardware and software features that reduce labor costs associated with initial deployment and post-sales maintenance.

- Decrease Subscriber Unit configuration time with integrated and dual-polarized 23-dBI antennas
- Eliminate guess work in locating the remote antennas with audible tone and real-time signal strength measurements
- Support for both local and remote management, removing the need for expensive on-site supports

**Investment Protection for Current Tsunami MR.11 Model 5054 (MR.11a) customers**

Both the 5054 and the 5054-R can be deployed together with full interoperability and backward compatibility.

- No new training required with identical software and user interfaces
- Common accessories such as antennas, cables and surge arrestors reduce spare inventory
- Expanding a 5054 network by adding new 5054-Rs can be done incrementally and non-disruptively



Security and Surveillance



Last Mile Access



Metropolitan Area Networking

## About Proxim

Proxim Corporation is a global leader in wireless networking equipment for Wi-Fi and broadband wireless networks. The company provides its enterprise and service provider customers with wireless solutions for the mobile enterprise, public hot spots, security and surveillance, last mile access, metropolitan area networks and voice and data backhaul.

Proxim Corporation  
935 Stewart Drive  
Sunnyvale, California 94085  
  
tel: 800.229.1630  
tel: 408.731.2700  
fax: 408.731.3675  
www.proxim.com



# Tsunami MP.11 Model 5054-R Specifications

## PERFORMANCE AND SCALABILITY

Best-in-class performance with WDRP	By eliminating in-the-air collisions and maximizing data content for each transmission, WDRP (Wireless Outdoor Router Protocol) significantly improves performance.
Near line of sight capable	Line of sight and near line of sight connectivity extends deployment flexibility in rural as well as high-density urban areas.
Highest performance per cell	Supports 6 sectors per cell with an aggregate data rate of 216 Mbps and throughput of 144 Mbps.
Dense subscriber support per cell	Supports up to 1,500 subscribers with 6 sectors.
Guaranteed data rate while roaming	Allows bandwidth-intensive applications, such as high-definition video streaming, in mobile environments.

## SECURITY

Unicast, multicast and broadcast storm control	User definable threshold levels prevent excessive bandwidth consumption from degrading network performance.
Packet filtering	MAC, Ethertype, IP address filtering provides very granular network security.
Intracell blocking	Allows the GUI to act as the central policy enforcer for SU to SU communications, further enhancing subscriber confidentiality.
WDRP as a secure protocol	Undetectable by wireless eavesdroppers, WDRP is preferred for security and surveillance deployments.
802.1x authentication	Supports include PEAP, EAP-TLS, GPP-TLS, EAP-SIM, and EAP-MD5 to yield mutual authentication and dynamic, per-user, per-session encryption keys.
Secure encryption technology	Supports for WEP, WPA+ and AES with TKIP encryption enhancements including key hashing (pre-packet keying), message integrity check (MIC) and broadcast key rotation via WPA TKIP.
Interference mitigation tool	Variable Receive Threshold, Transmit Power Control, 20 non-overlapping channels and Dynamic Frequency Selection.

## LOWER COST OF OWNERSHIP

Dynamic Data Rate Selection (DDRS)	Automatically optimizes throughput as link conditions change or as subscribers roam. Connectivity is automatically maintained when link quality degrades.
Flexible and secure remote management	Supports remote management via Telnet, SNMP and web interface with password protection.
Antenna alignment tool	Audible tone and CLI with running statistics displaying real-time signal strength ease antenna system installation.
Comprehensive station statistics	Unit and group statistics are available for monitoring, planning and management of a wireless network.
Lower securing lease cost	Co-locating anti on rooftops with plenty of available space, lowers lease cost.
Options for subscriber units with type-N or integrated antenna	Subscriber unit with type-N connector supports a broad selection of standard-based external antennas and subscriber unit with integrated antenna supports dual polarizations, vertical and horizontal, to minimize installation time.
Extreme Operating Temperature	Rated for -20° to 60° Celsius, 5054-R can be deployed in hot or cold outdoor climates.
Fast boot-up in cold climate	Sophisticated heating technology automatically heats the system to shorten boot-up time.
Remote Reboot	System reboot or reset to factory default can be performed remotely via a power injector button.

## PRODUCT MODELS

5054-RUR	Tsunami MP.11 Model 5054-R Base Station Unit with Type-N Connector
5054-SUA	Tsunami MP.11 Model 5054-R Subscriber Unit with Type-N Connector
5054-SUR	Tsunami MP.11 Model 5054-R Subscriber Unit with Integrated 2x-dB Antenna

## INTERFACES

Wired Ethernet	10/100Base-TX Ethernet (RJ-45)
Wireless Protocol	WDRP
Antenna Connector	Standard-N male (only for SUR) and SU with Type-N connector

## RADIO AND TRANSMISSION SPECIFICATIONS

Modulation Method	OFDM
Unlicensed Frequencies	Americas (FCC): 5.25 to 5.25 GHz (3 channels) 5.725 to 5.850 GHz (5 channels) Europe (ETSI): 5.47 to 5.725 GHz (11 channels)
Licensed Frequency	UK: 5.725 - 5.850 GHz (4 channels)
Data Rate	6, 9, 12, 18, 24, 36 Mbps

## UNIT PHYSICAL SPECIFICATIONS

Dimension	
Packaged :	14.57 x 13.70 x 8.19 in (370 x 348 x 208 mm)
Unpackaged (RUR and SUA)	10.5 x 10.5 x 2.25 in (267 x 267 x 57 mm)
Unpackaged (SUR)	12.60 x 12.60 x 2.50 in (320 x 320 x 63 mm)
Weight	
Packaged (RUR and SUA)	9.2 lbs (4.2 kg)
Unpackaged weight (RUR and SUA)	5.5 lbs (2.49 kg)
Packaged weight (SUR)	10.1 lbs (4.6 kg)
Unpackaged weight (SUR)	6.0 lbs (2.72 kg)

## ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Temperature	
Operating	-20° to 60°C (-27.3° to 140° Fahrenheit)
Storage	-55° to 80°C (-67° to 176° Fahrenheit)
Humidity	
Operating	Max 95% relative humidity (non-condensing)
Storage	Max 95% relative humidity (non-condensing)
Water and Dust Proof	IP65

## ELECTRICAL

Power Injector	
Input	42 to 60 VDC
Output	48 VDC
Power Consumption	Maximum 20 Watt

## MANAGEMENT

Local Management	RS-232 serial (SU11 and DS-S)
Remote Management	Telnet, Web GUI, TFTP
SNMP	SNMPv1/v2: MIB-II; Ethernet-like MIB Bridge MIB, MIB-2/MIB-2C, MIB-2C, Private MIB, Onixco MIB, RFC 1157, RFC 1212; RFC 1643, RFC 1432, RFC 2688

## MTRF AND WARRANTY

100,000 hours; 1-year on parts and labor

## PACKAGE CONTENTS

Tsunami MP.11 Model 5054-R Base Station or Subscriber Unit, wall/pole mounting bracket, power injector for 5054-R, country specific power cord, Ethernet cable, weather-proof plug, Documentation and Software CD-ROM

For detailed technical specifications, please go to <http://www.proxim.com/products/bwa/multipoint/5054-R/techspecs.html>

©2006 Proxim Corporation. All rights reserved. Proxim is a registered trademark and the moon logo and moon are trademarks of Proxim Corp. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. Specifications are subject to change without notice.

TS04-1004

## EQUIPO DE REPETICIÓN OUTDOOR PROXIM TSUNAMI 5054-R

CONECTOR PARA  
LA RED

CONECTOR PARA  
LA ANTENA



**ANTENA DE 27DB TIPO REJILLA PARA WIMAX**



**ROLLOS DE CABLE PARA EL ENLACE**



Latacunga, Marzo del 2011

**ELABORADO POR:**

Cbos.de Com Flores Freddy

Cbos. de Com Alban Luis

**APROBADO POR:**

Ing. Armando Álvarez

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN  
INSTRUMENTACIÓN

**CERTIFICADO POR:**

Dr. Eduardo Vásquez A.

SECRETARIO ACADÉMICO

