

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

CARRERA ELECTRÓNICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES



Estudio de Aplicabilidad para la introducción de la Tecnología WiMAX móvil (protocolo IEEE 802.16e 2005) en Ecuador

Trabajo de graduación previo a la
obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica Digital y Telecomunicaciones.

AUTOR:

José Leonardo Muñoz Corrales.

TUTOR:

Ing. José Robles.

Quito, Mayo 2013



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Docente de la Facultad de Electrónica, DIRECTOR del Proyecto: ***ESTUDIO DE APLICABILIDAD PARA LA INTRODUCCIÓN DE LA TECNOLOGÍA WIMAX MÓVIL (PROTOCOLO IEEE 802.16E 2005) EN ECUADOR.*** Presentado por el ciudadano José Leonardo Muñoz Corrales, estudiante del programa de Ingeniería en Electrónica Digital y Telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la revisión y evaluación respectiva por parte del Tribunal de grado que se digne para su correspondiente estudio y calificación.

Quito, Febrero del 2013.

EL TUTOR

Ing. José Robles



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

El abajo firmante, declara que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente proyecto, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica Digital y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticos y personales, de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

José Leonardo Muñoz Corrales

C.I 1713737185.



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

Proyecto de aprobación de acuerdo con el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Electrónica de la Universidad Tecnológica Israel.

Quito, Febrero del 2013.

Para constancia firman:

TRIBUNAL DE GRADO

F.....

PRESIDENTE

F

VOCAL

F

VOCAL.



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres por haberme brindado su apoyo en todo momento, a toda mi familia quienes siempre estuvieron dándome ánimos para culminar esta etapa de mi vida

Leonardo



"Responsabilidad con pensamiento positivo"

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a todos mis Docentes, quienes han compartido sus conocimientos, gracias por la paciencia y la dedicación hacia quienes han venido formando como profesionales. Un agradecimiento muy especial a mi Tutor, Ing. José Robles, por su valiosa contribución en este Trabajo de Investigación

GRACIAS.



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.-TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.1. ANTECEDENTES	3
1.2.2. DIAGNÓSTICO O PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA GENERAL	5
1.2.3. CAUSA – EFECTOS.....	9
1.3. FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ESPECÍFICA	11
1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL	11
1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS	11
1.4. OBJETIVOS	12
1.4.1.- OBJETIVO GENERAL.....	12
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.5. JUSTIFICACIÓN (CUALITATIVA, CUANTITATIVA).....	13
1.5.1. TEÓRICA	13
1.5.2. METODOLÓGICA	13
1.5.3. PRÁCTICA.....	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO REFERENCIAL	15
2.1. TECNOLOGÍAS PARA MEDIOS INALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA	15

2.2. ESPECIFICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE BANDA ANCHA.....	19
2.3. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN	22
2.3.1. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN FRECUENCIA (MDF/FDM).....	23
2.3.2. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN EN TIEMPO (MDT/TDM).....	25
2.4. CODIFICACIÓN DE DATOS	27
2.4.1. CODIFICACIÓN NRZ.....	27
2.4.2. BINARIO MULTINIVEL	29
2.4.3. BIFASE.....	30
2.5. CONCEPTOS GENERALES DE OTRAS TECNOLOGÍAS	31
2.6. TECNOLOGÍA OFDM/OFDMA	32
2.7. TECNOLOGÍA WIMAX	35
2.7.1. WIMAX MÓVIL.....	38
2.7.2. CALIDAD DE SERVICIO (QOS).....	40
2.7.3. MODULACIÓN Y CODIFICACIÓN EN WIMAX.....	42
2.7.4. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN EN WIMAX.....	43
2.8. CONEXIONES Y DIRECCIONAMIENTO DE WIMAX MÓVIL	45
2.8.1. TOPOLOGÍA PUNTO MULTIPUNTO.....	47
2.8.2. TOPOLOGÍA DE MALLA	48
CAPÍTULO III	50
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD LEGAL Y COMERCIAL	50
3.1.- ÁMBITO LEGAL REGULATORIO PARA WIMAX MÓVIL	50
3.1.1. SITUACION DE LA TECNOLOGÍA DE WIMAX MÓVIL	50
3.1.2. MARCO REGULATORIO PARA SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA EN EL ECUADOR	51
3.1.3. REGULACIÓN DE SERVICIOS	54
3.2. ESTUDIO DE MERCADO	56
3.2.1. GENERALIDADES	56
3.2.2. ASPECTOS TÉCNICOS Y METODOLÓGICOS.....	56
3.2.3. TIPOS DE ESTUDIOS.....	57
3.2.4. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA	57
3.2.5. ESTUDIO DEL POTENCIAL CLIENTE DEL PROYECTO.....	60
CAPÍTULO IV	77
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA Y FINANCIERA.....	77
4.1 DISEÑO DE LA RED.....	77

4.1.1 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS	77
4.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	77
4.1.2 UBICACIÓN DE NODOS	81
4.1.3 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS	86
ESTACIÓN BASE HIPERMAX	87
ESTACIÓN BASE MICROMAX	87
EQUIPO TERMINAL DE USUARIO (CPE)	88
4.1.4 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RED	90
4.1.5 DISEÑO DE ENLACES PUNTO A PUNTO.....	91
4.1.6 RESULTADOS DE LOS CALCULOS DE ENLACES	100
4.1.6 DISEÑO DE LAS CELDAS.....	102
4.1.7 ÁREA DE COBERTURA DE LAS RADIOBASES	102
4.1.11. DIAGRAMA GENERAL DE LA RED WIMAX.....	106
4.1.8 INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	106
4.2 ESTUDIO FINANCIERO	109
4.2.1 INVERSION INICIAL	109
4.2.3 FINANCIAMIENTO.....	113
4.2.4 INGRESOS	115
4.2.5 EVALUACIÓN FINANCIERA.....	116
CAPITULO V	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
5.1 CONCLUSIONES	120
5.2 RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFÍA.	123



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE REDES INALÁMBRICAS	20
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR WIMAX	38
TABLA 2.3 CALIDAD DE SERVICIO (QOS).....	42
TABLA 2.4. MODULACIONES Y CODIFICACIONES EN WIMAX	44
TABLA 3.1 BANDAS DEL PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS – WIMAX MÓVIL.....	54
TABLA 3.2. OPERADORAS HABILITADAS PARA PRESTAR SERVICIO DE COMUNICACIONES EN EL ECUADOR	59
TABLA 3.3 PROVEEDORES AUTORIZADOS DE INTERNET EN EL ECUADOR	59
TABLA 3.4 CONTRATA SERVICIOS INTERNET.....	66
TABLA. 3.5 PERSONAS DEL ENTORNO CON ACCESO A INTERNET MÓVIL	67
TABLA. 3.5 PROVEEDORES QUE CONOCE DE SERVICIO DE INTERNET	68
TABLA. 3.5 INTERNET COMO NECESIDAD	69
TABLA. 3.6 INTERÉS POR CONTRATAR INTERNET	70
TABLA. 3.7 PRECIO PREFERENCIAL	71
TABLA. 3.8 PRECIO PREFERENCIAL	72
TABLA. 3.9 OPCIONES DE VELOCIDAD Y PRECIO	73
TABLA. 3.10 VALORACIÓN DE ATRIBUTOS	74
TABLA. 3.11 VALORACIÓN DE ATRIBUTOS	75
TABLA. 3.12 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.....	77

TABLA. 4.1 COMPARACIÓN DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO INTERNOS MÁS UTILIZADOS	80
TABLA. 4.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS NODOS DE COMUNICACIÓN.	83
TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS WIMAX.....	87
FIG. 4.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	90
TABLA 4.5 DISTANCIA Y FRECUENCIA ASIGNADA A LOS ENLACES.....	92
TABLA 4.6 DISTANCIAS Y FRECUENCIAS DE ENLACES HACIA NODOS	97
TABLA 4.7 ÁREA DE COBERTURA RADIOBASE PANAMERICANA.....	104
TABLA 4.8 TABLA DIRECCIONAMIENTO DEL HAZ DE SEÑAL RADIOBASE PANAMERICANA	105
TABLA 4.14 FRECUENCIAS DISPONIBLES CON CANALES DE 10MHZ EN LA BANDA DE 3.5 GHZ.	105
TABLA 4.15 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS RADIOBASE 1	106
TABLA 4.16 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS RADIOBASE COTAC	106
TABLA 4.17 TABLA DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS RADIOBASE PANAMERICANA	106
TABLA 4.18 COSTOS DE LAS ESTACIONES BASES.....	110
TABLA 4.19 PRECIO DE LA LICENCIA DEL SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN	111
TABLA 4.20 PRECIOS DE LOS CPE`S	111
TABLA 4.21 COSTOS DE ACCESORIOS PARA INSTALACIÓN.....	112
TABLA 4.22 COSTOS DE TORRES E INSTALACIÓN DE RADIOS BASE.....	112
4.2.1.3 COSTOS DE LOS EQUIPOS TERMINALES INCREMENTALES.....	112
TABLA 4.23 COSTOS DE ACCESORIOS PARA INSTALACIÓN.....	113
TABLA 4.25 TABLA DE AMORTIZACIÓN DEL CREDITO.....	115
TABLA 4.26 PROYECCIÓN DE INGRESOS ANUALES.....	116
TABLA 4.27 RESUMEN DE RELACIÓN COSTO/BENEFICIO	119



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

INDICE DE GRÁFICOS

FIG. 1. ÁRBOL DEL PROBLEMA	9
FIG. 2.1 RELACIÓN COBERTURA/TASA DE TRANSFERENCIA.....	18
FIG. 2.2. RELACIÓN DE MOVILIDAD CON TASA DE TRANSFERENCIA.....	19
FIG. 2.3 ESPECIFICACIONES COMPARATIVAS DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS	20
FIG. 2.4 EJEMPLO DEL PROCESO DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.....	24
FIG. 2.5 EJEMPLO DEL PROCESO DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA	26
FIG. 2.6 FORMATOS DE CODIFICACIÓN NRZ USANDO SEÑAL DIGITAL	29
FIG. 2.7 FORMATOS DE CODIFICACIÓN MULTINIVEL USANDO SEÑAL DIGITAL	30
FIG. 2.8 FORMATOS DE CODIFICACIÓN BIFASE USANDO SEÑAL DIGITAL	31
FIG. 2.9 ESQUEMA DE MULTIPLEXACIÓN ORTOGONAL	33
FIG. 2.10 ESQUEMA DE MODULACIÓN ADAPTATIVA	43
FIG. 2.11 UPLINK EN OFDM Y OFDMA.....	46
FIG. 2.12 ESQUEMA MS, ASN, CSN.....	46
FIG. 2.13 TOPOLOGÍA PUNTO MULTIPUNTO	48
FIG. 2.14. EJEMPLO DE RED TIPO MALLA	49
FIG. 3.1 CONTRATA SERVICIOS INTERNET	66
FIG. 3.2 PERSONAS DEL ENTORNO CON ACCESO A INTERNET MÓVIL	67
FIG. 3.3 PROVEEDORES QUE CONOCE DE SERVICIO DE INTERNET	68

FIG. 3.4. INTERNET COMO NECESIDAD.....	69
FIG. 3.5 INTERÉS POR CONTRATAR INTERNET	70
FIG. 3.6 PRECIO PREFERENCIAL.....	71
FIG. 3.7 OPCIONES DE VELOCIDAD Y PRECIO	73
FIG. 3.8 VALORACIÓN DE ATRIBUTOS.....	74
FIG. 4.1 DIAGRAMA DE RED.....	82
FIG. 4.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL NODO BASE 1.....	84
FIG. 4.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL NODO COTAC	84
FIG. 4.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL NODO PANAMERICANA	85
FIG. 4.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE NODOS, ZONA DE COBERTURA Y PERFIL GEOGRÁFICO	85
FIG. 4.6 TRAYECTORIA DE ENLACES CERRO PICHINCHA - NODOS	86
FIG. 4.7 CPE WIMAX, PARA APLICACIONES FIJAS Y MÓVILES.....	89
FIG. 4.9 TERMINALES NMS DE CLIENTE DISTRIBUIDOS	91
FIG. 4.16 ESQUEMA DEL PRESUPUESTO DEL ENLACE.....	99
FIG. 4.17 ÁREA DE COBERTURA DE LAS RADIO BASES.....	103
FIG. 4.17 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS A LOS NODOS Y ASIGNACIÓN DE REUSO DE FRECUENCIA.	106
FIG. 4.18 DIAGRAMA GENERAL DE LA RED.....	107
FIG. 4.19 SUBSISTEMA DE ENERGÍA TÍPICO RECTIFICADORES	108



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

INTRODUCCIÓN

Las Telecomunicaciones y las Tecnologías de la Información en la actualidad son una herramienta fundamental para el desarrollo de los pueblos es por eso que se debe contar con la información necesaria que nos permita adoptar e incluso desarrollar estas nuevas tendencia tecnológicas.

En el presente trabajo de Investigación se hace énfasis en determinar la conveniencia o no del ingreso de la Tecnología WiMAX MOVIL (PROTOCOLO IEEE 802.16e 2005) en el Ecuador como una alternativa de acceso a Internet Móvil con Tecnología 4G, tomando en cuenta que las bandas de frecuencia en las cuales funciona ya se encuentran concesionadas a otros servicios móviles.

El presente trabajo está dividido en cinco capítulos los cuales son detallados brevemente a continuación:

En el Capítulo I se hace referencia a la justificación y delimitación del tema de investigación, se determina la problemática a tratar y se establecen los objetivos a los que se quiere llegar con el desarrollo de esta investigación, así como la metodología aplicada en la misma

El Capitulo II es el Marco Referencial en cual se cita la información teórica necesaria para el desarrollo de la presente investigación.

En el desarrollo del Capítulo III es encuentra el estudio de factibilidad legal y un breve estudio de factibilidad comercial, en el primero se analiza la situación actual de la distribución del Espectro radioeléctrico en el Ecuador con respecto a las bandas de Frecuencia en las cuales opera WiMAX Móvil, mientras que en la segunda parte de este capítulo se realiza un análisis a la respuesta del mercado a esta tecnología mediante una encuesta aplicada a una muestra poblacional tomada en el norte del Distrito Metropolitano de Quito.

En el Capítulo IV se encuentra el Estudio de Factibilidad Técnica y Financiera, en la primera parte del capítulo se expone el diseño de una red WiMAX móvil, aplicada a la

zona de estudio de la cual se tomo la muestra para las encuestas realizadas en el estudio de Factibilidad Comercial del capítulo previo. La segunda parte del Capítulo IV se realiza el análisis financiero para la ejecución del proyecto en base a los costos generados en el diseño de la red y las proyecciones de ingresos aplicados al proyecto.

Finalmente en el Capítulo V se encuentran las conclusiones y recomendaciones del presente Trabajo de Titulación de Pregrado, en el cual se realiza el análisis de toda la información documentada, con lo que se determina el objetivo principal.

CAPÍTULO I

JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.-Tema de Investigación

ESTUDIO DE APLICABILIDAD PARA LA INTRODUCCION DE LA TECNOLOGIA WiMAX MOVIL (PROTOCOLO IEEE 802.16e 2005) EN ECUADOR

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Antecedentes

Un requerimiento que actualmente demanda el mercado de las telecomunicaciones, es el de la movilidad. Los cambios sociales y tecnológicos actuales, exigen estar constantemente conectados y con acceso a redes de información en todo momento; además de que las aplicaciones que utilizan conexión de internet, requieren un ancho de banda cada vez mayor. “Estas limitaciones han motivado el desarrollo de un estándar inalámbrico llamado WIMAX (IEEE. 802,16 E) que llegue a mayor número de usuarios y fomente la introducción de nuevos servicios de comunicaciones”¹.

Una aplicación muy importante dado los niveles de inseguridad en áreas urbanas, especialmente en las ciudades más grandes, sería el monitoreo en tiempo real de las unidades de transporte público que con la característica de streaming², que ofrece esta tecnología se podría tener imagen en tiempo real dentro de estas unidades.

¹ LLORET, Jaime. GARCÍA, Miguel. BORONET, Fernando, 2009, IPTV: La Televisión por internet, Editorial Vértice, España.

² El termino **streaming** no tiene una traducción textual al español por lo que se lo define como la distribución de multimedia a través de una red de computadoras de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga.

Disponible en: es.wikipedia.org/wiki/Streaming

Las actuales condiciones de cobertura, tasa de transmisión, calidad de servicio hacen de WiMAX móvil (IEEE 802.16e 2005) una alternativa adecuada para hacer frente al constante crecimiento de los usuarios utilizando racionalmente el espectro radioeléctrico.

La distribución del espectro radioeléctrico permitirá que esta tecnología ingrese al mercado ecuatoriano, con la cual se tendría la posibilidad de dar acceso a una variedad de servicios móviles basados en Internet y banda ancha, tales como: comunicación en tiempo real, juegos en línea, VoIP, streaming media, transferencia de datos a terminales móviles, navegación web, etc. En la actualidad, dada la constante evolución de las tecnologías en las telecomunicaciones, las exigencias y los nuevos requerimientos del mercado, se deben ofrecer servicios acordes a las nuevas tendencias de conectividad de la sociedad.

Esta tecnología considera aspectos como:

- Medios inalámbricos de banda ancha
- Especificaciones de tecnologías Wireless
- Técnicas de multiplexación
- Codificación de datos
- Topologías de red
- Tecnología OFDM/OFDMA
- Calidad de Servicio (QoS)

Es muy importante en este tema, tener en cuenta que Ecuador no regula tecnologías, regula servicios que deben estar acorde a la normativa del Plan Nacional de Frecuencias, ya que las frecuencias que se utilizan para el funcionamiento de WiMAX Móvil se encuentran asignadas a otros servicios de telecomunicaciones.

1.2.2. Diagnóstico o planteamiento de la problemática general

Dadas las características técnicas de esta tecnología se puede definir a WiMAX como un sistema de Modulación Digital de Banda Ancha, lo que se hace referencia en la “Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (Resolución 417-15-CONATEL-2005)”

Hoy en día, existen dos tipos principales de tecnología WiMAX:

WiMAX fija (802.16d-2004), es una tecnología de punto a varios puntos, en tanto que la WiMAX móvil es una tecnología de varios puntos a varios puntos, que se asemeja a la de una infraestructura celular. Estas dos soluciones fueron diseñadas para brindar servicios inalámbricos de banda ancha de alto rendimiento a costos reducidos.

El estándar 802.16d o WiMAX Fijo, utiliza la banda de frecuencia licenciada en 2,5 GHz (2,5-2,69 GHz) y la no licenciada en 5 GHz (5,25-5,85 GHz).

En la actualidad, en Ecuador se encuentran varias redes del servicio WiMAX fijo instaladas en distintas provincias, entre ellas se puede destacar:

La red WiMAX de TVCable que da servicio los sectores de La Prosperina, Los Ceibos, Mapasingue y Vía a Daule Kilometro 14. Desarrollada con el objetivo de brindar los servicios de la empresa en esta zona que ha sido constantemente afectada por problemas como el robo permanente de cable de cobre.

En la Provincia de Pichincha, a inicios del 2009, arranca un proyecto que al momento cuenta con 14 redes WiMAX fijo, instaladas para ofrecer principalmente el servicio de telefonía fija en varios sectores de la ciudad, tales

como: Quitumbe, Valle de Los Chillos y Cumbaya con capacidad instalada para 2936 usuarios.

Otro proyecto importante de mencionar, es el implementado en las Provincias de Los Ríos, Manabí, Bolívar y Santa Elena, donde se instalaron 1500 líneas de telefonía fija y 1160 puertos de internet.

Existe un proyecto a desarrollarse entre Intel y la estación científica Charles Darwin en Galápagos, para implementar una red de interconexión WiMAX entre las diferentes islas que conforman el archipiélago.

Las empresas de telefonía móvil en Ecuador, ofrecen paquetes de navegación que permite disponer de esta conectividad móvil, pero tiene el inconveniente de ser un servicio costoso y está configurado para ofrecer al cliente cantidad de información y velocidad limitada, tanto de subida como de bajada.

Hasta el 31 de Enero del 2013, todavía existía espacio disponible en el rango de frecuencias de 3,4 a 3,7 GHz, que todavía no ha sido subastado, en el cual podría entrar a operar WiMAX Móvil en el país.

La tecnología WiMAX Móvil, permite desplegar su cobertura en zonas tanto urbanas como rurales de países en vías de desarrollo como el Ecuador, muchos de estos sectores, se encuentran desprovistos de este servicio por lo costoso que resulta tender redes de par de cobre, cable coaxial o fibra óptica; cabe destacar que estas redes se ven afectadas con frecuencia por robos, vandalismo, corte accidental de los conductores, por lo que requieren de personal de planta externa para dar un constante mantenimiento. Este es uno de los motivos que hacen que se requiera de una alta densidad de población y de poder adquisitivo del sector al cual se oriente el servicio para realizar estas inversiones.

Se debe tener en cuenta que, a pesar del alto grado de inserción de la telefonía celular que existe en el Ecuador, donde hasta el mes de Diciembre

del 2012 contaba con 16,984.298 líneas, la gran mayoría de usuarios de servicio, limita su uso al servicio de telefonía móvil y SMS. También hay estadísticas proporcionadas que indican que de igual forma a Diciembre del 2012, existen 3,300480 dispositivos móviles con Internet en el país, lo cual es un segmento importante y creciente en el mercado que utiliza estos servicios.

El servicio de internet móvil, ofrecido por las empresas de telefonía celular en el país, ha tenido gran aceptación, por lo que es necesario contar con otras alternativa de servicios de este tipo como por ejemplo WiMAX Móvil, que en la actualidad no existe en nuestro medio; en el que su velocidad de descarga, su área de cobertura, cantidad de información y su costo no sean limitantes, más aun cuando las nuevas aplicaciones de internet como por ejemplo streaming, juegos en línea, requieren de una mayor cantidad de paquetes de datos. Tomando en cuenta el ejemplo dado por la conexión a internet mediante Dial Up, este tipo de acceso es poco práctico en la actualidad, si se quiere acceder a páginas como: Facebook, Youtube, aplicaciones como Skype entre otras, por lo que se debe estar preparado para los requerimientos de de estas y otras nuevas aplicaciones.

En Ecuador, el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) expidió un documento referente a la regulación de los Sistemas de Modulación Digital de banda ancha llamado: “SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL DE BANDA ANCHA”, que hace referencias para la regulación a los siguientes documentos oficiales:

- Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (*Resolución 417-15-CONATEL-2005*)
- Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico (*Resolución 769 - 31 - CONATEL - 2003*).
- Plan Nacional de Frecuencias (*Año 2000*)

Al analizar los documentos listados, no se encuentra información regulatoria con la terminología de WiMAX y, tomando en cuenta que Ecuador

solo regula servicios de Telecomunicaciones, se establece que en el país no se han definido políticas específicas con respecto al uso del espectro radioeléctrico, que permita la operación en las bandas de frecuencia para el funcionamiento de la tecnología WiMAX MOVIL (PROTOCOLO IEEE 802.16e 2005). Tampoco se ha realizado un análisis de la asignación de bandas en el Plan Nacional de Frecuencias, para determinar la más apropiada para el funcionamiento de esta tecnología, ya que como se ha indicado anteriormente Ecuador regula servicios no tecnología,

Los registros de la Superintendencia de Telecomunicaciones y el actual MINTEL, señalan que los índices de cobertura en Internet y telefonía en Ecuador son inferiores respecto de otros países de Latinoamérica como Colombia, Perú y Chile. Esta brecha se está reduciendo debido al creciente aumento de suscriptores de estos servicios. Se tienen datos estadísticos del INEC, obtenidos de los Censos económicos de población y vivienda del año 2010, con los que se puede estimar el comportamiento de la demanda de los actuales servicios de Internet, pero no se tienen parámetros del grado de aceptación del mercado nacional a nuevas ofertas de servicios de telecomunicaciones

En la actual distribución del Plan Nacional de Frecuencias, las bandas en las que podría asignarse espacio para funcionamiento de WiMAX Móvil no están disponibles. La frecuencia más utilizada para la fabricación de dispositivos de esta tecnología es la de 3,5 GHz, la banda desde 3.4 hasta 3.7 GHz está utilizada para la operación de sistemas FWA (Fixed Wireless Access).

El CONATEL, establece que para el uso del espectro se tiene dos tipos de título; el primario, en el cual se le garantiza al beneficiario (a quien se le otorga la concesión) el uso sin interferencias y la disponibilidad de dicha banda. El secundario, simplemente autoriza al o los beneficiarios (sin concesión) a emplear una banda de frecuencia sin tener garantizado la no interferencia por parte de otros sistemas. Puesto que WiMAX Móvil no trabaja en bandas no licenciadas, al momento no se le puede asignar un espacio en el espectro.

No se ha contemplado un plan de migración de frecuencias, en el caso de ser factible la introducción de WiMAX Móvil en Ecuador, en el que se tome en cuenta el menor impacto en la distribución actual del Plan Nacional de Frecuencias, así como el menor costo económico resultado de esta transición.

1.2.3. Causa – Efectos

El detalle de las causas y efectos asociados a este estudio, se muestran en el siguiente árbol de problemas:

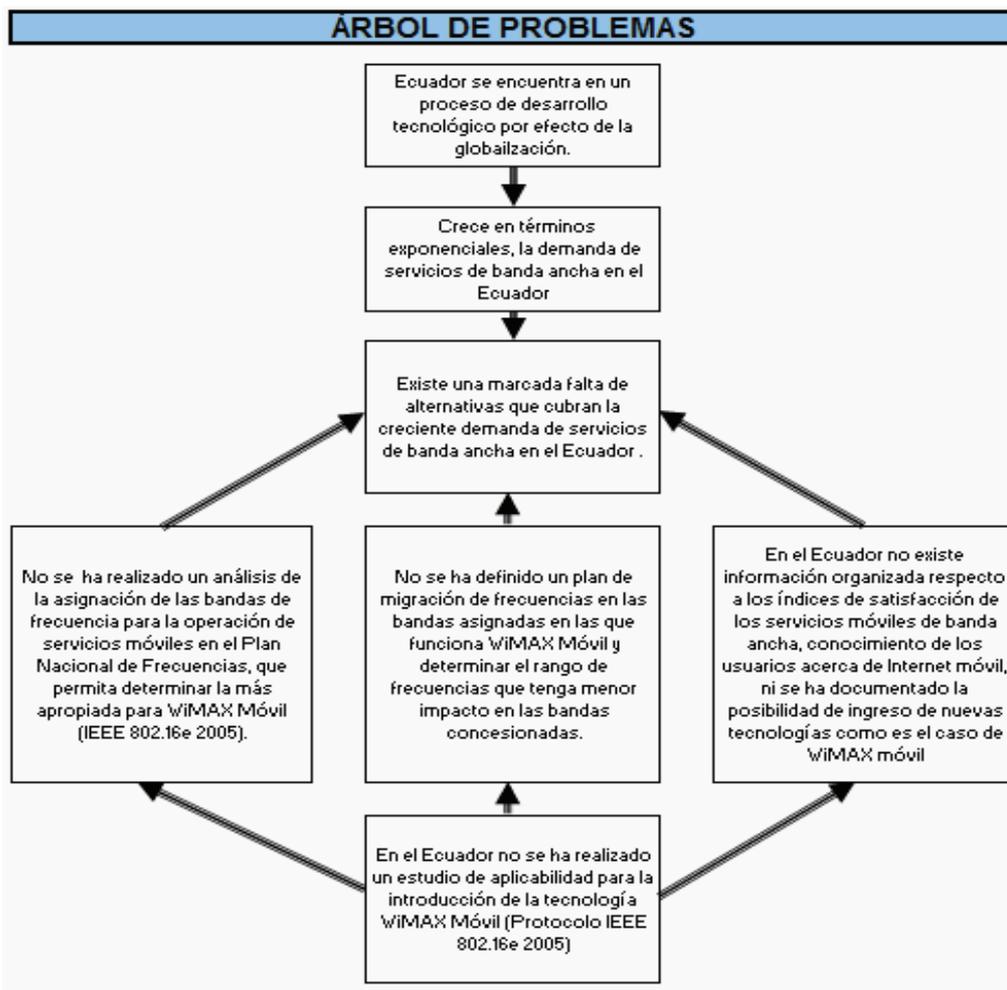


Fig. 1. Árbol del problema

El problema que debe solucionarse es: la falta de alternativas que cubran la creciente demanda de servicios de banda ancha en el Ecuador; se hace

necesaria la introducción al mercado de este país de tecnologías acordes a las nuevas necesidades y requerimientos del mercado.

La causa principal que lo genera, es que en el Ecuador no se ha realizado un estudio de aplicabilidad para la introducción de la tecnología WiMAX Móvil (Protocolo IEEE 802.16e 2005).

1.3. Formulación de la Problemática Específica

Con las consideraciones anteriores, se tiene que la formulación de la problemática específica es:

1.3.1. Problema principal

En Ecuador no se realizó un estudio de aplicabilidad para la introducción de la tecnología WiMAX Móvil (Protocolo IEEE 802.16e 2005)

1.3.2. Problemas secundarios

1. No se ha realizado un análisis de la asignación de las bandas de frecuencia para la operación de servicios móviles en el Plan Nacional de Frecuencias, que permita determinar la más apropiada para el de WiMAX Móvil (IEEE 802.16e 2005).
2. No existe información organizada en el país, respecto a los índices de satisfacción de los servicios móviles de banda ancha, conocimiento de los usuarios acerca de Internet móvil, ni se ha documentado la posibilidad de ingreso de nuevas tecnologías como es el caso de WiMAX móvil
3. No se ha definido un plan de migración de frecuencias en las bandas asignadas en las que funciona WiMAX Móvil y determinar el rango de frecuencias que tenga menor impacto en las bandas concesionadas.

1.4. Objetivos

Los objetivos asociados a la presente investigación son:

1.4.1.- Objetivo general

Elaborar un estudio de aplicabilidad para la introducción de la tecnología WiMAX MOVIL (PROTOCOLO IEEE 802.16e 2005) en Ecuador

1.4.2. Objetivos específicos

1. Analizar en el Plan Nacional de Frecuencias, la asignación de las bandas para la operación de servicios móviles, a fin de identificar la banda más apropiada para el funcionamiento de la tecnología WiMAX Móvil (Protocolo IEEE 802.16e 2005) en Ecuador
2. Recopilar información acerca de la opinión de una muestra de usuarios sobre los índices de satisfacción de los servicios móviles de banda ancha y el nivel de conocimiento del público acerca de los servicios de Internet móvil, definir el grado de aceptación de WiMAX Móvil en el mercado
3. Definir un plan de migración de frecuencias en las bandas asignadas en las que WiMAX Móvil funciona y determinar el rango de frecuencias en las bandas concesionadas en las que se dé el menor impacto de darse el caso de una migración.

1.5. Justificación (Cualitativa, Cuantitativa)

1.5.1. Teórica

La investigación se desarrolló con una metodología centrada en la descripción y el análisis, en el marco de la investigación-documental. Por el nivel es investigación exploratoria ya que no se dispone de la suficiente información referente al tema.

En la Actualidad las comunicaciones inalámbricas han alcanzado un gran desarrollo, bien sea como telefonía móvil, acceso a internet, Tv de pago, etc. Esta investigación, contribuye en la obtención de nuevos conocimientos, con respecto al ingreso de nuevas tecnologías inalámbricas, que tengan la capacidad de brindar todos estos servicios tomando en cuenta los crecientes requerimientos de los usuarios.

En el Plan Nacional de Frecuencias establecido en el Ecuador, se indica que se aprobará la operación de sistemas de radio comunicaciones que utilicen técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha, (entre ellos 802.16d-2004) en las siguientes bandas de frecuencias

Bandas (MHz)

902 – 928

2400 – 2483.5

5150 – 5250

5250 – 5350

5470 – 5725

5725 – 5850

Como se observa en el cuadro anterior, no se han tomado en cuenta dentro de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, a las bandas de frecuencia en las que opera WiMAX Móvil, lo que hace necesario investigar este tema.

Los resultados obtenidos de esta investigación, plantean nuevas referencias para proyectos posteriores, relacionados a la implementación de la tecnología WiMAX móvil en el Ecuador.

1.5.2. Metodológica

Dada la diversidad de tópicos, que se asocian al tema principal de este análisis técnico, se aplicaron diferentes métodos de investigación, así:

- Método analítico, aplicado para determinar la actual situación acerca la prestación del servicio de internet móvil en el Ecuador, por las distintas empresas operadoras.
- Método descriptivo, permitió evaluar las características del servicio Internet banda ancha en el Ecuador y sus variaciones en aspectos como: número de usuarios, método de acceso, tasa de transferencia dada; en los últimos años.
- Aplicando el método comparativo, se determinaron las fortalezas y debilidades de esta tecnología con respecto a otras tecnologías que brindan servicio de internet móvil en el país.
- Método sintético, permitió manejar información obtenida a partir de las encuestas que se aplicaron, para conocer información sobre el comportamiento del mercado y el grado de aceptación hacia nuevas alternativas de internet móvil.

1.5.3. Práctica

El principal beneficiario de la presente investigación sería el Estado Ecuatoriano, mediante sus Organismos Reguladores de la Telecomunicaciones, ya que con la misma se pretende promover y profundizar en el análisis de las alternativas tecnológicas y sus oportunidades de ser aplicadas en nuestro país.

De los resultados del presente estudio, se deriva el sustento técnico, para poder realizar estudios posteriores en los que se pueda determinar la factibilidad del ingreso de la Tecnología WiMAX MOVIL, para competir en el mercado ecuatoriano de servicios de banda -ancha inalámbrica

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

“El desarrollo y dominio de la computación digital y la tecnología de las telecomunicaciones está en el corazón de la nueva y emergente economía digital global...”³ lo que ha impulsado y consolidado el irreversible proceso de globalización. La sociedad contemporánea en su diario vivir, demanda comunicación permanente, continua conectividad a redes de información e Internet; por esto es necesario tecnologías que permitan cubrir los requerimientos de acceso a servicios en línea en tiempo real; esto ha impulsado el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas que han avanzado notoriamente en cuanto a cobertura, tasas de transmisión y calidad de servicio; pero el constante crecimiento en los requerimientos de los usuarios y la compartición del escaso recurso radioeléctrico, en diferentes aplicaciones y tecnologías, hacen necesario que los futuros sistemas prioricen la eficiencia espectral y la fiabilidad del enlace.

Justamente WiMAX es una tecnología inalámbrica de banda ancha, basada en los estándares IEEE 802.16-2004 e IEEE 802.16e-2005, que presenta características que la hacen apta para cubrir los requerimientos de las nuevas aplicaciones en el campo de la transmisión inalámbrica, por lo que se está introduciendo en la industria de las Telecomunicaciones.

Por la relevancia de esta tecnología, se ha desarrollado un marco referencial que permita conocerla y entenderla de una manera adecuada.

2.1. Tecnologías Para Medios Inalámbricos De Banda Ancha

En primer lugar es importante señalar que “banda ancha es la tecnología de transmisión de datos cuya velocidad es tal que permite descargar contenidos, datos, voz, video, incluso de forma simultánea, con una calidad óptima y a una velocidad que no

³ LAUDON, KENNETH. GUERCIO Carol. 2010, E-Commerce: Negocio, tecnología y sociedad, Prentice Hall Pearson, México, P. 143-145.

presenta retrasos, distorsiones en las descargas o errores, o que presentándolos, éstos son prácticamente imperceptibles”⁴.

La banda ancha ofrece una gran cantidad de beneficios, más en países como el Ecuador que está en vías de desarrollo, permite el intercambio de información incluso con las comunidades más alejadas, hecho que se encuentra estrechamente ligado con el derecho de acceso a la información, a los medios de comunicación, además de beneficios relacionados con el flujo de bienes y servicios; es decir que por medio de la banda ancha se puede incluir a las comunidades cuyas condiciones sociales y geográficas, impiden su integración a la sociedad de la información, lo cual se puede traducir en mejoras en materia de salud, educación, comercio, y por tanto, en la calidad de vida y el bienestar social en general.

Existen diversos sistemas de banda ancha en el mercado tecnológico, que se refieren al medio utilizado para hacer llegar la banda ancha a los usuarios, uno de ellos son los medios inalámbricos, cuya principal característica es que no necesitan cables ni conexiones físicas entre nodos, ya que su funcionamiento se basa en la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio como medio de transmisión.

Los medios inalámbricos más comunes son:

- MICROONDAS, son ondas electromagnéticas de radios situadas entre el segmento de las radiofrecuencias hasta los infrarrojos, con un rango de 10^9 Hz – 3×10^{11} Hz. son usados en: radio fusión, programas informativos, televisión por cable, y algunas redes de telefonía celular y enlaces satelitales.
- WI-FI, es un sistema de envío de datos sobre redes de computadoras y otros dispositivos electrónicos como Smartphone, reproductores de audio y video digital (Bluray), consolas de videojuegos, que utiliza ondas de radio y logra la conectividad a través de un punto de acceso. Opera en la banda de los 2,4 GHz

4 Tendencias en las Reformas de Telecomunicaciones 2007. La Reglamentación en el Mundo de la Banda Ancha. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Ginebra, Suiza. 2007.

- Wi-MAX, es un estándar de transmisión inalámbrico de datos proporcionando accesos concurrentes, utilizando tecnología que no requiere visión directa, la misma que transforma las señales de voz y datos en ondas de radio, y ofrece velocidades de banda ancha para un área metropolitana.
- BLUE TOOTH, es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos electrónicos mediante un enlace de radiofrecuencia ya que estos pueden ser configurados como transmisor/receptor permitiendo una disponibilidad permanente para el intercambio de información.
- IRDA (Infrared Data Association), define un estándar físico de transmisión y recepción de datos por medio de rayos luminosos que se mueven en el espectro infrarrojo; estos estándares soportan una amplia gama de dispositivos eléctricos, informáticos y de comunicaciones, y permite la comunicación bidireccional a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps.
- GSM es la tecnología inalámbrica más ampliamente disponible en el mundo, provee claridad de voz en las llamadas, si bien los datos constituyen una aplicación inalámbrica cada vez más popular, los servicios de voz son el principal motivo para utilizar tecnología inalámbrica.
- 3G o UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service), los servicios asociados a esta tecnología, posibilitan transferir tanto voz y datos, fruto de la evolución de la tecnología se pueden alcanzar velocidades superiores a los 3 Mbit/s por usuario móvil.
- CDMA (Acceso múltiple por división de código), es un estándar digital que soporta velocidades de datos de alrededor de 14,4KBPS vía conmutación de paquetes y vía conmutación de circuitos; permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de radiofrecuencia por asignación de un código único a cada usuario activo.

- GPRS (General Packet Radio Service), es una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes).

Permite velocidades de transferencia de 56 a 144 kbps; con GPRS se pueden utilizar servicios tales como Wireless Application Protocol (WAP), servicio de mensajes cortos (SMS), servicio de mensajería multimedia (MMS), Internet y para los servicios de comunicación, como el correo electrónico y la World Wide Web (www).

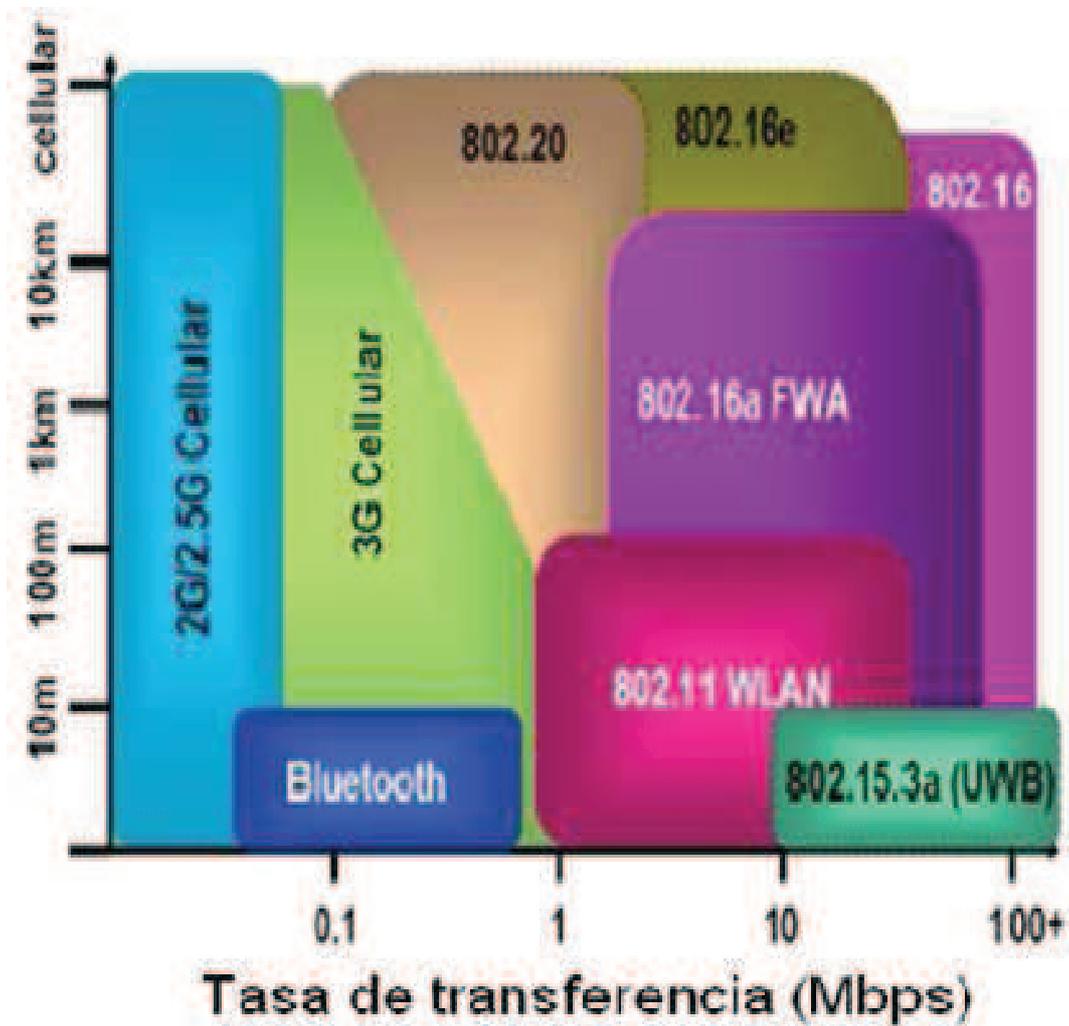


Fig. 2.1 Relación cobertura/tasa de transferencia⁵

5

<http://redeswimax.jimdo.com/wimax/wimax-caracteristicas-fundamentales/>

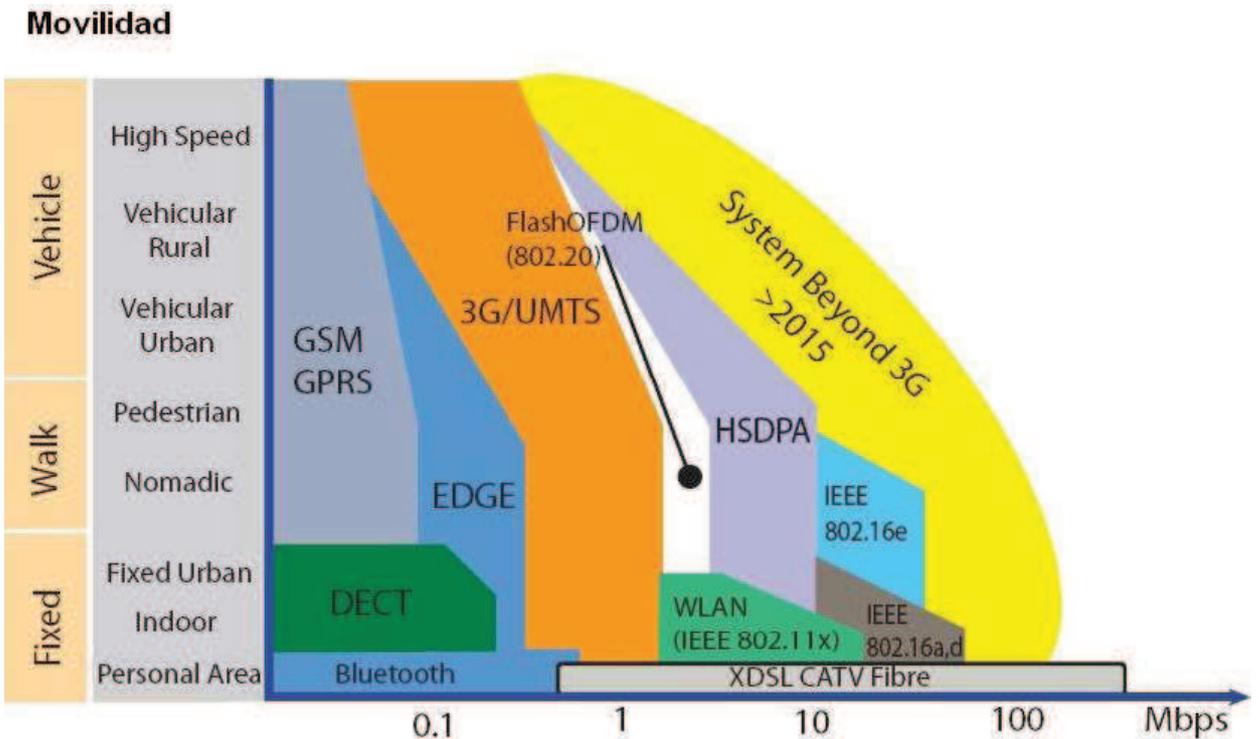


Fig. 2.2. Relación de movilidad con tasa de transferencia⁶

2.2. Especificaciones De Las Tecnologías Inalámbricas De Banda Ancha

Es importante ubicar a WiMAX dentro de la clasificación de las redes inalámbricas, las mismas que se definen en función del área de cobertura; no cabe duda que la industria de las Telecomunicaciones apuesta por el éxito de esta tecnología inalámbrica de banda ancha a nivel mundial.

El siguiente esquema presenta los diferentes tipos de redes inalámbricas y los estándares más representativos de las mismas:

⁶ <http://redeswimax.jimdo.com/wimax/wimax-caracteristicas-fundamentales/>

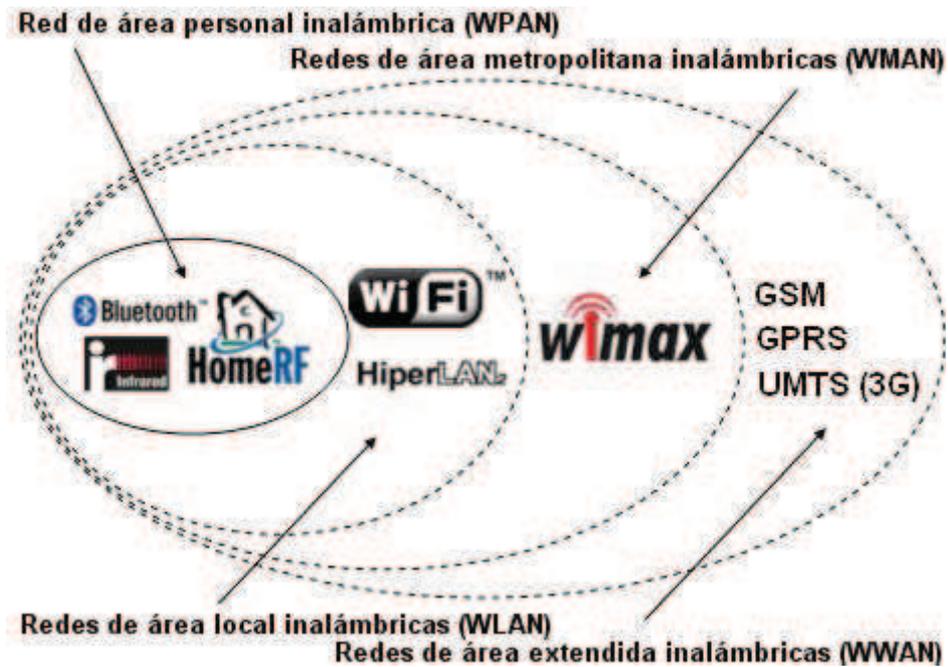


Fig. 2.3 Especificaciones comparativas de las tecnologías inalámbricas⁷

TIPO DE RED	WWAM (WIDE)	WMAN (METROPOLITAN)	WLAN (LOCAL)	WPAN (PERSONAL)
ESTÁNDAR	GSM/GPRS/UMTS	IEEE 802.16 (LMDS, WIMAX)	IEEE 802.11 (Wi-Fi)	IEEE 802.15 (Bluetooth)
VELOCIDAD	9,6/170/2000 Kb/s	15 – 134 Mb/s	1 -2 -11-54 Mb/s	721 Kb/s
FRECUENCIA	0,9/1,8/2,1 GHz	2 - 66 GHz	2, 4 y 5 GHz Infrarrojo	2,4 GHz
RANGO	35 Km	1,6 – 50 Km	70 - 150 m	10 m
TÉCNICA RADIO	Varias	Varias	FHSS, DSSS, OFDM	FHSS
ITINERANCIA (ROAMING)	Si	Si	Si	No
EQUIVALENCIA	Conexión telefónica (modem)	ADSL, CATV	LAN	Cables de conexión

Tabla 2.1 Características de Redes Inalámbricas⁸

7 http://2.bp.blogspot.com/_ubcL-XpWdfM/S_DPjetGJVI/AAAAAAAAA0Y/n0b-bjCN8HU/s1600/wireless-images-wpan-wlan-wman-wwan.JPG

8 Data Networks. Concepts, Theory, and Practice. Uyles Black. Prentice-Hall International Inc., 2008.

1. WPAN (Wireless Personal Área Network), son redes inalámbricas de bajo alcance que cubren distancias de hasta 10m, con velocidades de hasta 1Mbps; permiten a los usuarios establecer redes entre dispositivos en un espacio reducido, o permiten conectarse a otras redes y brindar comunicaciones inalámbricas a dispositivos capaces de enviar y recibir información, como Laptops. El estándar más representativo es el IEEE 802.15, conocido como Bluetooth; existen otras tecnologías como el infrarrojo, o la reciente UWB (Ultra Wide Band) que ofrece una conexión a corta distancia con altas velocidades (de hasta 100Mbps).
2. WLANs (Wireless Local Área Network), son redes inalámbricas de alcance local y cubren distancias de hasta 100m con velocidades de hasta 54Mbps; permiten a los usuarios acceder a información y recursos en tiempo real sin necesidad de estar físicamente en un sólo lugar; han ganado popularidad en mercados verticales tales como hospitales, fabricas, pequeños negocios y áreas académicas, ya que incrementa la productividad y eficiencia en las actividades diarias de la empresa. Un usuario puede transmitir y recibir voz, datos y video dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades de hasta 11 Mbps. Los estándares más representativos son IEEE 802.11a, b y g; todos estos bajo el sello de WIFI (Wireless Fidelity), que asegura la interoperabilidad entre los equipos; los dispositivos que cuentan con el sello WIFI pueden soportar los diferentes tipos de estándares mencionados, por lo que no existen problemas de interoperabilidad.
3. WMANs (Wireless Metropolitan Área Network) son redes inalámbricas de mediano alcance, pueden cubrir distancias de hasta 20Km con velocidades teóricas de hasta 74Mbps; con estas redes se pueden establecer conexiones inalámbricas de banda ancha entre múltiples locaciones sin necesidad de fibra óptica, y sin el alto costo que esto demandaría. Existen dos estándares: IEEE 802.16d conocido también como IEEE⁹ 802.16d- 2004, que es el estándar fijo de WIMAX y no permite mantener una conexión inalámbrica mientras que el

usuario final se desplaza; y, el estándar IEEE 802.16e o IEEE 802.16e-2005, que es el estándar móvil para WIMAX; que se generó gracias al esfuerzo del grupo de trabajo 802.16 que se encarga del desarrollo de los estándares WIMAX a nivel mundial. Esta actualización aumenta la capacidad de transmisión y proporciona movilidad.¹⁰

4. WWAN (Wireless Wide Área Network) es una red que tiene el alcance más amplio de todas las redes inalámbricas; aprovecha de la infraestructura de red de los teléfonos móviles para proporcionar roaming de conexión de red inalámbrica; por lo que el usuario puede mantener la conexión de red incluso si está en movimiento, con la WWAN la conectividad es perfecta y ubicua, ya que el usuario se puede mover por distintas zonas, e incluso cambiar automáticamente de un punto de acceso a otro, manteniendo una conexión sin interrupciones; WWAN ofrece una cobertura más amplia y se aprovecha de diversos tipos de tecnologías tales como: 2.5G GPRS (General Packet Radio Services); 2.75G EDGE (Enhanced Data GSM Environment o entorno GSM de datos mejorados); 3G, UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service o sistema universal de telecomunicaciones móviles); 3.5G HSDPA (High Speed Downlink Packet Access o el acceso a descarga de paquetes de alta velocidad); WWAN se extenderá a 3.75G HSUPA (High Speed Uplink Packet Access o acceso a transmisión de paquetes de alta velocidad) y a las comunicaciones 4G.

Todas estas tecnologías inalámbricas tienden a ser complementarias y converger, esta convergencia es la que propone WIMAX a través de una única red capaz de brindar los servicios de voz y datos, con altas tasas de transmisión, calidad de servicio y movilidad.

2.3. Técnicas De Multiplexación

La técnica de multiplexación o multiplicación se emplea para optimizar costos en el uso de circuitos de transmisión, por lo que “representa una forma significativa de

10 <http://www.wimaxforum.org/about/roster>

ahorrar costos de comunicaciones”¹¹. Para optimizar la transferencia de información sobre un enlace de comunicaciones por fibra óptica, generalmente se multiplexan varias señales sobre una fibra simple; existen dos técnicas fundamentales para llevar a cabo la multiplexación:

- División de Frecuencia (MDF o FDM Frequency Division Multiplexing)
- División en el Tiempo (MDT o TDM Time Division Multiplexing)

2.3.1. Multiplexación por división en frecuencia (mdf/fdm)

La multiplexación por división en frecuencia es una técnica que consiste en dividir mediante filtros el espectro de frecuencias del canal de transmisión, para desplazar la señal a transmitir dentro del margen del espectro correspondiente mediante modulaciones, de tal forma que cada usuario tiene posesión exclusiva de su banda de frecuencias (sub canales).

En este tipo de multiplexación, la información que entra al sistema FDM es analógica y permanece como tal durante toda su transmisión; para esto se convierte cada fuente de varias que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias, a una banda distinta de frecuencias, y se transmite en forma simultánea por un solo medio de transmisión, con lo que se pueden transmitir muchos canales de banda angosta por un solo sistema de transmisión de banda ancha; esta operación se realiza de manera transparente a los usuarios de la línea.

Este proceso es posible cuando la anchura de banda del medio de transmisión excede la anchura de banda de las señales a transmitir. Se emplea para usuarios telefónicos, radio, TV que requieren el uso continuo del canal.

En la siguiente figura, se observa cómo la señal de cada uno de los canales modula a una portadora distinta, generada por su correspondiente oscilador O1, O2 y O3; los productos de la modulación son filtrados por medio de filtros paso banda

¹¹ CASTRO, Antonio. FUSARIO, Rubén. 2006, Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información, Impresión digital, Editorial Reverté, Barcelona.

F1, F2 y F3, lo que permite seleccionar la banda lateral adecuada, para el ejemplo se selecciona la banda lateral inferior; por último se combinan las salidas de los tres filtros y se envían al medio de transmisión, en este caso debe tener una banda de paso entre 8,6 y 19,7 kHz.

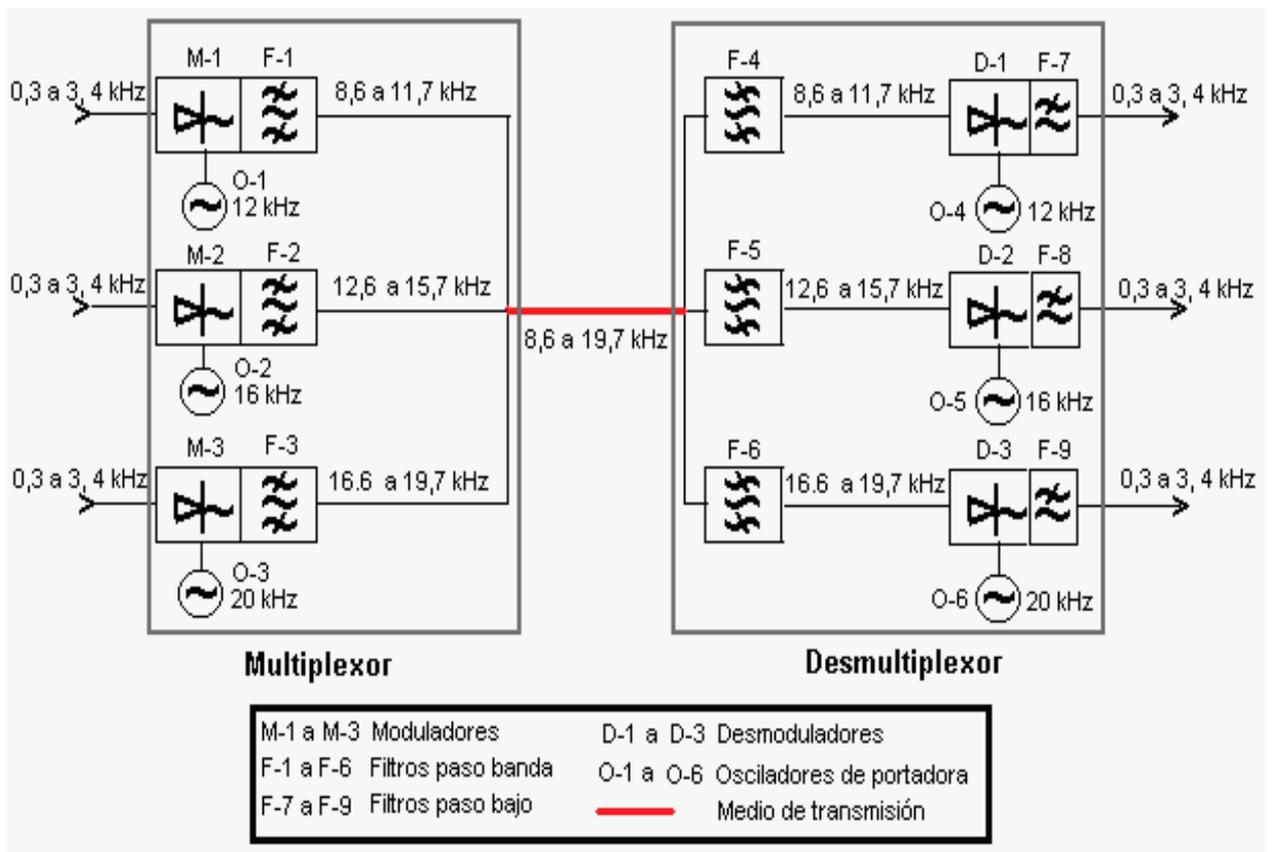


Fig. 2.4 Ejemplo del proceso de multiplexación por división de frecuencia¹²

En el punto de llegada se realiza por medio del desmultiplexor la función inversa mediante los filtros F4, F5 y F6; los demoduladores D1, D2 y D3 (cuya portadora se obtiene de los osciladores O4, O5 y O6) y finalmente a través de los filtros paso bajo F7, F8 y F9 que seleccionan la banda lateral inferior, se vuelve a obtener los canales en su banda de frecuencia de 0,3 a 3,4 kHz.

“Se pueden transmitir varias señales simultáneamente si cada una se modula con una portadora de frecuencia diferente, y las frecuencias de las portadoras están lo suficientemente separadas como para que no se produzcan

¹² <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Muxanalog.png>

interferencias; cada sub canal se separa por unas bandas de guarda para prevenir posibles interferencias por solapamiento”¹³.

La técnica de MDF presenta cierta normalización; una norma muy utilizada es la correspondiente a 12 canales de voz, cada uno de 4.000 Hz (3.100 para el usuario y el resto para la banda de guarda) multiplexado en la banda de 60-108 Khz; a esta unidad se le llama grupo. Generalmente los proveedores de servicios portadores ofrecen a sus clientes una línea alquilada de 48 a 56 Kbps, basada en un grupo; se pueden multiplexar cinco grupos (60 canales de voz) para formar un súper grupo; y un grupo maestro, está constituido por cinco súper grupos (de acuerdo con las normas del UIT) o por diez grupos (de acuerdo a Bell System).

2.3.2. Multiplexación por división en tiempo (mdt/tdm)

La multiplexación por división de tiempo es una técnica para compartir un canal de transmisión entre varios usuarios; consiste en asignar a cada usuario durante unas determinadas "ranuras de tiempo", la totalidad del ancho de banda disponible.

Esto se logra organizando el mensaje de salida en unidades de información llamadas tramas, y asignando intervalos de tiempo fijos dentro de la trama a cada canal de entrada; de esta forma el primer canal de la trama corresponde a la primera comunicación, el segundo a la segunda, y así sucesivamente, hasta que el enésimo más uno vuelva a corresponder a la primera.

El uso de esta técnica es posible cuando la tasa de los datos del medio de transmisión excede de la tasa de las señales digitales a transmitir.

En la siguiente figura se esquematiza, como se realiza la multiplexación por división de tiempo.

13 Comunicaciones y redes. William Stalings. Quinta Edición. 2009, México DF

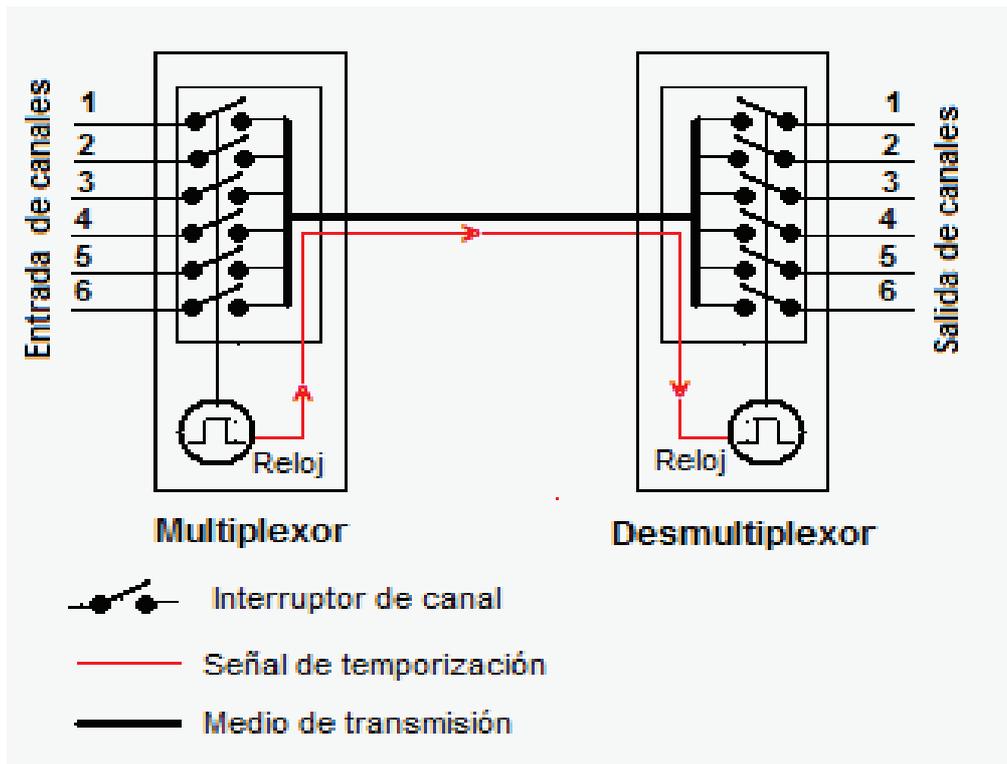


Fig. 2.5 Ejemplo del proceso de multiplexación por división de frecuencia¹⁴

En el esquema simplificando, se observa que las entradas de los canales llegan a los interruptores de canal, los mismos que van cerrando de forma secuencial, controlados por una señal de reloj; así cada canal es conectado al medio de transmisión durante un tiempo determinado por la duración de los impulsos de reloj; en el otro extremo, el demultiplexor realiza la función inversa, conectando el medio de transmisión, secuencialmente, con la salida de cada uno de los seis canales mediante interruptores controlados por el reloj del demultiplexor; el reloj del extremo receptor funciona de forma sincronizada con el del multiplexor del extremo emisor, por medio de señales de temporización que son transmitidas a través del medio de transmisión o un camino independiente.

Los MDT funcionan a nivel de bit o a nivel de carácter; en un MDT a nivel de bit, cada trama contiene un bit de cada dispositivo explorado; el MDT de caracteres manda un carácter en cada canal de la trama; éste es generalmente más eficiente pues requiere menos bits de control que un MDT de bit.

14 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Multiplexor.png>

El UIT recomienda, como primer escalón de la jerarquía de multiplexación por división en el tiempo, 24 ó 32 (30 + 2) canales telefónicos, sistemas utilizados en Estados Unidos y Japón el primero y en Europa, el segundo. Según la recomendación G-732 del UIT, el sistema MIC primario europeo multiplexa a nivel de muestra 30 canales de voz, además de un canal de alineación y otro de señalización, formando una trama de 256 bits (32 canales, una muestra por canal y 8 bits por muestra) a una frecuencia de 8 Khz (doble ancho de banda que el canal telefónico), de lo que resulta una velocidad de 2.048 kbps.

En los equipos múltiplex MIC secundario, terciario, etc., se lleva a cabo una multiplexación en el tiempo (MDT) por entrelazado de impulsos (bit a bit) a diferencia de los equipos MIC primarios; esto determina que el segundo nivel de multiplexación acepte cuatro señales digitales a 2.048 kbps para formar una señal a 8.448 kbps; el tercer nivel agrupa cuatro señales de 8.448 kbps en una de 34.368 kbps; el cuarto nivel agrupa cuatro señales de nivel tres en una señal de 13.9264 kbps; y por último, en la misma proporción, el quinto nivel produce una señal de 565 Mbps.

2.4. Codificación De Datos

Un esquema de codificación de datos, es la correspondencia que se establece entre los bits de datos con los elementos de señal.

2.4.1. Codificación NRZ

Este tipo de codificación tiene dos variantes: NRZ y NRZI

NRZ (No retorno a cero = No return to zero).- Este esquema utiliza un nivel de tensión diferente para cada uno de los dígitos binarios.

Los códigos que siguen esta estrategia comparten la propiedad de que el nivel de tensión se mantiene constante durante la duración de bit; el "1 binario" se

representa mediante una tensión negativa, y el '0 binario' se representa mediante una tensión positiva.

NRZI (no return to zero, invert on ones).- Codifica los datos mediante la presencia o ausencia de transición al principio del intervalo de duración del Bit (las transiciones se realizan cuando se desea transmitir un binario)¹⁵

La codificación en este esquema es de la siguiente manera:

Si el valor binario es '0' se codifica con la misma señal que el bit anterior.

Si el valor binario es '1' se codifica con una señal diferente que la utilizada para el bit precedente.

VENTAJAS:

Sincronización.

No tiene componentes en continua.

Detección de errores.

DESVENTAJAS:

Presencia de una componente en continua.

Ausencia de capacidad de sincronización.

Los formatos de Codificación NRZ usando señal digital son:

¹⁵ Magaña, Eduardo. Izkue, Edurne. 2003, Comunicación y redes de computadoras. Pearson Prentice Hall, Madrid.

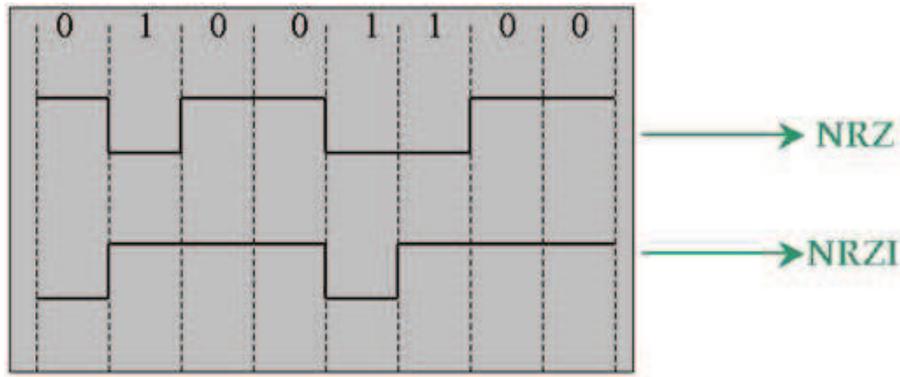


Fig. 2.6 Formatos de codificación NRZ usando señal digital¹⁶

2.4.2. Binario multinivel

Estos tipos de código usan más de dos niveles de señal, existen dos esquemas de codificación: Bipolar-AMI y Pseudoternarios.

Bipolar-Ami.- En este esquema un '0 binario' se representa por ausencia de señal y un '1 binario' como un pulso positivo o negativo. Los pulsos correspondientes a los 1 binarios deben tener una polaridad alternante.

Pseudoternarios.- En esta variante, un '1 binario' se representa por la ausencia de señal y un '0 binario' como un pulso positivo o negativo. Los pulsos correspondientes a los 0 binarios deben tener una polaridad alternante.

VENTAJAS:

- No hay problema de sincronización (cadena de 1 binarios en AMI y cadena de 0 binario en Pseudoternarios).
- No hay componente continua (cadena de 1 en AMI y cadena de 0 en Pseudoternarios).
- El ancho de banda es menor con relación al NRZ.
- Es fácil la detección de errores debido a la alternancia entre los pulsos.

Los formatos de Codificación Multinivel usando señal digital son:

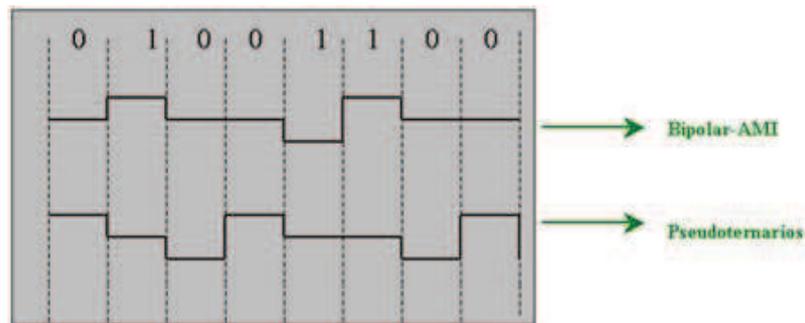


Fig. 2.7 formatos de codificación multinivel usando señal digital¹⁷

2.4.3. Bifase.

Esta modalidad representa un conjunto de técnicas de codificación que mejoran las dificultades de los códigos NRZ y Binario Multinivel. Existen dos esquemas de codificación: Manchester y Manchester Diferencial.

Manchester.- En este código siempre hay una transición en mitad del intervalo de duración del bit, esta transición sirve como procedimiento de sincronización a la vez que sirve para transmitir los datos; una transición de bajo a alto representa un '1 binario', y una transición de alto a bajo representa un '0 binario'.

Manchester diferencial.- La transición a mitad del intervalo se utiliza únicamente para sincronización, un '0 binario' se representa por la presencia de una transición al principio del intervalo del bit, y un '1 binario' se representa mediante la ausencia de una transición al principio del intervalo.

VENTAJAS:

Sincronización

No tiene componente en continua

Detección de errores

¹⁷ http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/graficos/gbinario.gif

Los formatos de Codificación Bifase usando señal digital son:

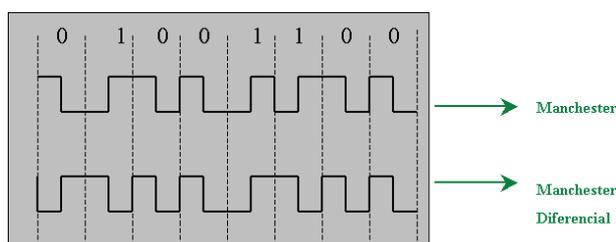


Fig. 2.8 Formatos de codificación bifase usando señal digital¹⁸

2.5. Conceptos Generales De Otras Tecnologías

Se define como comunicación inalámbrica o sin cables a aquella en la que extremos de la misma(emisor/receptor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales se encuentran: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

Este principio básico de comunicación inalámbrica es el que permite el funcionamiento de otras tecnologías como las que se describen brevemente:

WAP (Wireless Application Protocol).- protocolo de aplicaciones inalámbricas, es un estándar abierto para aplicaciones que utilizan comunicaciones inalámbricas surge como respuesta al crecimiento de las comunicaciones inalámbricas y el acceso a internet. Popularizado por haber permitido el acceso a internet desde teléfonos celulares. El estándar fue desarrollado originalmente por el WAP Fórum, fundado por cuatro empresas del sector de las comunicaciones móviles, Sony-Ericsson, Nokia, Motorola y Openwave. La tecnología WAP se basa en tres elementos

¹⁸ http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/graficos/gbinario.gif

Cliente: el cliente será el navegador de un terminal móvil. Este será el equivalente al navegador de un PC en el internet "fijo" que habitualmente se utiliza.

Pasarela: la pasarela constituye la interfaz entre la red inalámbrica y la red física. Es lo que se conoce como el WAP Gateway.

Servidor Web: en toda arquitectura cliente / servidor se tiene un servidor encargado de procesar las peticiones del cliente y enviar las páginas solicitadas.

GSM (Global System for Mobile Communications). - Puede ser definido como un sistema de radiocomunicaciones ya que está diseñado para soportar comunicaciones de media y larga distancia digital, móvil y celular.

Es un sistema que además de proporcionar calidad de audio proporciona fiabilidad y la conexión y seguridad en el aspecto de autenticación de usuarios. Utilizado por la mayoría de operadores de Telefonía Celular en el mundo

Una de las principales características de GSM es la posibilidad del uso exclusivo de tarjetas SIM. Estas tarjetas son de tipo personalizado, lo que significa que pueden ser usadas en diferentes teléfonos celulares teniendo siempre la misma información en la memoria. Todas las compañías incluyendo las mayores en producción de móviles como son Nokia, Siemens o Motorola han diseñado siempre teléfonos compatibles con la tecnología GSM

GPRS (General Packet Radio Services).- Una evolución de GSM, es un sistema de telefonía móvil que está basado en la conmutación de paquetes sobre la red GSM que se usa actualmente. La utilización de GPRS permite a los usuarios enviar y recibir información a velocidades de hasta 115kbit/s.

Al sistema GPRS se le conoce también como GSM-IP ya que usa la tecnología IP (Internet Protocol) para acceder directamente a los proveedores de contenidos de Internet. Es un estándar inalámbrico de circuitos de paquetes conmutados que ofrece acceso instantáneo a protocolos IP y a redes X.25.

GPRS fue la primera tecnología de comunicaciones móviles específicamente diseñada para la utilización de datos. En este sentido, actuó como la etapa inicial para el desarrollo de diferentes componentes, como terminales, aplicaciones, contenidos y servicios, que irán orientándose el desarrollo de soluciones de datos en movilidad como WiMAX Móvil.

2.6. Tecnología Ofdm/Ofdma

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es una técnica de multiplexación multiportadora que proviene de la década de 1960, pero que ha resurgido en la actualidad por sus aplicaciones en transmisiones inalámbricas. En cuanto a sus aplicaciones, además de las relacionadas con el uso militar de sus orígenes, está presente en la ADSL, DAB (radio digital europea), DVB-T (televisión digital terrestre), junto a las ya mencionadas en comunicaciones inalámbricas WiFi (802.11a) y WiMAX.

La base del OFDM reside en la combinación de múltiples portadoras moduladas solapadas espectralmente, pero manteniendo las señales moduladas ortogonales, de manera que no se producen interferencias entre ellas. En OFDM, el ancho de banda utilizable se divide en un gran número de pequeños anchos de banda, llamado subcarriers, que son matemáticamente ortogonales.

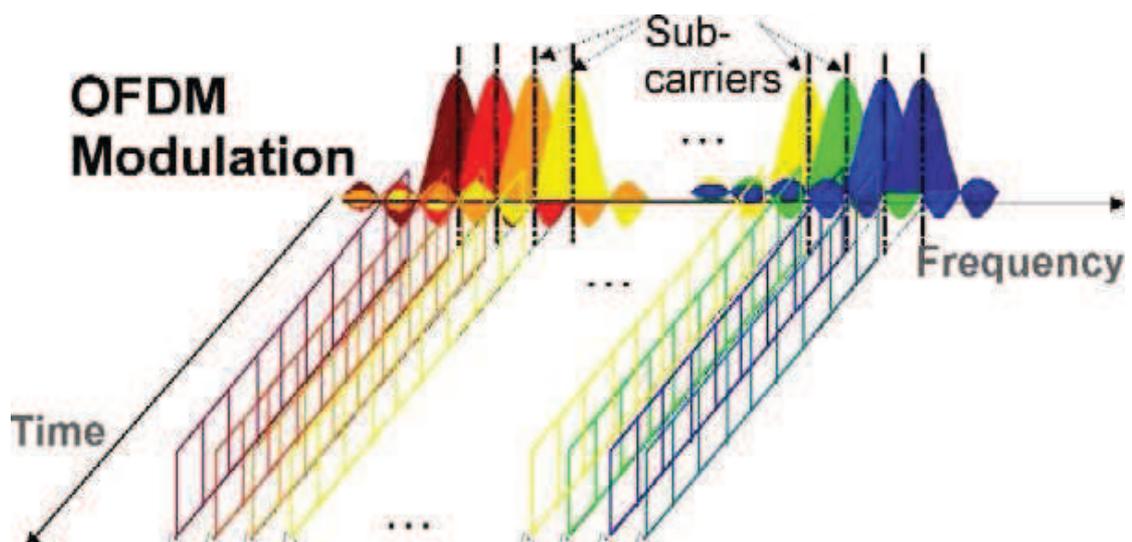


Fig. 2.9 Esquema de multiplexación ortogonal¹⁹

¹⁹ http://connectedplanetonline.com/wireless/technology/How_OFDM_works.jpg

Además, es posible utilizar diferentes técnicas de modulación entre portadoras, con lo cual se consigue una funcionalidad extra. En recepción, las portadoras deben ser separadas antes de demodular.

En las técnicas de multiplexación tradicionales FDM, se utilizaban filtros paso-banda en cada una de las frecuencias, por lo que además de no solapar las bandas, era obligatoria la reserva de bandas de guarda.

Un método de conseguir una mayor eficiencia espectral es solapar las portadoras, mediante el uso de una DFT tanto en modulación como en demodulación, que es en lo que se basa OFDM. Para ello se hacen coincidir los lóbulos espectrales principales con los nulos del resto de portadoras, manteniendo la señal ortogonal.

De esta manera es posible incrementar la eficiencia espectral, sin tener interferencia entre los canales. Pese a ello, en implementaciones reales existe una pequeña interferencia, que provoca que se pierda mínimamente la ortogonalidad.

Otra ventaja del OFDM, que es la causa por la que se ha popularizado en la tecnología WiMAX, es la capacidad para gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto. En un canal radio estos efectos se traducen en la no respuesta plana del canal, la aparición de nulos, etc. que normalmente conducen a la pérdida completa de la señal. Además, estos multitrayectos pueden producir interferencia entre símbolos, provocado por los diferentes retardos, que hace que se mezclen símbolos consecutivos. Esto se soluciona mediante la utilización de un periodo de guarda para cada símbolo OFDM, trasladando la misma idea que se utiliza en FDM.

Por contra, presenta las desventajas de ser más sensible que las técnicas tradicionales, como es el desfase en frecuencia o desfase en la sincronización temporal. Además, por su carácter ortogonal, presenta una elevada relación peak-to-average, condicionando el tipo de amplificadores que se pueden utilizar.

La distribución de datos sobre muchas portadoras hace que algunos de los bits transmitidos puedan ser recibidos de manera errónea. Es por ello que se hace imprescindible utilizar mecanismos de corrección de errores, que añaden bits adicionales en la transmisión, pero que hacen posible la corrección de dichos errores.

OFDMA, también denominada como multiuser-OFDM, está siendo considerado como un método de modulación y acceso múltiple para tecnologías inalámbricas como WiMAX.

Se trata de una extensión de la técnica OFDM, que es la técnica de multiplexación en uso en los sistemas inalámbricos 802.11a/g y 802.16/a/d/e.

En los sistemas OFDM actuales, un único usuario puede transmitir sobre todas las subportadoras en cualquier momento y se utilizan técnicas de acceso múltiple por división en frecuencia o en tiempo para soportar múltiples usuarios.

El principal problema de estas técnicas de acceso estáticas es el hecho de que los usuarios ven el canal de una manera diferente cuando no es utilizado.

OFDMA, por el contrario, permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM; Así, se asegura que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

En general existen dos tipos de permutaciones de subportadora: distribuidas (que se comportan mejor en ambientes de movilidad) y adyacentes (para entornos fijos o de bajo movimiento).

2.7. Tecnología WiMAX

WiMAX es una tecnología inalámbrica de banda ancha basada en la puesta en práctica de los estándares IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN.

WiMAX (Wireless Interoperability for Microwave Access) pertenece por tanto al grupo de tecnologías inalámbricas 802.16 pretende disponer de las especificaciones para las redes de acceso metropolitanas de banda ancha inalámbricas (WMAN).

El estándar WiMAX se compone de un subconjunto de especificaciones extraídas de la norma IEEE 802.16.

La norma IEEE 802.16 es el conjunto de estándares que recogen las especificaciones completas del IEEE acerca este tipo de tecnología.



Por otro lado, WiMAX también es la marca o el sello que certifica que un equipo cumple las especificaciones del estándar WiMAX, independientemente del fabricante que lo comercialice.

WiMAX cuenta con un amplio soporte mundial por parte de la industria de las telecomunicaciones y fabricantes de equipos, a través del WiMAX Forum, que lo hace especialmente eficiente en términos

de coste y habilita la existencia de economías de escala.

Las principales características de WIMAX son:

- IEEE 802.16 es un conjunto de estándares que fueron desarrollados para cubrir una variedad de aplicaciones y escenarios de despliegue. Éstos ofrecen diferentes opciones de diseño, como por ejemplo, la capa física se puede basar en una sola portadora, OFDM, OFDMA.

- En la capa de acceso al medio MAC, se tiene varias arquitecturas, duplexación, bandas de frecuencia de operación, entre otras.
- WIMAX se fundamenta en el estándar IEEE 802.16d-2004/IEEE 802.16e-2005, entre las características que lo convierten en el candidato ideal para ser la red de acceso para sistemas de tercera y cuarta generación se puede mencionar las siguientes:
 - Capa Física Basada en OFDM: la capa física de WIMAX está fundamentada en multiplexación por división de frecuencia ortogonal, un sistema que ofrece muy buena resistencia al multi-trayecto y permite a WiMAX operar en condiciones NLOS.
 - Tasas de datos pico muy altas: WIMAX es capaz de soportar altas tasas de datos pico haciendo uso de sistemas de modulación QAM con tasa de codificación de corrección de error de 5/6.
 - Soporte de ancho de banda y tasas de datos escalables, la escalabilidad es soportada en el modo OFDMA, donde el ancho de la FFT puede ser escalado basado en la disponibilidad de ancho de banda.
 - Codificación y Modulación adaptativa: WIMAX soporta un número de modulaciones y esquemas de corrección de error (FEC), permitiendo ser cambiado por usuario o por trama en función de las condiciones del canal. Esto permite maximizar el throughput en un canal variante en el tiempo.
 - Retransmisión en la capa de enlace: WIMAX soporta requerimiento de retransmisión automática (ARQ) en la capa de enlace. Además, soporta opcionalmente un ARQ híbrido entre FEC y ARQ.
 - Soporte de TDD y FDD: se permite soportar ambos esquemas de duplexación, tanto por división en tiempo como en frecuencia respectivamente. TDD presenta mayores ventajas frente a FDD por lo que es favorecido con una mayor implementación.

- Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA), WIMAX móvil hace uso de OFDM como técnica de acceso, en a varios usuarios se les puede asignar diferentes subconjuntos de tonos OFDM.
- Asignación dinámica y flexible de recursos por usuario: tanto en el enlace de subida como en el de bajada, la asignación de recursos es controlada por un programador en la estación base.
- Soporte de Técnicas de Antena Avanzadas, WIMAX permite el uso de técnicas de múltiple antena, tales como beamforming, codificación de espacio-tiempo, multiplexación espacial, lo que permite mejorar la capacidad total del sistema y la eficiencia espectral.
- Soporte de Calidad de Servicio: la capa MAC es una arquitectura orientada a la conexión, diseñada para soportar una variedad de aplicaciones incluyendo voz y servicios multimedia; para esto, WIMAX permite una serie de servicios de QoS que dan soporte a estas aplicaciones.
- Robustez en Seguridad, soporta un fuerte sistema de seguridad basado en el protocolo de Privacidad y manejo de clave versión 2 (PMKv2), sistemas de autenticación IETF EAP, encriptación de tráfico con AESCCM, entre otros.
- Soporte para Movilidad, en WIMAX Móvil se presentan mecanismos para dar soporte a la movilidad, como son handovers para aplicaciones de movilidad total y tolerancia al retardo, tales como VoIP, soporte de mecanismos para manejo de potencia y extensión del tiempo de vida de la batería, entre otros.
- Arquitectura basada en IP, el WIMAX Fórum ha definido una arquitectura de referencia basada en una plataforma de totalidad IP. Todos los servicios, extremo a extremo son entregados sobre una arquitectura IP.

	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 Características del estándar WiMAX²⁰

Casi todas las empresas operadores, entes y organismos interesados en la tecnología WIMAX, se agrupan una entidad sin fines de lucro que se llama WIMAX Forum (<http://www.WiMAXforum.org>); sus miembros deciden los siguientes avances de la tecnología, y además funcionan como catalizador de los temas relacionados con WIMAX.

WiMAX es una tecnología que se está tornando en una de las mejores alternativas para el desarrollo de las telecomunicaciones y la disminución de la brecha digital en los países en vías de desarrollo.

2.7.1. Wimax móvil

Hasta hace varios años, con la aparición de las tecnologías xDSL, la inmensa mayoría de abonados a Internet de banda ancha tenía acceso a través de la tecnología cableada; xDSL invirtió tal situación y se convirtió en la tecnología líder para accesos de alta velocidad; en los últimos años han aparecido nuevas tecnologías que buscan ocupar el lugar de xDSL, entre las que unen al acceso de

20 FUENTE: WiMAX, La revolución inalámbrica y móvil, Quobis Networks, 2009

banda ancha el valor añadido de la movilidad, piedra angular del presente y futuro de las telecomunicaciones; WiMAX es una de estas tecnologías.

WiMAX móvil, es un “estándar funcional destinado a ser desplegado por los ISPs y las compañías de teléfonos celulares, porque está diseñado para ofrecer acceso a internet con entregas sin problema de un área de cobertura o torre, a la siguiente área de cobertura o torre. También permite manejar un solo proveedor de servicios para todas las necesidades de teléfono celular y acceso a internet²¹”

Prestando atención al estándar para el acceso de WiMAX móvil, éste sigue las indicaciones del IEEE en el subestándar 802.16-2005, también conocido como 802.16e, WiBro o WiMAX móvil. Este estándar revisa el subestándar 802.16-2004 de WiMAX fijo para incorporar soluciones de comunicaciones móviles hasta velocidad reducida. De todas formas, también se puede utilizar para soluciones de WiMAX fijo. Se trata del subestándar en el que se basa WiMAX Móvil.

Sienta las bases para poder utilizar MIMO (Multiple Input Multiple Output), que permite la comunicación desde múltiples antenas de estaciones base, que proporciona no sólo mejor cobertura de recepción de la señal, sino también mejora la capacidad del ancho de banda de comunicación. Estas características avanzadas permiten soluciones en entornos nómadas.

Las características de este subestándar se delimitan a:

- Uso del espectro < 6 GHz. Uso de bandas para WiMAX en 1,5, 2,5, 3,5 y 5’5 Ghz.
- Anchos de banda de hasta 20 MHz, flexibles para conservar la potencia transmitida.
- Bit-rates de hasta 15 Mbps, sobre un ancho de banda típico del canal de 5 Mhz.

²¹ JAMRICHJOJA, Parsons June. 2008, Conceptos de computación: Nuevas perspectivas, Cengage Learning Editores, México.

- Uso de modulación OFDMA de hasta 2048 portadoras.
- No es necesaria visión directa entre emisor y receptor(es) (NLoS).
- Uso en movilidad de velocidad moderada y portabilidad completa (utilización en aplicaciones nómadas).
- Coberturas típicas de hasta 5 Km. en situación de completa movilidad, aunque las coberturas son altamente dependientes de las condiciones del entorno.

2.7.2. Calidad de servicio (QoS)

QoS es un conjunto de estándares y mecanismos que aseguran la calidad en la transmisión de los datos en programas habilitados para QoS.

En cuanto a la implementación propia de la QoS en WiMAX, a nivel MAC, se asocia cada transmisión a un flujo de servicio. Así, se obtiene un nivel de acceso a red orientado a conexión.

Cada flujo de servicio se clasifica según identidad CID (Connection Identifier), y una clase de servicio asociada SFID (Service Flow Identifier), según el método de reserva de ancho de banda que requiera dicho servicio. Para ello, el estándar tiene definidos 4 métodos de reserva de ancho de banda, para cuatro tipos de flujos de servicios diferentes:

- Servicio garantizado no solicitado (UGS): la estación base asigna periódicamente espacio disponible en el enlace ascendente para cada conexión de este tipo que se haya establecido. (servicios CBR, p.ej. VoIP).
- Servicio con sondeo en tiempo real (rtPS): diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generen paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempo constantes (servicios VBR, por ejemplo MPEG).

- Servicio de sondeo en tiempo diferido (nrtPS): diseñado para el soporte de conexiones que no presentan requisitos de tiempo real (VBR, por ejemplo FTP).
- Servicio de tiempo real con tasa variable (ERT-VR): diseñado para soportar aplicaciones de tiempo real (por ejemplo VoIP con cancelación de eco) que presentan tasas de datos variables, pero que requieren tasas de retardo máximo y velocidad de transferencia mínima. Este servicio es específico de 802.16e, y también se le conoce como ErtPS.

Además de lo anterior, el estándar provee la activación de estos flujos de servicio de manera dinámica, mediante funciones de señalización de la QoS requerida por cada servicio (DSA / DSC / DSD: Dynamic Service Activate / Change / Delete).

Tipo de QoS	Parámetros QoS definidos	Ejemplo de aplicaciones
UGS - Unsolicited Grant Service	Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Tolerancia jitter	Voz sobre IP sin supresión de silencios
RtPS - Real time Polling Service	Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Prioridad de tráfico	Flujos de audio y video
NRtPS - Non Real time Polling Service	Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Prioridad de tráfico	Protocolo de transferencia de ficheros (FTP)
BE - Best Effort service	Máxima tasa sostenible Prioridad de tráfico	Navegación Web, transferencia de datos
Ert VR - Extended Real time Variable Rate service	Mínima tasa reservada Máxima tasa sostenible Máxima latencia tolerada Tolerancia jitter Prioridad de tráfico	VoIP con supresión de silencios

Tabla 2.3 Calidad de Servicio (QoS)²²

22 FUENTE: WiMAX, La revolución inalámbrica y móvil, Quobis Networks, 2009.

2.7.3 Modulación y codificación en WIMAX

WIMAX puede aceptar una variedad de esquemas de modulación y codificación, lo que permite que el esquema cambie en cada ráfaga básica, en función de las condiciones del canal. La estación base puede medir la calidad del enlace ascendente y descendente de cada usuario, y así asignarse una modulación y codificación que maximice la tasa de transferencia para proporción señal/ruido disponible.

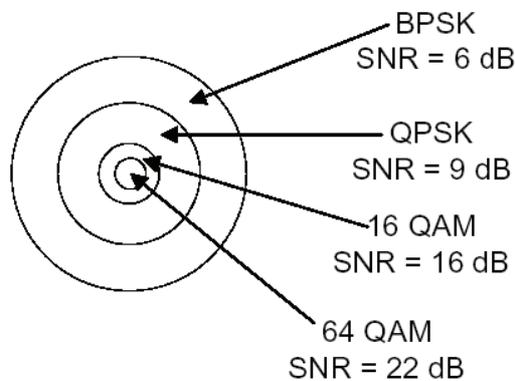


Fig. 2.10 Esquema de Modulación Adaptativa²³

Los diferentes órdenes de modulación permiten enviar más bits por símbolo y, por tanto, alcanzar una mayor potencia de salida y eficiencia espectral. A pesar de ello, utilizar técnicas de modulación como 64-QAM, implica que sea necesaria una mayor relación señal a ruido (SNR) para evitar las interferencias y mantener una tasa de error de bit moderada.

El uso de modulación adaptativa permite que un sistema inalámbrico pueda escoger el orden de modulación en función de las condiciones del canal. Para el caso de WiMAX, a mayor distancia de la estación base menor es el orden de modulación, pasando por las siguientes técnicas: 64QAM, 16QAM, QPSK y

²³ <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/214/3/Capitulo%202.pdf>

BPSK; así el sistema para trabajar en 64QAM necesita unos 22 dB de relación señal a ruido, para 16QAM son necesarios unos 16 dB y para QPSK 9 dB.

Por tanto es claro que la modulación y codificación adaptativa incrementan la capacidad de todo sistema y permite la compensación en tiempo real entre la tasa de transferencia y la robustez de cada enlace.

A continuación se esquematiza los esquemas de modulación de los enlaces WIMAX:

	Downlink	Uplink
Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM; BPSK opcional para OFDMA-PHY	BPSK, QPSK, 16QAM; 64QAM opcional
Codificación	Obligatorio: códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. Opcional: Turbo códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; códigos de repetición de tasa 1/2, 1/3, 1/6. LDPC, códigos RS para OFDM-PHY.	Obligatorio: códigos convolucionales de tasas 1/2, 2/3, 3/4, 5/6. Opcional: Turbo códigos convolucionales de tasa 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; códigos de repetición de tasa 1/2, 1/3. LDPC.

Tabla 2.4. Modulaciones y codificaciones en WIMAX²⁴

2.7.4. Técnicas de mutiplexación en wimax

Una diferencia radical entre 802.16-2004 y los perfiles 802.16e es la técnica de multiplexación: la primera usa aplicaciones OFDM y el segundo utiliza OFDMA.

Los perfiles de WiMAX basados en 802.16-2004 son mejores para aplicaciones fijas que usan antenas direccionales, pues OFDM es inherentemente menos complejo que OFDMA. Consecuentemente, las 802.16-2004 se pueden desplegar más rápidamente y a un costo más bajo. Además, lo productos 802.16-

²⁴ WiMAX, simple explanation to a complex subject, Frank Ohrtman, WMX Systems, 2008

2004 que WiMAX Forum certificó, salieron antes y ya han sido adoptados por los proveedores de servicio.

OFDMA da al perfil 802.16e más flexibilidad al manejar diversos dispositivos de usuario con una variedad de antenas y de factores de forma.

Este perfil trae una reducción en interferencia para los dispositivos de usuario con antenas omnidireccionales y además brinda capacidades mejoradas en ambientes NLOS, que son esenciales al apoyar a suscriptores móviles.

La subcanalización define los subcanales que se pueden asignar a diversos suscriptores dependiendo de las condiciones del canal y de sus requisitos de datos. Esto da al operador más flexibilidad en el manejo del ancho de banda y a la hora de transmitir energía, conduce a un uso más eficiente de los recursos. Por ejemplo, dentro de la misma ranura de tiempo, se puede transmitir más energía a un usuario con condiciones menos favorables en el canal, mientras que, menos energía para los usuarios en localizaciones mejores.

La cobertura dentro de los edificios puede lograrse transmitiendo mayor energía a los subcanales asignados a los dispositivos de usuarios en interiores.

La subcanalización en el “uplink” trae una mejora adicional en el funcionamiento, ya que transmitir energía del dispositivo de usuario es seriamente limitado.

En OFDM, los dispositivos del usuario transmiten utilizando todo el espacio de la portadora al mismo tiempo; OFDMA apoya el acceso múltiple, que permite que los dispositivos del usuario transmitan solamente con el subcanal asignado a él. En OFDMA con 2048 portadoras y 32 subcanales, si solamente un subcanal se asigna a un dispositivo, toda la energía de transmisión será concentrada en 1/32 del espectro disponible y puede traer hasta 15 dB de ganancia sobre OFDM. El acceso múltiple es particularmente ventajoso cuando se utilizan los canales anchos.

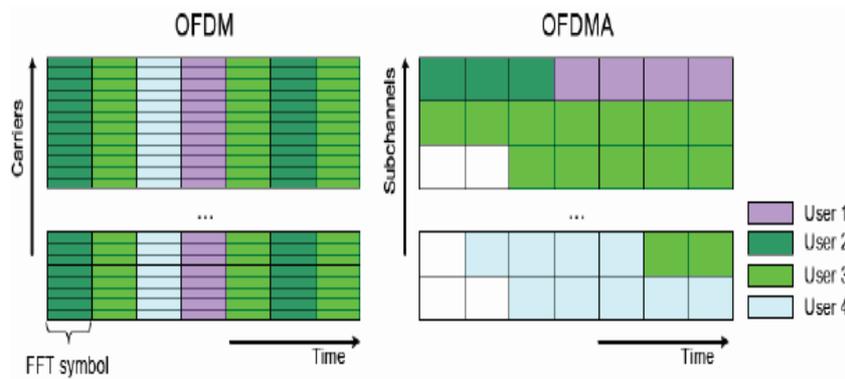


Fig. 2.11 UPLINK En OFDM y OFDMA²⁵

SOFDMA trae una ventaja adicional sobre OFDMA. Escala el tamaño de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) al ancho de banda del canal. De esta manera, se mantiene el espaciamiento entre portadoras constante a través de diversos anchos de banda de canal. El espaciamiento constante entre portadoras, da lugar a una mayor eficacia del espectro en canales anchos, y a una reducción de costo en canales estrechos.

2.8. Conexiones y Direccionamiento de WIMAX Móvil

La arquitectura de red de la tecnología WiMAX representa una clara evolución de la actual infraestructura de redes de telecomunicación y acceso telefónico, con el objetivo de lograr la congruencia de los nuevos servicios multimedia (voz, datos, vídeo) en los próximos años. Este tipo de redes se basa en una plataforma all-IP, cuya idea principal se fundamenta en el transporte de paquetes encapsulados de información a través de Internet. Estas nuevas redes serán construidas a partir del protocolo IP (Internet Protocol).

²⁵ R. Fernández, “WiMAX Un nuevo horizonte en las comunicaciones inalámbricas”, 2006.

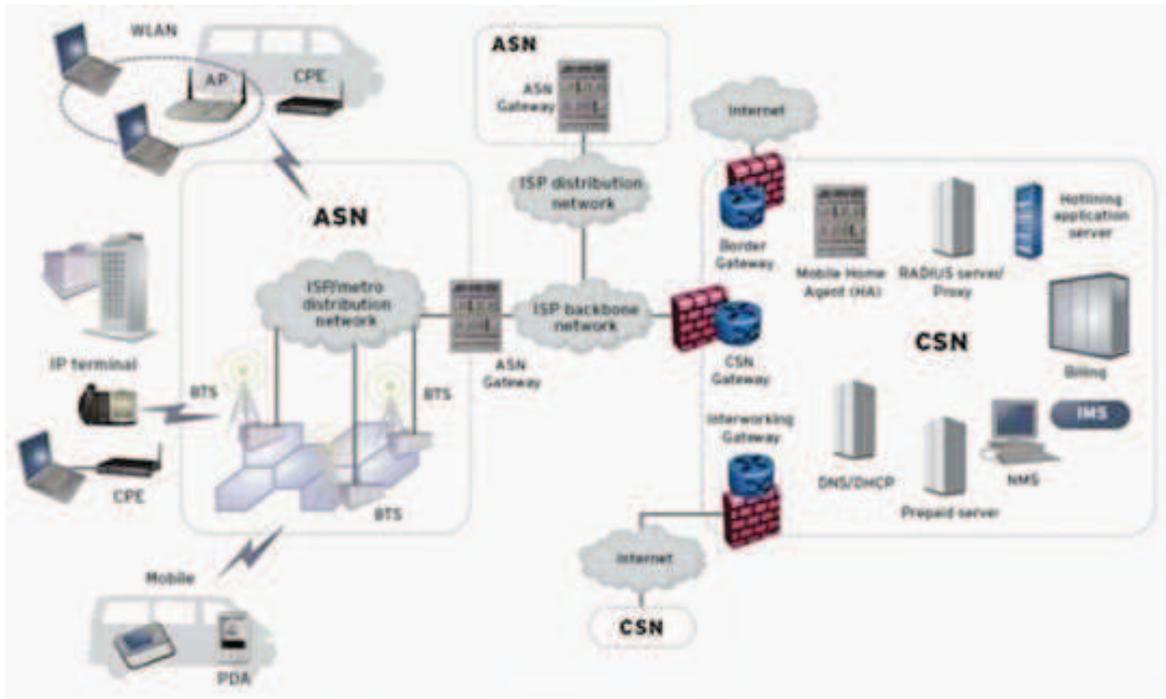


Fig. 2.12 Esquema MS, ASN, CSN²⁶

La ventaja primordial de esta nueva generación de redes es la reducción del coste total invertido en el despliegue de una red WiMAX; al tratarse de una red “todo IP” de extremo a extremo (end to end) existirán costes menores en la red troncal porque no se requiere de equipos específicos. La arquitectura WIMAX móvil, soporta el concepto de operador de red virtual, permitiendo a la red de acceso de WiMAX ser compartida por múltiples redes NSP proporcionando conectividad desde múltiples NAP.

En conjunto con estos modelos, la arquitectura soporta la capacidad de red de que el dispositivo de usuario (subscriber) de descubrimiento y selección de servicios, de entre los diferentes NSP disponibles.

Hasta la aparición del estándar de movilidad, y más concretamente del grupo de trabajo de red y sus modelos de referencia, WiMAX era solamente una tecnología de acceso. Para poder ofrecer servicios de extremo a extremo se necesita de otros elementos. Se trata de una red troncal que no forma parte del estándar 802.16. El WiMAX Forum está supliendo esta carencia definiendo una arquitectura de red genérica.

²⁶ http://2.bp.blogspot.com/_5PntaGD8RaY/StdThtcCnzI/AAAAAAAAAAM/w0IC9eLDDJY/s320/wimax.gif

2.8.1. Topología punto multipunto

Un enlace punto a multipunto, comparte un determinado nodo (en el lado uplink), que se caracteriza por tener una antena omnidireccional (o con varios sectores) y puntos de terminación (o repetidores) con antenas direccionales con una ganancia elevada.

Este tipo de red es más sencillo de implementar que las redes punto a punto, ya que el hecho de añadir un suscriptor sólo requiere incorporar equipamiento del lado del cliente, no teniendo que variar nada en la estación base.

Aunque, cada sitio remoto debe encontrarse dentro del radio de cobertura de la señal, en el caso de WiMAX (a diferencia de la tecnología LMDS) no requerirá que se sitúe en puntos con visión directa; además, será posible utilizar esta topología para backhaul de la red de operadores, o para clientes que no deseen disponer de capacidad dedicada, al compartir los recursos con todos los terminales.

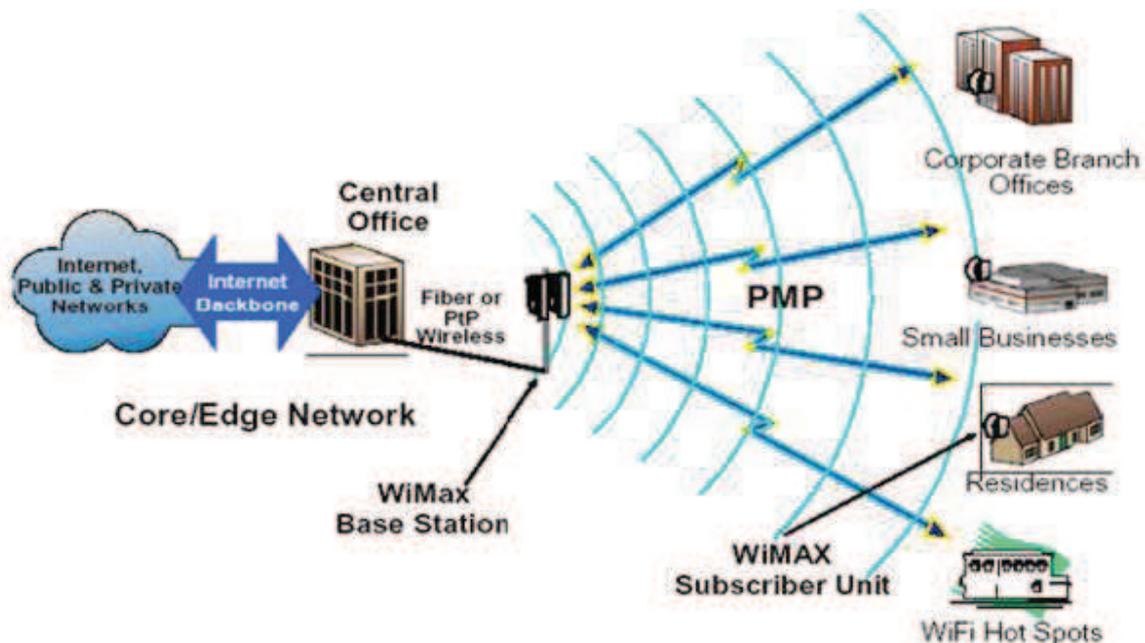


Fig. 2.13 Topología Punto Multipunto²⁷

²⁷ http://www.geocities.ws/bati144/fase2/t2_archivos/imagen003.GIF

El problema de este tipo de topología es que el diseño direccional de las antenas de los usuarios hace que no pueda conectar con otras redes (meshing).

2.8.2 Topología de malla

Las redes tipo mesh o malla, se caracterizan porque cada nodo de usuario está conectado y las comunicaciones se realizan a través de los nodos; estas redes aprenden automáticamente y mantienen configuraciones en caminos dinámicos.



Fig. 2.14. Ejemplo de Red Tipo Malla²⁸

Este tipo de redes están siendo utilizadas en tecnologías WiFi, estando contempladas en el estándar 802.11s; este tipo de redes recibe también el nombre de multisalto.

En las redes mesh, los nodos actúan como routers, que se instalan sobre un superficie extensa.

28

http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/img/elementos/articulos/upload/tabla_129_2.jpg

Cada nodo transmite una señal de baja potencia, para alcanzar a los nodos vecinos, que a su vez reenvían la señal.

Estas redes permiten adaptarse a los cambios de topología, ya que se pueden incorporar nodos o eliminarlo.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD LEGAL Y COMERCIAL

3.1.- ÁMBITO LEGAL REGULATORIO PARA WIMAX MÓVIL

3.1.1. SITUACION DE LA TECNOLOGÍA DE WIMAX MÓVIL

3.1.1.1 Introducción

La tecnología WiMAX Móvil puede definirse como un sistema de modulación digital de banda ancha; por lo que esta red debe cumplir con las regulaciones establecidas por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones SENATEL, en lo referente a la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha; es aquí donde se presenta el problema para la introducción de esta tecnología en el Ecuador, ya que a pesar de que se puede catalogar esta tecnología dentro de los sistemas MDBA, en las bandas de frecuencia donde se autoriza al funcionamiento de las mismas, no fueron incluidas las referentes a WiMAX Móvil

La “Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha”²⁹ establece que:

Los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha son aquellos que se caracterizan por:

29 Artículo 5 Resolución 417-15-CONATEL-2005

- a. Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional, y con un nivel bajo de potencia.
- b. La utilización de técnicas de modulación que proporcionan una señal resistente a las interferencias.
- c. Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias.
- d. Coexistir con sistemas de Banda Angosta, lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del Espectro Radioeléctrico.
- e. Operar en Bandas de frecuencias inscritas en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias. “

3.1.2. Marco regulatorio para sistemas de modulación digital de banda ancha en el Ecuador

En el Ecuador, el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) expidió 3 documentos que regula los Sistemas de Modulación Digital de Banda que son:

- Norma para la Implementación y Operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha (Resolución 417-15-CONATEL-2005)
- Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico (Resolución 769 - 31 - CONATEL - 2003).
- Plan Nacional de Frecuencias (Año 2000)

En donde se hace referencia al uso de las bandas de frecuencia del sistema mencionado.

3.1.2.1. Bandas de frecuencia

En Ecuador en lo que respecta a las bandas de frecuencia ya se encuentran definidas porciones para estos sistemas, como puede observarse en los anexos de esta investigación.

La norma establecida para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha³⁰, manifiesta que: “Se aprobará la operación de sistemas de Radio comunicaciones que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

BANDA (MHz)

902 – 928

2400 – 2483,5

5150 - 5250

5250 – 5350

5470 - 5725

5725 - 5850

Del análisis de este artículo y por lo expuesto en el marco teórico, se determina que las bandas de frecuencia en las que podría asignarse espacio para el funcionamiento de WiMAX Móvil no están disponibles.

Para espectro ensanchado las únicas frecuencias que se encuentran asignadas conforme al Plan Nacional de Frecuencia son aquellas que están en el rango de 2400 a 2483,5 MHz y 5725 a 5850 MHz.

Es importante considerar que para el uso del espectro se tiene dos tipos de título; el primario y el secundario:

30 Resolución 417-15-CONATEL-2005

En el **primario**, se le garantiza al beneficiario (a quien se le otorga la concesión) el uso sin interferencias y la disponibilidad de dicha banda.

El **secundario**, que simplemente autoriza al o los beneficiarios (sin concesión) a emplear una banda de frecuencia sin tener garantizado la no interferencia por parte de otros sistemas, teniendo como restricciones, que en caso de haber interferencia por parte de uno de estos al beneficiario con título primario, deberán apagar sus equipos inmediatamente.

En base a lo antes expuesto, y revisando la asignación de servicios en bandas del Plan Nacional de Frecuencias se tiene la siguiente tabla de frecuencias.

ECUADOR BANDA (MHz)	NOTAS
2300 – 2450 FIJO - MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados	EQA.190 EQA.195
2450 – 2483,5 FIJO - MOVIL RADIOLOCALIZACION	EQA.195
5725 – 5830 RADIOLOCALIZACION Aficionados	EQA.215
5830 – 5850 RADIOLOCALIZACION Aficionados Aficionados por satélite (espacio-Tierra)	EQA.215

Tabla 3.1 Bandas del Plan Nacional de Frecuencias – WiMAX Móvil³¹

Las NOTAS están relacionadas al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias en la Tabla 3.1, del Plan Nacional de Frecuencias, que manifiestan:

³¹

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=615&Itemid=274 - Cuadro Nacional de Bandas de Frecuencias

- EQA.190 En la banda 2.300 – 2.400 MHz, atribuida a los servicios FIJO, MOVIL y RADIOLOCALIZACIÓN, operan exclusivamente Sistemas de Seguridad Pública.
- EQA.195 indica el uso de la banda 2.400 – 2.483,5 MHz, atribuida a los servicios FIJO, MOVIL y RADIOLOCALIZACIÓN que operan Sistemas de Seguridad Pública compartido con Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum).
- EQA.215 El uso de la banda 5.725 – 5.850 MHz, atribuida al servicio de RADIOLOCALIZACIÓN, se comparte con los servicios FIJO y MÓVIL que operan con Sistemas de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum).

De acuerdo a lo que se establece en la tabla 3.1 para el funcionamiento de WiMAX Móvil se le podría asignar la banda de 2,3 GHz, otorgándole títulos secundarios, pues dicha banda es compartida y el título primario ya está asignado para un servicio específico; como WiMAX Móvil no trabaja en bandas no licenciadas, al momento no se le puede asignar un espacio del espectro ya que este es un recurso limitado.

La banda de 3.4 hasta 3.7 GHz está utilizada para la operación de sistemas FWA (Fixed Wireless Access), es decir que en todo ese rango no hay posibilidad de prestar servicios móviles.

3.1.3. Regulación de servicios

En el Ecuador no hay una regulación para la tecnología de las redes sino para los servicios, por lo que no se identifica en la literatura regulatoria las terminologías WiMAX, WiFi, MAN, PAN, etc.

Es por lo tanto necesario establecer el marco regulatorio para el servicio de WiMAX Móvil; como lo establece el artículo 2 del Reglamento para la Prestación de Servicios de Valor Agregado³² que manifiesta “Son servicios de valor agregado aquellos que utilizan servicios finales de telecomunicaciones e incorporan aplicaciones que permiten

32 Resolución 071-03-CONATEL-2002-02-20

transformar que permiten transformar el contenido de la información transmitida. Esta transformación puede incluir un cambio neto entre los puntos extremos de la transmisión en el código, protocolo o formato de la información”

Considerando las cinco clases de aplicaciones que se pueden ofertar por medio de WiMAX Móvil y los diferentes tipos de servicios definidos por la regulación, las aplicaciones ofrecidas en WiMAX Móvil serían servicios de valor agregado; y se deben regir por medio de la regulación antes indicada.

Clase Aplicación:

1. Juegos Interactivos Multijugador
2. VoIP y Video Conferencia
3. Streaming Media
4. Navegación Web y Mensajería Instantánea
5. Descarga de Contenido de Medio.”

3.2. Estudio De Mercado

3.2.1. Generalidades

La investigación de mercados suministra información detallada y necesaria para la óptima toma de decisiones, y contribuye al aumento del beneficio del proyecto porque permite conocer, entender y satisfacer al mercado.

3.2.2. Aspectos técnicos y metodológicos

La presente investigación de mercado busca recopilar información acerca de la opinión de los usuarios sobre el índice de satisfacción de los servicios móviles y de banda ancha. Que tan informado se encuentra el público acerca de los servicios de Internet Móvil ofrecidos en el mercado y definir el grado de aceptación de WiMAX Móvil en el mercado

Para el desarrollo de la presente temática se han utilizado diferentes fuentes de información, que son:

- Estudios técnicos realizados por: el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la Superintendencia de Telecomunicaciones SUPERTEL, Latin Panel (Centro de Monitoreo de Medios de Latinoamérica) e Imaginar.org; estos datos han sido utilizado para la determinación de la estructura y el balance del mercado.
- Información de fuentes primarias, obtenida en base a encuestas, para determinar la tendencia de los gustos y preferencias de los potenciales clientes del proyecto; para lo cual se han utilizado métodos de investigación: cuantitativos para diseñar las encuestas eficientemente y, métodos cualitativos para desarrollar los diseños exploratorios.³³

3.2.3. Tipos de estudios

- **Estudio exploratorio.**- Este tipo de estudio se utilizará en el proceso de la determinación de la estructura y balance del mercado, en base a la búsqueda de información en fuentes secundarias: bases de datos y estudios técnicos, existentes en la empresa, la Superintendencia de Telecomunicaciones SUPERTEL, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Latin Panel, e Imaginar.
- **Estudio descriptivo.**- Este tipo de estudio se empleará para describir las diferentes variables, que se estudien e identifiquen en los potenciales clientes.
- **Estudio explicativo.**- Se aplicará este estudio, para en base a los resultados de la investigación explorativa, explicar cuáles son las causas de sus gustos y preferencias de los potenciales clientes.

33 HAIR, Joseph, 2003, "Investigación de Mercados", Editorial Mc Graw Hill, Segunda Edición, México.

3.2.4. Análisis de la oferta y la demanda

Oferta: “Es la cantidad que ofrecen las empresas de un bien o servicio, depende del precio y de otros factores, como el costo para la producción de un bien o servicio”.³⁴

A fines del 2012 son más de 360, los operadores habilitados para prestar servicios de telecomunicaciones en Ecuador, los que se encuentran especificados en la Tabla 3.2

Lo que indica la creciente demanda que tienen los servicios de telecomunicaciones en Ecuador actualmente.

Operadores de telefonía fija local y larga distancia: 5 CNT, Etapa, Linkotel, Ecutel, Setel.
Operadores de telefonía móvil celular y servicio móvil avanzado: 3 Otecel (Movistar), Conecel (Claro), Telecsa (Alegro).
Operadores de servicio portador: 18 CNT, Conecel (Porta), Ecuador Telecom, Etapa, Gilauco, Grupo Bravco, Impsatel, Megadatos, Nedetel, Otecel (Movistar), Punto Net, Quicksat, Setel, Suratel, Telconet, Teleholding, Transelectric, Transnexa.
Servicio de ISP y operadores de valor agregado: 269 Proveedores de Audio Texto: 27 Otros: 4

Tabla 3.2. Operadoras habilitadas para prestar servicio de comunicaciones en el Ecuador³⁵

En la Tabla 3.3 se observa el número de proveedores de Servicios de Internet desde el año 2000 y como estos han ido en aumento hasta el 2012, a pesar de esto, es todavía limitado el acceso a los servicios de Internet para la gran mayoría de la población

34 PERLOFF, Jeffrey. 2004, Microeconomía, Editorial Pearson Educación, Tercera Edición, España.

35

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=180&Itemid=290 - Listado de Empresas del Sector al 30 de Abril de 2012

AÑO	CANTIDAD
2.000	39
2.001	72
2.002	96
2.003	107
2.004	126
2.005	105
2.006	114
2.007	130
2.008	167
2.009	195
2.010	218
2.012	269

Tabla 3.3 Proveedores Autorizados de INTERNET en el Ecuador³⁶

De la tabla 3.3 se puede establecer que mercado de los servicios de datos y acceso a Internet, es muy grande en proveedores, más de 250, donde se destacan 15 ISPs (Proveedores de servicios de Internet); los más representativos ISPs, por la cantidad de suscriptores que poseen, son: CNT, Megadatos, Lutrol, Punto Net, Telconet, Panchonet, Etapa Telecom, Ecuador Telecom, Claro, Movistar, Satnet y últimamente Netlife con su nueva red de fibra óptica.

De los 269 proveedores son los 12 mencionados anteriormente quienes cuentan con la mayor participación del mercado

Los servicios de Banda Ancha, se concentran mayoritariamente en dos operadoras, que concentran cerca del 75% del mercado de Banda Ancha a nivel nacional

Demanda: En el país los entes de regulación de telecomunicaciones como el CONATEL y el SUPERTEL, disponen de registros de usuarios del servicio de Acceso a Internet Móvil gracias a la información proporcionada por las compañías de telefonía celular, así como también del número de suscriptores a un servicio de Internet fijo, estos datos son bastante exactos y además para determinar el número de usuarios y el crecimiento de consumo de Internet que se da mes a mes.

³⁶ Iden ref. 35 Información actualizada a Abril 2012

Cabe señalar que la principal aplicación de las nuevas redes de telefonía celular es la del acceso a los servicios que presta el Internet, por lo que WiMAX Movil sería una buena alternativa de acceso a la red global

Sin embargo, las personas que utilizan la red tienen acceso a ella a través de una cuenta conmutada o de banda ancha en su hogar, también por medio de una cuenta instalada en su lugar de trabajo y ocasionalmente realizan visitas a los cyber cafés, este fenómeno determina que no exista una metodología que permita calcular exactamente el número de usuarios de Internet, por lo cual las estimaciones incorporan cierto margen de error³⁷.

Analizando lo expuesto anteriormente se determina que se permite establecer que la penetración del Internet en el Ecuador para el año 2011 fue de entre el 16% y el 18.9%, y se observa además que el número de ecuatorianos, que están conectándose al Internet tiene una tendencia muy importante de crecimiento que alcanza el 71,50% anual; lo que determina que para los años próximos, las perspectivas de penetración del Internet alcance el 50% de la población y hogares ecuatorianos.

Es también importante señalar que:

- Respecto a la distribución de usuarios por provincias, según datos de la SUPERTEL, en Pichincha se concentra el 43% de cuentas, y en Guayas el 37%; el Distrito Metropolitano, concentra el 78% de las cuentas existentes en la provincia.
- Según esta misma fuente las cuentas dial up (por línea telefónica con consumo telefónico), actualmente representan el 19,23% del total de cuentas, lo que determina que se encuentran en un claro proceso de reemplazo por opciones de banda ancha, cuyos costos desde el año 2007 hasta caído hasta un precio medio de USD. 20, por el servicio de 512 kbps.

37 Internet - Calidad y costos en Ecuador - Hugo Carrión Gordón – IMAGINA Año 2009

3.2.5. Estudio del potencial cliente del proyecto

Para el estudio que se presenta en esta investigación se tiene:

Diseño del estudio

En este punto se analizarán los siguientes aspectos:

Problema de investigación

Es muy importante tener una visión clara del perfil del potencial consumidor y sus gustos y preferencias, con el fin de enfocar los esfuerzos empresariales al desarrollo de una clientela cautiva y a la captación de otros clientes; además de disponer de información que permite definir el posible nivel de ingresos que puede alcanzar el proyecto, y proporcionar información para el diseño de la estrategia.

Necesidades de información

Se observó la necesidad de realizar una investigación de campo, con la finalidad de obtener información para identificar los gustos y preferencias de las personas que conforman el grupo de interés del proyecto y definir el perfil del potencial cliente.

En este proyecto, se recogen datos que permiten generar información acerca de:

- Gustos y preferencias de los consumidores, con respecto al tipo de servicio.
- La aceptación del precio a pagar por los servicios que se implementen mediante WiMAX Móvil
- El perfil del cliente.

Objetivos de la investigación

Los objetivos de la investigación son:

- Recolectar datos para determinar el perfil de las personas que conforman el mercado de interés del proyecto.
- Identificar el nivel de aceptación que los consumidores tienen sobre el producto ofertado.
- Establecer la posible participación en el mercado.
- Proporcionar información para el diseño de la estrategia comercial.

Diseño de la investigación

Para lograr los objetivos propuestos, se determinó la necesidad de aplicar encuestas guiadas, en la zona norte comercial de la ciudad de Quito, específicamente en el sector que va desde la Av. Patria hasta el sector de Carcelén, constituyéndose así en la zona de cobertura para la aplicación del proyecto; se selecciona la zona norte comercial de Quito por constituirse en un lugar de gran concentración poblacional y actividad económica, lo que forma una área estratégica para el desarrollo de empresas y por lo tanto un escenario ideal para implementar un sistema de comunicación, eficiente, seguro y móvil.

La encuesta se estructuró en forma clara, con preguntas de opción múltiple en base a escalas de selección o medición.

Tamaño de muestra

La fórmula seleccionada, determinar el tamaño de la muestra es la de la proporción, se seleccionó esta fórmula por cuanto al estar investigando gustos y preferencias de los potenciales clientes, no se dispone de estadígrafos (media poblacional ni desviación estándar) que permitan aplicar otra fórmula basada en indicadores estadísticos; la formulación para el tamaño de la muestra fue:

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{B^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde constan los siguientes términos:

n: será el tamaño de la muestra

N: es el tamaño de la población o universo

Z: es una constante que depende del nivel de confianza que se busca

Valor de Z	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,24	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%

B: es el error muestral deseado

Los valores de las diferentes variables que tiene la fórmula son:

Para tener la seguridad de que el tamaño de la muestra es el adecuado (suficientemente grande), para aplicar eficientemente la fórmula de n para proporciones se usa: $p=0.5$ y como $q=1-p$, se tiene que $q=0.5$.

El valor p es la probabilidad de selección del elemento muestral y q es la probabilidad de no selección del elemento muestral.

$B = 0.08$; que equivale al 8% considerado como error muestral para el tipo de estudio que se realiza, que es entre el 5% y el 8%

$p=0,5$; que equivale al 5%, el nivel de confianza buscado es del 95%

Y se tiene por tanto:

$$p*q=0,25$$

$$Z^2=1.96$$

El valor de Z, se obtiene por medio de la tabla para la distribución normal

N que es el número de personas que residen, trabajan o desarrollan sus actividades en el sector, son elementos de la población es N= 370.000 personas.³⁸

Aplicando estos valores en la fórmula anterior, se tiene:

$$n = \frac{1,96 \times 370.000 \times 0,5 \times 0,5}{0,082 \times 369.999 + 1,96 \times 0,5 \times 0,5} = 149,59$$

El tamaño de la muestra es n= 149,59; por tanto el número de encuestas aplicadas en el presente estudio es de 150.

Tipo de muestreo: La encuesta fue aplicada en forma aleatoria sistemática, visitando cada quinta empresa o comercio de la zona, y aplicando una sola encuesta en cada una de ellas pese a que pueda existir más de un potencial usuario.

Diseño del cuestionario: El diseño del cuestionario se lo hizo en base a los requerimientos de información para este estudio. La encuesta fue constituida por 7 preguntas, con escala nominal y de intervalo.

- Gustos y preferencias de los consumidores, con respecto al tipo de servicio.
- La aceptación del precio a pagar por los productos.
- El perfil del cliente.

A continuación se hacen constar los resultados del presente estudio.

38 AGENCIA MUNICIPAL DE DESARROLLO, CONQUITO, Distribución Poblacional en el DMQ, Julio 2011

3.2.5.2. Resultados de la encuesta

Los resultados que se han obtenido del estudio aplicado son:

Items 1	¿Tiene contratado servicio de internet?
---------	---

Situación	N.-	%
SI	83	55,43%
NO	67	44,66%
TOTAL	150	100%

Tabla 3.4 Contrata servicios internet

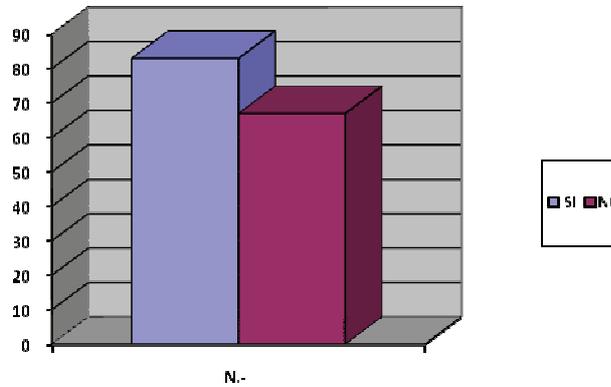


Fig. 3.1 Contrata servicios internet

Interpretación: Se observa que el 55,43% de las empresas de la zona dispone de acceso a Internet, esto determina que si el índice de penetración de Quito es del 27,21%, en la zona existe un 28,22% de sobre cobertura, por lo cual se determina que la misma constituye una zona de alto interés comercial para el proyecto.

Items 2	¿Tiene usted o alguna persona de la empresa internet móvil?
----------------	--

Situación	N.-	%
SI	37	24.67%
NO	113	75.33%
TOTAL	150	100%

Tabla. 3.5 Personas del entorno con acceso a Internet Móvil

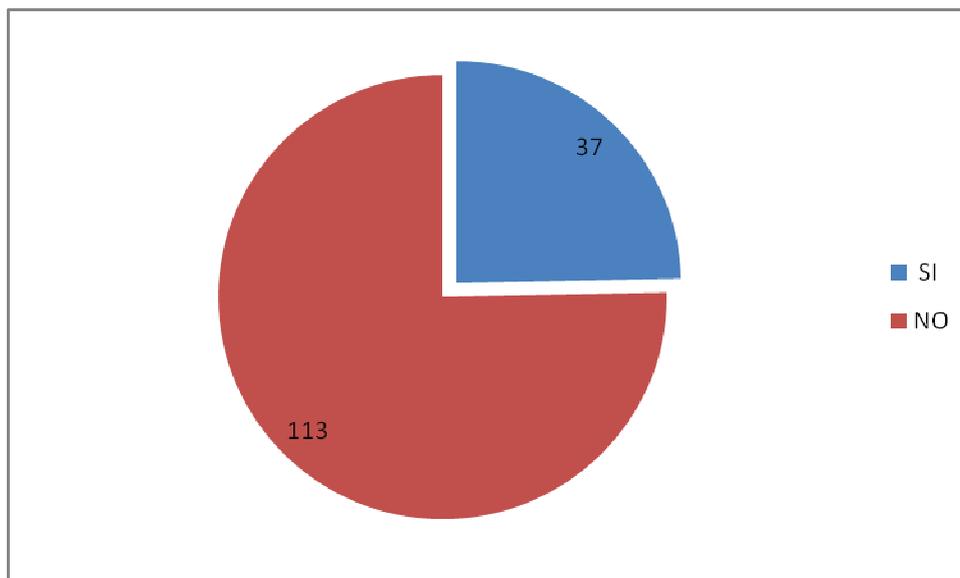


Fig. 3.2 Personas del entorno con acceso a Internet Móvil

Interpretación: Se observa que únicamente el 24,67% de las personas de empresas de la zona dispone de acceso a Internet móvil, esto determina que existe un alto potencial comercial para el proyecto.

Items 3	¿Qué empresas proveedoras de internet conoce?
----------------	--

Situación	N.-	%
TVCABLE	59	39,3%
CNT	22	14,6%
MOVISTAR	10	6.6%
CLARO	15	10%
NINGUNA	44	29,3%
TOTAL	150	100%

Tabla. 3.5 Proveedores que conoce de servicio de Internet

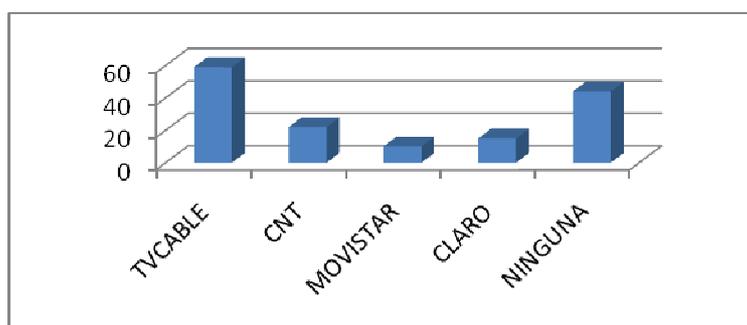


Fig. 3.3 Proveedores que conoce de servicio de Internet

Interpretación: Se observa que la empresa TV Cable es la más conocida con un 39,33% de reconocimiento, CNT alcanza un 16,6% de reconocimiento, y Porta un 14,67%.

Es importante señalar que el 29,33% de los encuestados admite no conocer ninguna empresa proveedora de Internet, lo que determina que existe un importante segmento que puede ser fidelizado por el proyecto con una adecuada promoción.

Items 4	¿Considera que el internet actualmente es una necesidad? (Comentario)
----------------	--

Situación	N.-	%
SI	95	63,33%
NO	55	36,67%
TOTAL	150	100%

Tabla. 3.5 Internet como necesidad

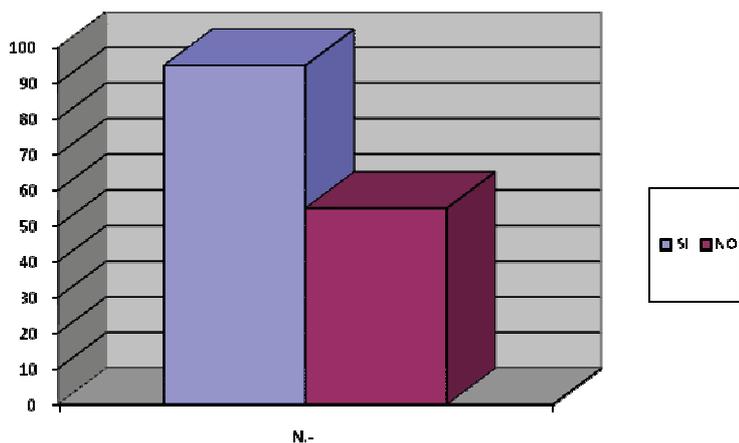


Fig. 3.4. Internet como necesidad

Interpretación: Se observa que un 63,33% de encuestados considera que el Internet es una necesidad, pues es una opción educativa, informativa y de entretenimiento relativamente económica; el 36,67% restante manifiesta que el Internet permanente no es necesario pues ya trabaja todo el día con esta herramienta.

El alto porcentaje que muestra una percepción de necesidad por el Internet, determina que el área de interés del proyecto, tenga una mercado meta numeroso.

Items 5	¿Estaría interesado(a) en contratar un servicio de internet móvil de última generación, nuevo?
----------------	---

Situación	N.-	%
SI	79	52,67%
NO	71	47,33%
TOTAL	150	100%

Tabla. 3.6 Interés por contratar internet

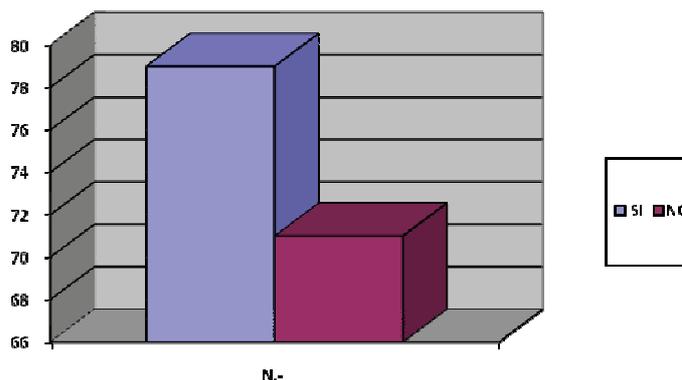


Fig. 3.5 Interés por contratar internet

Interpretación: Se observa que un 47,33% de encuestados no consideraría contratar Internet móvil, de una empresa que no sea conocida y que el 52,67% si consideraría contratar Internet de una empresa que no sea conocida.

El alto porcentaje de potenciales usuarios con predisposición a contratar el servicio de Internet de una empresa no conocida, determina que la zona de interés del proyecto, tiene un alto potencial comercial, y que con una adecuada propuesta informativa y promocional, podría captarse una importante cantidad de clientes.

Items 6	Por el servicio de internet ilimitado móvil. ¿Cuál sería el precio referencial que consideraría pagar?
---------	--

Precio Referencia (USD)	N.-	%
20 a 25	51	34,00%
25 a 30	57	38,00%
35 a 40	17	11,33%
Más de 40	25	16,67%
TOTAL	150	100%

Tabla. 3.7 Precio preferencial

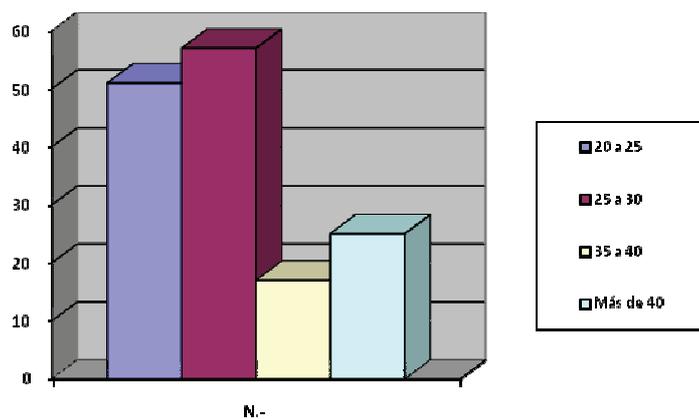


Fig. 3.6 Precio preferencial

Interpretación: Se observa que un 16,67% de encuestados consideraría pagar por el servicio más de 40 dólares mensuales, un 11,33% consideraría pagar entre 35 a 40 dólares, un 38% consideraría pagar entre 25 a 30 dólares por el servicio y un 34% consideraría pagar entre 20 y 25 dólares.

En función de lo obtenido en la tabla 3.7 se determina que:

RANGO DE PRECIOS (USD)	%	MARCA DE CLASE PONDERADO
20 A 25	34,00%	22,57,65
25 A 30	38,00%	27,510,45
35 A 40	11,33%	37,54,25
Más de 40	16,67%	457,5
VALOR PROMEDIO PONDERADO 29,85		

Tabla. 3.8 Precio preferencial

Ponderando los distintos rangos de valores considerados para el costo del servicio, se tiene que el precio promedio ponderado debe ser de alrededor de 29,85 dólares al mes; valor que se acerca a la oferta de otras empresas por este tipo de servicio.

Items 7	¿Le interesaría disponer de varias opciones de velocidad y precio de internet?
----------------	---

En este Ítem se sondea la opinión del cliente con respecto a la posibilidad de disponer alternativas de planes en precio y ancho de banda ofrecido por el servicio

Situación	N.-	%
SI	83	55,00%
NO	67	45,%
TOTAL	150	100%

Tabla. 3.9 Opciones de velocidad y precio

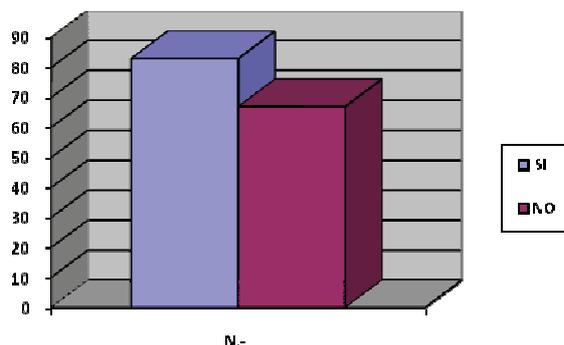


Fig. 3.7 Opciones de velocidad y precio

Interpretación: Se observa que un 55% de encuestados considera que es adecuado que le sean ofertadas diversas opciones de velocidad de Internet móvil, a precios diferentes, mientras que el 45% de las personas considera que el servicio debería ser uniforme, es decir de la velocidad fijada a un precio estándar.

Es importante que el proyecto considere como requerimiento, el software para controlar el ancho de banda variable, sin afectar la operatividad, podría así ofertar una o dos opciones de valor adicionales.

Items 8	¿Cuál su apreciación respecto a los siguientes atributos del servicio?
----------------	---

ATRIBUTO	MUY IMPORTANTE	ALGO IMPORTANTE	POCO IMPORTANTE
CALIDAD DEL SERVICIO	118	30	2
FACILIDAD DE PAGO	100	45	5
VELOCIDAD	120	27	3
PRECIO	110	26	14
CAPACIDAD DE APOYO	117	30	3

Tabla. 3.10 Valoración de atributos

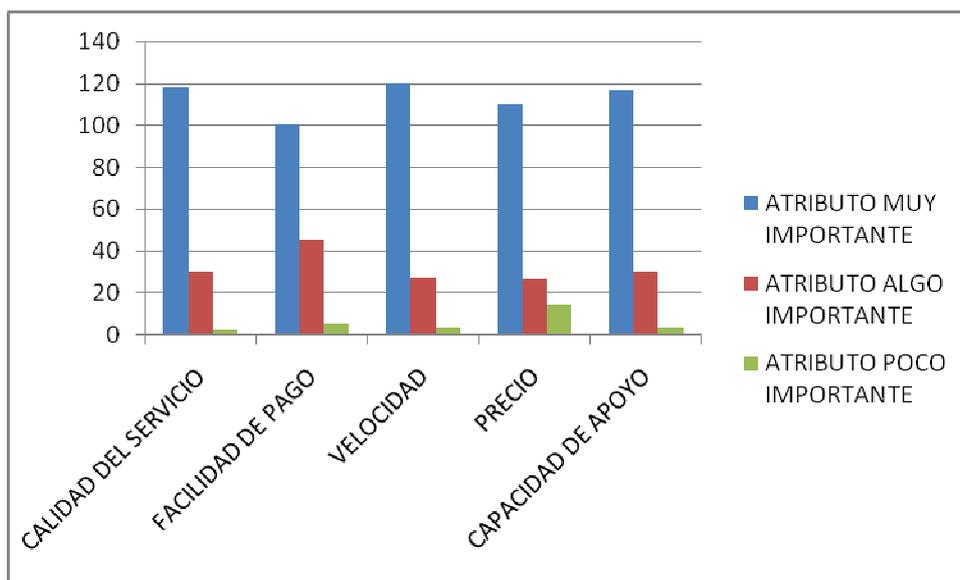


Fig. 3.8 Valoración de atributos

Análisis: Calificando con 3 a MUY IMPORTANTE, con 2 a ALGO IMPORTANTE y con 1 a POCO IMPORTANTE, se obtienen las siguientes calificaciones para los diferentes atributos:

ATRIBUTO	MUY IMPORTANTE	ALGO IMPORTANTE	POCO IMPORTANTE	CALIFICACION
CALIDAD DEL SERVICIO	354	60	2	416
FACILIDAD DE PAGO	300	90	5	395
VELOCIDAD	360	54	3	417
PRECIO	330	52	14	396
CAPACIDAD DE APOYO	351	60	3	414

Tabla. 3.11 Valoración de atributos

Interpretación: Si se toma como referencia la calificación máxima de 450, es decir, el total de personas encuestadas que es 150 multiplicado por la calificación máxima al atributo se observa que el atributo que las personas consideran el más importante es la velocidad, por lo que la empresa debe asegurarse de entregar el ancho de banda comprometido, el segundo atributo más importante es la calidad del servicio, seguido por la capacidad de apoyo, el precio, y la facilidad de pago (diferentes opciones para cancelar el servicio); si bien el precio es un atributo importante, no es el más importante para el potencial cliente.

3.2.5.3. Aspectos de comercialización

Promoción y publicidad

Para promocionar el proyecto se realizarán las siguientes actividades:

- Modificación del sitio Web de la empresa, donde esté la información de contacto, descripción del servicio, alcance, calidad del servicio, etc.
- Campañas de publicidad directa, en las cuales se entregarán: volantes, stickers y lapiceros.
- La mejor referencia sin embargo será la calidad del producto y la atención al cliente.

Canales de comercialización

Los canales de comercialización que manejará el proyecto son:

- Comercialización directa en la oficina que se implementará, para atender los contratos.
- Comercialización On Line, en base al sitio Web que posee la empresa.
- Comercialización por medio de vendedores comisionistas, que ofrecerán el producto.
- Comercialización por medio de referidos, quienes a su vez se beneficiarán con un descuento especial.

Estimación de la demanda del proyecto

La concentración observada en el Distrito Metropolitano de Quito, determina que los potenciales son 123.417, para observar la tendencia presentada en el mercado, se debe considerar que únicamente el 1% de estos posibles clientes serán captados por el proyecto.

El crecimiento anual que se considerará para proyectar los usuarios, para los años futuros, es del 1,65% que corresponde al incremento poblacional en el DMQ³⁹, más el 1,5% que logrará la empresa por efecto de su esfuerzo de comercialización, con lo que se tiene:

AÑO	USUARIOS
2012	1.235
2013	1.274
2014	1.314
2015	1.355
2016	1.398
2017	1.442
2018	1.487
2019	1.534
2020	1.582
2021	1.632

Tabla. 3.12 Proyección de la Demanda

Los valores de la demanda proyectada, se utilizarán para estimar el ancho de banda requerido por el proyecto, de lo cual dependerá el diseño.

39 INEC – CONQUITO, Estudio Demográfico, 2011

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA Y FINANCIERA

4.1 DISEÑO DE LA RED

4.1.1 DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS

La correcta planificación y diseño de la red depende fundamentalmente de la determinación de requerimientos y la selección de los equipos que cumplan de manera eficiente dichos requerimientos.

Se considera utilizar la tecnología WiMAX 802.16e, que define funcionalidades que deben cumplir los equipos para crear redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN).

4.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

ZONA DE COBERTURA: La zona de cobertura para la aplicación del Proyecto se ubica en el norte comercial de Quito, ya que constituye un lugar de gran concentración poblacional y actividad económica, lo que forma una área estratégica para el desarrollo de empresas y por lo tanto es necesario implementar un sistema de comunicación, eficiente, seguro y móvil; específicamente la zona escogida comprende desde la Av. Patria hasta el sector de Carcelén, ésta área aproximadamente tiene 12 Km de largo y 6 Km de ancho, esté sector no posee elevaciones significativas.

DISEÑO DE RED: El diseño de la red se basa en el modelo jerárquico de red, es una herramienta útil para diseñar una infraestructura de red confiable. Proporciona una vista modular de la red, lo que simplifica el diseño. Consta de 3 capas, que son: capa núcleo, capa de distribución y capa de acceso.

CAPA NÚCLEO: La capa núcleo ofrece un enlace troncal de alta velocidad que está diseñado para conmutar paquetes tan rápido como sea posible. Como el núcleo es fundamental para la conectividad, debe proporcionar un alto nivel de disponibilidad y adaptarse a los cambios con rapidez. También proporciona escalabilidad y convergencia rápida. La capa núcleo está constituida por el enlace entre la red y la Internet, este enlace se realiza a través de un switch de borde, que conecta la red exterior (Internet) con la red inalámbrica del carrier, y un firewall que proporciona seguridad a la red del carrier. Es necesario establecer los protocolos de enrutamiento que se utilizará, para el diseño planteado se requiere un protocolo de enrutamiento interno, y un protocolo de enrutamiento externo.

Enrutamiento: El enrutamiento puede ser estático y/o dinámico, los principales protocolos de enrutamiento dinámicos son RIP, OSPF, IGRP (Enrutamiento interno) y BGP (Enrutamiento externo). Los principales aspectos que definen a un protocolo de enrutamiento son:

- Algoritmo de enrutamiento: Define la forma de generar y publicar las tablas de rutas.
- Tiempo de convergencia del protocolo: Define el tiempo que se demora en actualizar las tablas, desde el momento del cambio hasta cuando todos los equipos concluyeron el aprendizaje de la nueva tabla.
- Tipo de protocolo: Define si trabaja en el interior de un sistema autónomo como un carrier, o exterior en el caso de trabajar entre sistemas autónomos, como por ejemplo si se necesita acceder dinámicamente a redes de diferentes proveedores.
- Procesamiento de switches: Define la carga de proceso que genera el algoritmo. Los procesos que realizan los protocolos son los cálculos de caminos más cortos y actualización de tablas.
- Consumo de ancho de banda: Está relacionado con el canal que ocupa al intercambiar la información de tablas hasta llegar al estado de convergencia, el cual se da al instante en que la red opera con todos los datos consistentes y reales.
- Soporte de Subnetting

En la siguiente tabla se detallan los productos de enrutamiento con sus características principales:

Característica	RIP V2	OSPF	IGRP	EIGRP
Algoritmo de Enrutamiento	Vector Distancia	Estado enlace	Vector Distancia	Hibrido
Tiempo de convergencia	Alto	BAJO	Alto	Alto
Consumo de CPU	Bajo	ALTO	Mediano	Alto
Consumo Ancho de banda	Alto	BAJO	A/tc	Bajo
Distancia administrativa	120	100	90	110
Soporta Subnet	SI	SI	SI	SI

Tabla. 4.1 Comparación de protocolos de enrutamiento internos más utilizados

Para el enrutamiento interno se elige el protocolo OSPF (Open Shortest Path First - Primero la ruta libre más corta), debido a su bajo tiempo de convergencia y bajo consumo de ancho de banda, en comparación a protocolos como: RIPv2, IGRP, EIGRP.

OSPF es un protocolo de enrutamiento de estado de enlace desarrollado como reemplazo del protocolo de enrutamiento por vector de distancia: RIP. OSPF utiliza el concepto de áreas para realizar la escalabilidad, se define la métrica OSPF como un valor llamado costo. Las principales ventajas de OSPF frente a RIP son su rápida convergencia y escalabilidad a implementaciones de redes mucho mayores.

Para el enrutamiento externo se utilizará el protocolo BGP-4 (Border Gateway Protocol - Protocolo de la Pasarela Externa), éste protocolo usa parámetros como ancho de banda, costo de la conexión, saturación de la red, denegación de paso de paquetes, etc. para enviar un paquete por una ruta o por otra. Un switch BGP da a conocer sus direcciones IP a los switches BGP y ésta información se difunde por los switches BGP cercanos y no tan cercanos. BGP tiene sus propios mensajes entre switches, no utiliza RIP.

CAPA DISTRIBUCIÓN.- La capa de distribución utiliza switches de capa 3, para segmentar grupos de trabajo, lo que permite manejar VLANs y dividir a la red interna, proporciona conectividad basada en políticas, se utilizarán las siguientes VLANs:

VLAN de servidores de administración y aplicación: La VLAN de servidores de administración y aplicación está compuesta por los puertos conectados a los servidores de: administración, monitoreo, autenticación (RADIUS) y VPN.

VLAN de acceso, En ésta VLAN se encuentra el puerto conectado hacia el equipo final del usuario y el switch de acceso de la empresa.

VLAN de dispositivos de conectividad externa, Ésta VLAN contiene los puertos a los que se conectan los dispositivos encargados de la conexión de la red interna con la nube de Internet, (Firewall y switch de borde).

CAPA DE ACCESO.- Permite el acceso de los usuarios a la red. La capa de acceso generalmente incorpora dispositivos de conmutación de LAN, con puertos que proporcionan conectividad a las estaciones de trabajo y a los servidores. En el entorno de la WAN, puede proporcionar a los trabajadores a distancia o a los sitios remotos, acceso a la red corporativa a través de la tecnología WiMAX móvil.

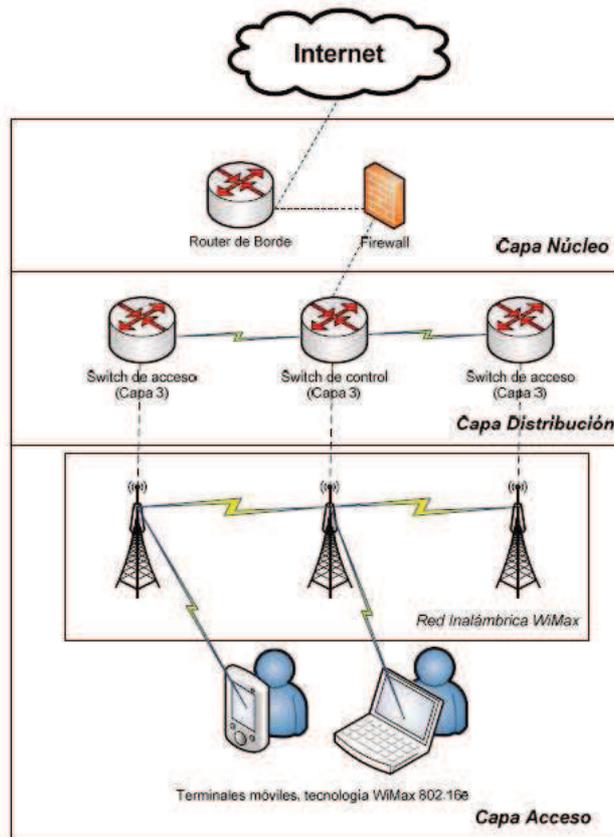


Fig. 4.1 Diagrama de red

Permite el acceso de los usuarios móviles a los datos de una red privada mediante una VPN la capa de acceso generalmente incorpora dispositivos de conmutación de LAN con puertos que proporcionan conectividad a las estaciones de trabajo y a los servidores.

La capa de acceso está compuesta por la red inalámbrica de acceso, y los equipos finales de usuario.

RED INALÁMBRICA.- Se utiliza la tecnología WiMAX móvil para el despliegue de la red inalámbrica, el cual nos proporciona una red de transporte y acceso robusta, con seguridad, escalabilidad, capacidad y gran alcance.

TOPOLOGIA DE RED.- La determinación de la estructura de la red es fundamental en el diseño, entre las principales configuraciones que soporta la tecnología WiMAX: se tiene topología punto a punto, punto multipunto, malla, sin embargo es posible tener configuraciones híbridas que consta de una o varias configuraciones diferentes.

4.1.2 UBICACIÓN DE NODOS

La correcta ubicación geográfica de las radio bases exige cubrir la zona en su totalidad, línea de vista entre las estaciones base y con la mayoría de usuarios potenciales, y evitar la superposición de celdas para no tener problemas de interferencias. Además los puntos seleccionados deben tener facilidades de acceso, energía eléctrica, y seguridad física.

Tomando en cuenta las características mencionadas y los requerimientos de cobertura planteados, se realiza la inspección del área y se determina los puntos para la instalación de los nodos de comunicación.

Las estaciones base necesitan de un sistema que las integre y es independiente de la tecnología se podría usar enlaces de fibra óptica, así como enlaces de microondas, el presente proyecto propone el diseño de un “backbone” utilizando tecnología WiMAX con enlaces punto-punto para integrar todas las estaciones base.

Se realizará un enlace desde la estación base situada en el edificio donde opera el proveedor (Base 1) hacia una estación base ubicada en el Cerro Pichincha desde aquí se enlazarán a las demás estaciones base localizadas en la ciudad de Quito mediante enlaces punto-punto.

En la Tabla se muestran los posibles puntos (Base 1, COTAC, Panamericana), de ubicación de las radio bases, que permite cubrir la totalidad de la zona geográfica establecida.

Nodo	Dirección	Longitud	Latitud	Altura Sobre el Nivel del Mar (m)	Altura de las antenas (m)
BASE 1	América y Mariana de Jesús, edificio Cínica Internacional	0°10'56.12"S 0°11'18.05"S	78°29'15.19"W 78°29'49.18"O	2820	45
COTAC	Av. Galo Plaza Lasso y Alonso Yépez	0°08'07.08"S	78°28'56.84"W	2835	30
Panamericana	Panamericana Norte, Sector de Carretas	0°05'48.89"S	78°28'05.78"W	2831	35
Pichincha	Cerro Pichincha Quito	0° 10' 5.7" S	78° 31' 27.9" W	3832	20

Tabla. 4.2 Ubicación geográfica de los nodos de comunicación.

Ubicación geográfica de los nodos de comunicación.



Fig. 4.2 Ubicación geográfica del nodo Base 1

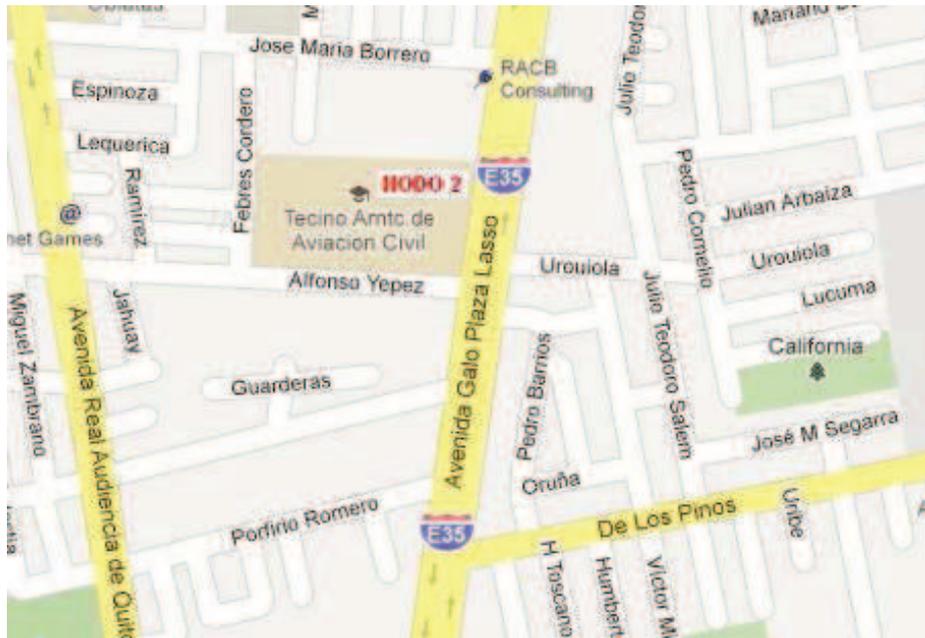


Fig. 4.3 Ubicación geográfica del nodo COTAC

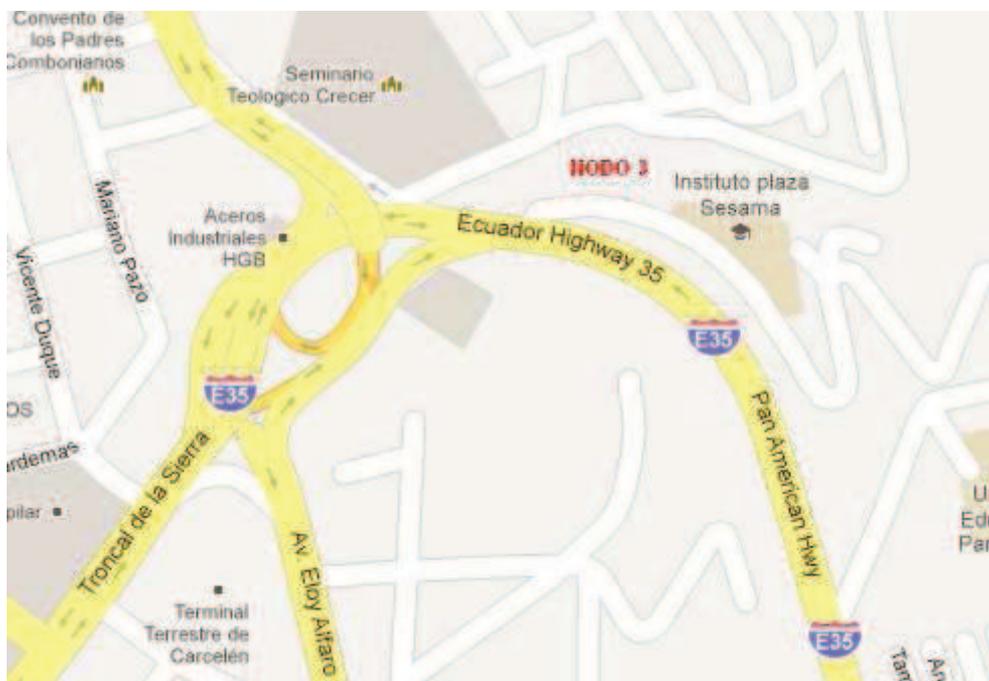


Fig. 4.4 Ubicación geográfica del nodo Panamericana



Fig. 4.5 Ubicación geográfica de nodos, zona de cobertura y perfil geográfico



Fig. 4.6 Trayectoria de Enlaces Cerro Pichincha - nodos

Se tomó en cuenta el radio de celda de 10 Km, éste radio puede aumentar, dependiendo de la potencia y altura de las antenas, hasta 15 Km, según el estándar 802.16e hasta 20 Km pero por la topografía de la ciudad de Quito, para disminuir el costo del sistema las antenas serán ubicadas en el caso del nodo Base 1 y nodo COTAC en las terrazas de dichos edificios, en el nodo Panamericana, se requiere la instalación de una torre de 35 metros.

En el cerro Pichincha ya existen torres instaladas por lo cual se instalará los equipos en una torre de un ISP.

4.1.3 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Existe una cantidad extensa de equipos que pueden ser utilizados en sistemas WiMAX, muchos de los fabricantes conocidos a nivel mundial han desarrollado tecnología de punta para todo tipo de usuarios en los mercados más exigentes; para el proceso de selección de equipos se debe seguir el siguiente proceso:

- Llamar a una presentación de ofertas, habiendo estudiado con detenimiento los requerimientos del sistema.
- Conocer las características técnicas que presenta cada fabricante
- Estudiar las propuestas económicas de cada fabricante
- Seleccionar uno o varios fabricantes, basándose en los dos puntos anteriores
- Negociar formas de financiamiento con los fabricantes seleccionados
- Elección del equipo a ser instalado en el sistema.

La tabla siguiente presenta varios fabricantes y las características más relevantes de los equipos que ofrecen, se elegirá aquel que se acople mejor a las necesidades del diseño.

Fabricante	AIRSPAN	NEX-G	SIEMENS	ALVARION	APERTO
<i>Modelo</i>	<i>HyperMax</i>	<i>Horizon</i>	<i>SkyMax</i>	<i>BreezeMax</i>	<i>PacketMax</i>
<i>Banda de Frecuencia (GHz)</i>	3,4 - 3,6 y 5,8	5,8; 3,5 y 2,5	3,4 - 3,8	3,4 - 3,6	3,4 - 3,6 y 5,8
<i>Potencia del Transmisor (dBm)</i>	32 x antena	NO ESPECIFICA	35	28	20 – 28
<i>Sensibilidad del receptor (dBm)</i>	-115 (1/16)	NO ESPECIFICA	-103/-100	-100/-103	-100
<i>Ancho del canal(Mhz)</i>	1,75; 3,5; 5; 7 y 10	1,75; 3,5; 7 y 10	1,75 a 14	1,75; 3,5	2 - 10 pasos de 1
<i>QoS</i>	UGS rtPS nrtPS BE	RT	CG RT NRT BE	RT	CG RT NRT BE
<i>Ganancia de la Antena</i>	DL 18dBi UL 13dBi	18dbi	NO ESPECIFICA	17dBi	NO ESPECIFICA
<i>IPv6</i>	Si	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA
<i>CIR/MIR</i>	Si	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA
<i>Encriptación</i>	AES/DES	NO ESPECIFICA	NO ESPECIFICA	WEP 64 – 128 bits	AES/DES
<i>Actualización de software</i>	Si	Si	Si	NO ESPECIFICA	Si
<i>VLAN</i>	Si	Si	Si	Si	Si

Tabla 4.3 Características de equipos WiMAX

Al estudiar detalladamente la tabla anterior, se observa que las marcas AIRSPAN, NEX-G y APERTO trabajan en la banda de 3,5 GHz que es la que se utiliza para el diseño del proyecto. Es importante monitorear y administrar el ancho de banda de cada uno de los clientes esta opción está disponible con los equipos AIRSPAN.

Al momento los equipos AIRSPAN tienen compatibilidad con el estándar IPv6 y además soportan actualización del software del estándar 802.16-2004 a 802.16-e.

Después de revisar las especificaciones técnicas de cada fabricante y sus equipos se llega a la conclusión que los equipos de Airspan y su línea AsMax se acoplan de mejor manera a los requerimientos de nuestro diseño.

Una vez seleccionado el fabricante y la línea de equipos a continuación se describirá las estaciones base y los CPE's que se considerarán en el diseño.

ESTACIÓN BASE HIPERMAX

HiperMax está diseñado para operar sobre grandes redes, utiliza un sistema altamente escalable y redundante.

Proporciona una amplia cobertura con un arreglo de antenas de 8 elementos, toda estación base HiperMax soporta Sistema de Antenas Adaptivas (AAS), diversidad de transmisión y recepción multicanal, además posee una plataforma que le permitirá utilizar Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA), el cual usa el arreglo de antenas para mejorar la capacidad y el re-uso de frecuencias.

Las estaciones base HiperMax pueden ser configuradas para proveer aplicaciones de voz tradicionales utilizando TDM o pueden ser optimizadas para soportar aplicaciones VoIP, usando un gateway estándar hacia la PSTN (Public Switched Telephone Network).

La estación base HiperMax a sido seleccionada ya que permite manejar gran cantidad de tráfico así como de CPE's.

ESTACIÓN BASE MICROMAX⁴⁰

La estación base MicroMax tiene un diseño altamente modular, y consiste de dos partes principales: una externa de radio frecuencia (BSR, Base Station Radios) y una interna denominada Unidad de Distribución de Estación Base (BSDU) o un sencillo adaptador de canal de datos. Cada emplazamiento de estaciones base puede contener hasta 12 BSRs, dependiendo de la cantidad de espectro disponible. Cada BSR es conectada a la BSDU a través de un interfaz 100BASE-T operando sobre cable UTP categoría 5, el cual conduce datos y alimentación.

⁴⁰ www.airspan.com

MicroMax-SOC ha sido diseñada para soportar baja densidad de tráfico, acceso de banda ancha rural, aplicaciones empresariales y DSL operando en bandas licenciadas y no licenciadas.

Una de las principales características de MicroMax BSR es que requiere menos de 28 vatios de potencia, haciéndolo ideal para alimentarse de energía a través de la línea de datos usando líneas SHDSL, de éste modo se hace posible la entrega económica de servicios inalámbricos de banda ancha a comunidades rurales, superando el alcance de DSL.

MicroMax ha sido considerada para zonas en las que la concentración de usuarios no es muy grande y el tráfico que generan no es muy alto.

EQUIPO TERMINAL DE USUARIO (CPE)

El CPE (Customer Premises Equipment) de WiMAX es un terminal simple “plug and play”, similar a un módem xDSL, proporciona la conectividad. Para los clientes situados a varios kilómetros de la estación base de WiMAX, una antena al aire libre se puede requerir para mejorar calidad de transmisión. Para servir a clientes alejados se requiere una antena direccional apuntando a la estación base de WiMAX. Para los clientes que solicitan voz además de servicios de banda ancha, el CPE específico permitirá la conexión del teléfono estándar o de los teléfonos de VoIP. Para las “notebooks” el CPE consiste en una tarjeta insertable, mientras que para los equipos móviles será un chip WiMAX.



Fig. 4.8 CPE WiMAX, para aplicaciones fijas y móviles.

Equipo de Usuario ProST-WiFi

El ProST ha sido diseñado para un despliegue externo rápido y simple, para ser instalado por personal calificado en menos de una hora. Esta unidad es ideal cuando se necesita garantizar calidad de servicio. El ProST asegura alta disponibilidad de servicio en rangos mejorados, operando indistintamente en ambiente de propagación LOS y NLOS.

Para ofrecer un servicio básico, el ProST posee una configuración simple, sin embargo; para dar mejor servicio el ProST requerirá el sistema de administración para autenticar el equipo de usuario usando el protocolo X.509. La figura 4.5 nos da una idea de cómo trabaja el ProST.

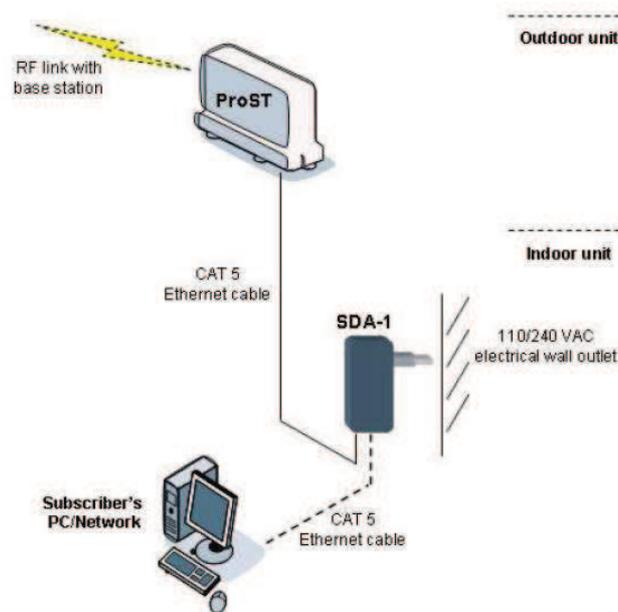


Fig. 4.9 Equipo ProST con antena integrada

ProST-WiFi es el equipo terminal que será utilizado para los usuarios empresariales por las características antes mencionadas.

Equipo de Usuario EasyST

EasyST es un CPE WiMAX diseñado para ser instalado fácilmente a un costado del PC del usuario final, como se puede apreciar en la figura 4.6.

Las principales características de EasyST:

- CPE WiMAX de fácil instalación por el usuario final
 - Desplegable en ambientes NLOS internos
 - Plug and Play
 - La instalación tarda menos de un minuto
- Diseño compacto
 - Utiliza chip Intel 802.16 ProWireless 5116
 - Punto de Acceso WiFi opcional IEEE 802.11b/g
 - Opcional VoIP para 1 o 2 - 4 líneas POTS
- Diferentes tipos de antenas
 - Antena auto selectiva de 7dBi
 - Antena externa de 11.5 dBi
- Soporta subcanalización (OFDMA en Uplink)
- Lector universal de tarjetas SIM
- Operación Nómada
- Auto-configuración

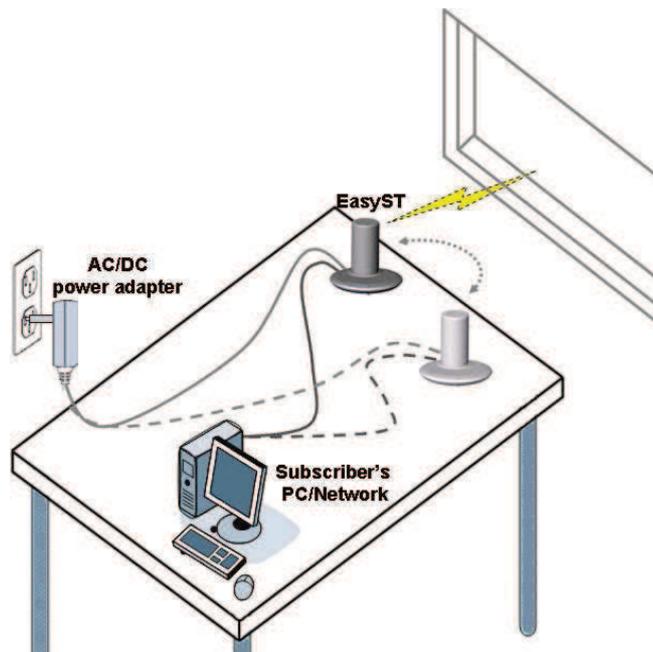


Fig. 4.10 Equipo EasyST

El equipo EasyST es el equipo terminal que será utilizado para los usuarios residenciales.

En las siguientes tablas se puede obtener mayor información técnica acerca de características específicas de los equipos

		Macro Cells Base Stations	
		HiperMAX	MacroMAX
RF Interface	Physical Layer	OFDM (SDR software upgradable to SOFDMA)	OFDM (SDR software upgradable to SOFDMA)
	Frequency Bands	3.4-3.6GHz initially, 2.3-2.4GHz, 4.9-5.0GHz + subsequent additional WIMAX bands	3.4-3.6GHz initially
	Channel Size	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz, 7MHz, 10MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 5MHz
	FFT	256 (SDR software upgradable to 512 and 1024)	256 (SDR software upgradable to 512 and 1024)
	Duplex Method	FDD + TDD	FDD initially
	Sector Angle	60, 90, 120, 180, omni	60, 90, 120, 180, omni
	Modulations Supported	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
	WIMAX Profiles Supported	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2
	Standards Compliance	IEEE 802.16-2004 (Software upgradable to 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (Software upgradable to 802.16e)
	Tx Power (see note 1)	Up to +32dBm per antenna element	Up to +37dBm per antenna
Rx Sensitivity (see note 2)	-115dBm (1/16), -103dBm (1/1)	-115dBm (1/16), -103dBm (1/1)	
AAS & Diversity Gains (Downlink / Uplink)	Up to 22dB / 15dB	Up to 7dB / 7dB	
RF Interface Options	Adaptive Antenna System (AAS) Support	Yes	No
	Multi Channel Tx Diversity	Yes	Yes
	Nth Order Rx Diversity	Yes	Yes
	Space Division Multiple Access (SDMA) Support	Yes, by software upgrade	No
	Spatial Frequency Interface Rejection (SFIR) Support	Yes, by software upgrade	No
	Uplink Sub-Channelisation Support	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 (+1/32 with software upgrade)	1/2, 1/4, 1/8, 1/16 (+1/32 with software upgrade)
	Dynamic Frequency Selection (DFS) Support	N/A	N/A
	Turbo Coding Supported	Yes, by software upgrade	Yes, by software upgrade
	Configurable Cyclic Prefix	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
	Configurable Frame Duration	2.5, 4, 5, 8, 10, 12.5, 20ms	2.5, 4, 5, 8, 10, 12.5, 20ms
GPS Clock Synch Supported	Yes	Yes	
IP Options / Features	Bridging Mode	802.1D self-learning bridge	802.1D self-learning bridge
	IPv	IPv4 + IPv6	IPv4 + IPv6
	802.1Q VLAN	Yes	Yes
	MIR / CIR	Yes	Yes
	DiffServ	Yes	Yes
	Packet IPv6 over 802.3/Ethernet	Yes	Yes
	Packet IPv4 over 802.1Q	Yes	Yes
	Packet IPv6 over 802.1Q	Yes	Yes
	Payload Header Suppression	Yes	Yes
	Multicast Polling	Yes	Yes
ARQ	Yes	Yes	
Packing	Yes	Yes	
Scheduling	Unsolicited Grant Service	Yes	Yes
	Real Time Polling	Yes	Yes
Encryption	Data Encryption AES CCM	Yes	Yes
	TEK Encryption AES 128bit	Yes	Yes
	TEK Encryption AES 1024	Yes	Yes
Management	Managed Subscriber Station	N/A	N/A
User / Network Interface Options	User / Network Interface	100bT/1000bT Ethernet	100bT Ethernet
Power	Voltage	-48V DC nominal	85-265V AC
	Power Consumption	250W per AAS Sector	300W per Diversity Sector
Mechanical	Indoor Dimensions (h-w-d)	Chassis to fit 19" / 23" Equipment Rack	Chassis to fit 19" / 23" Equipment Rack
	Outdoor Dimensions (h-w-d)	710 x 275 x 130 mm (inc. antenna array)	840 x 159 x 82.5 mm (for a single 120deg antenna)
	Indoor Weight	110kg	13.5kg
	Outdoor Weight	20kg	7kg (for a single 120deg antenna)

Note 1: Tx powers apply for QPSK operation. 64QAM support requires appropriate power back-off.

Note 2: Rx sensitivities apply to the minimum channel bandwidth supported and include maximum sub-channelisation.

Fig. 4.11 Características técnicas de los equipos

4.1.4 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RED

Como todo sistema de telecomunicaciones necesita de un sistema que controle y monitoree la red, se ha elegido para el presente diseño utilizar uno que ha sido elaborado por los mismos fabricantes de los equipos; esto permitirá un óptimo funcionamiento de la red.

Netspan es un administrador de red centralizado que soporta una arquitectura cliente/servidor y está basado en SNMP. El Netspan Server corre sobre la plataforma de un PC, haciendo uso de una Base de Datos SQL que almacena la configuración, estadísticas e historial de alarmas de la red de radio. Para acceder al servidor Netspan se lo hace desde el Explorador de Internet Microsoft, usando el servicio de web del servidor Netspan, como se aprecia en la figura 4.7.

Netspan soporta equipos que conforman el estándar WiMAX, y puede ser integrado con sistemas de administración existentes.

Soporta sistemas fijos y nómadas (móviles y portátiles) con actualizaciones.

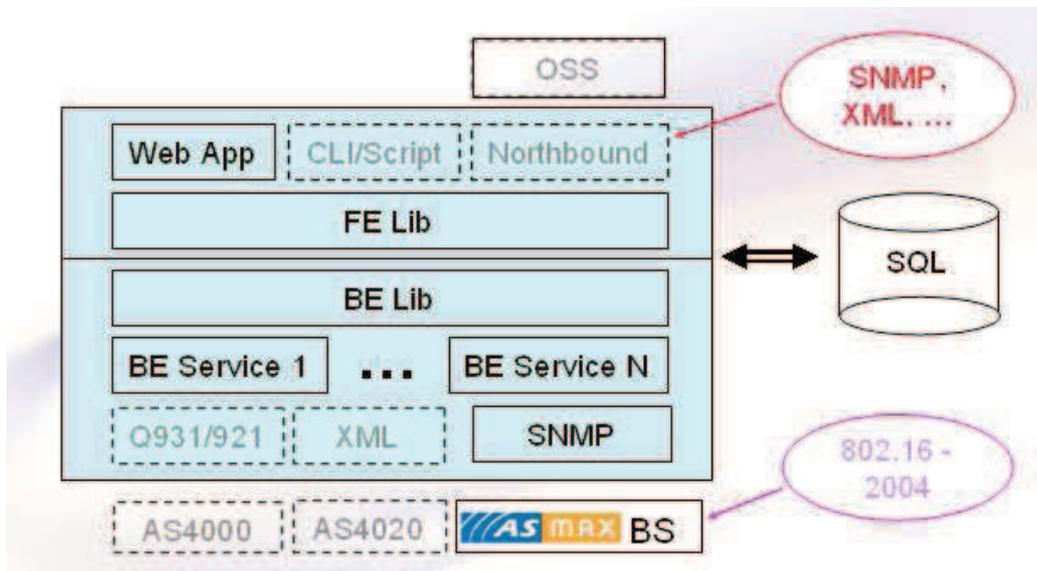


Fig. 4.13 Modelo de la Arquitectura de capas Netspan

El Sistema de Administración de Red Netspan está basado en una plataforma Microsoft.net que permite configuración, operación y mantenimiento como cliente web estándar. La figura presenta un esquema de cómo Netspan administra los terminales de los clientes.

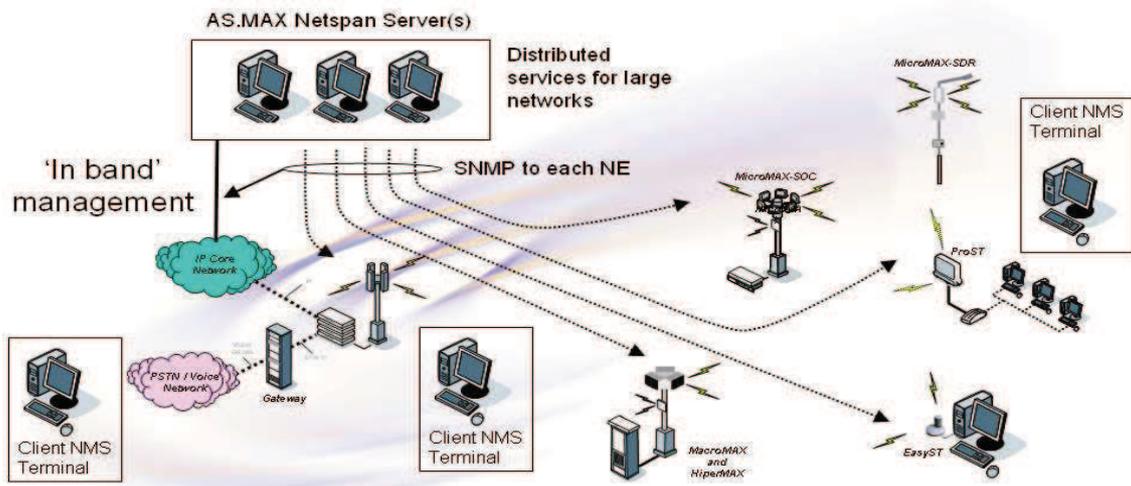


Fig. 4.14 Terminales NMS de cliente distribuidos

Permite el control centralizado de las estaciones base mediante reportes continuos de las mismas hacia el centro de operaciones donde estará ubicada la terminal de control. La figura anterior da una idea de cómo Netspan monitorea y administra las estaciones base de manera centralizada.

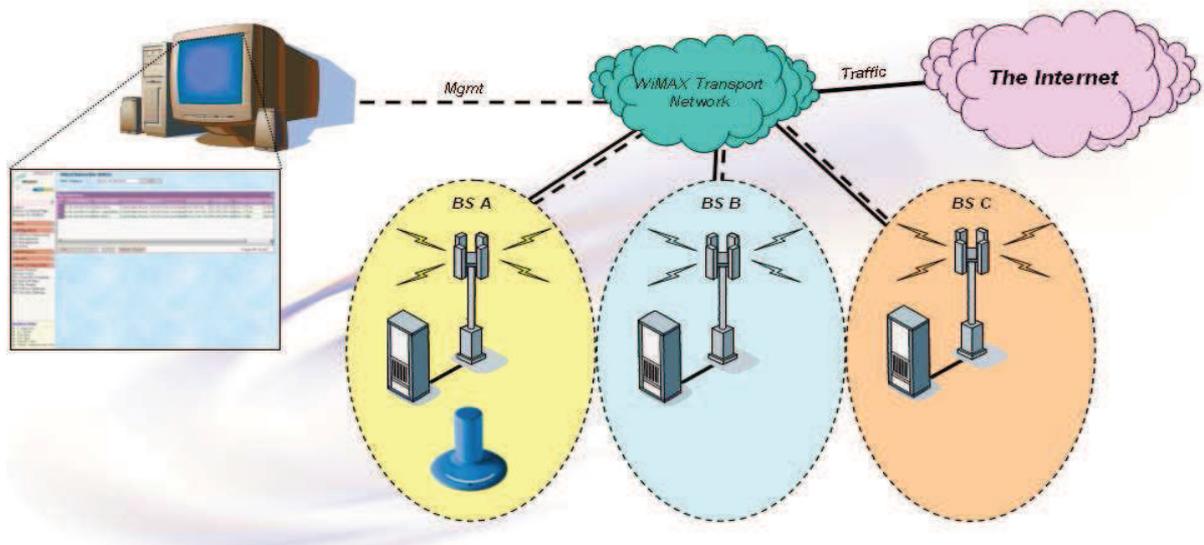


Fig. 4.15 Modelo de Administración total de la Red incluyendo Estaciones Base

Actualización de WiMAX

Los equipos antes mencionados podrán utilizar actualizaciones para operar con nuevas versiones de software ya sea bajo el estándar fijo o móvil, de acuerdo a las especificaciones de la tabla siguiente.

	<i>WiMAX Fijo</i>	<i>WiMAX Móvil</i>
Estándar	802.16-2004	802.16e-2005,
Capa Física	256 FFT OFDM	512 and 1024 FFT SOFDMA
Tamaño de Canal	3.5 MHz, 7 MHz y 10 MHz	5 MHz y 10 MHz
Método de Duplexación	TDD & FDD	TDD (actualmente)
Capa de Convergencia	Ethernet (Capa 2)	IP (Capa 3)
Escenarios de Aplicación	Fijo y nómada Posiblemente Portable	Portable y Móvil
Cliente	CPEs externos módems de escritorio	Tarjetas para Laptop, Dispositivos USB, Mini-PCI (para Laptops), PDAs, Handsets
Esquemas de Modulación	64 QAM en Uplink y Downlink	64 QAM en downlink, 16 QAM en uplink
Características del sistema	Bridging transparente, Roaming nómada, Instalación personal	Soporte Handover, Paging, Sleep Mode
Características de CPEs para soportar técnicas de RF	Diversidad de Tx and Rx (opcional) Uplink Sub-canalización (opcional) AAS (opcional)	AAS (obligatorio) MIMO (obligatorio)

Tabla 4.4 Actualización de WiMAX fijo a WiMAX móvil

4.1.5 DISEÑO DE ENLACES PUNTO A PUNTO

Existe diferentes tecnologías para comunicar las estaciones base, las cuales pueden ser mediante: enlaces de fibra óptica, enlaces de microondas, en este Proyecto se describe la opción de formar el backbone de la red, con tecnología WiMAX en enlaces punto a punto.

Se establece la conexión punto a punto entre el cerro Pichincha y nodo 1 (América y Mariana de Jesús), otro enlace entre el cerro Pichincha el Nodo 2 COTAC y el enlace 3 cerro Pichincha y (Panamericana), en la Tabla siguiente se muestra la distancia entre nodos, y las frecuencias asignadas a los enlaces.

ENLACE	DISTANCIA [KM]	FRECUENCIA [MHZ]
Cerro Pichincha- Nodo 1	8,5	3515
Cerro Pichincha- COTAC	10.6	3535
cerro Pichincha - Panamericana	10.20	3555

Tabla 4.5 Distancia y frecuencia asignada a los enlaces.

4.1.5.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ENLACES PUNTO A PUNTO

La estimación del ancho de banda requerido depende del servicio a prestar, en la sección 2.3 se definen estos requerimientos, la Tabla 2.12 muestra un resumen de estos parámetros.

Proyección	Cuentas Conmutadas	DL 128Kbps	UL 64 Kbps	Cuentas Dedicadas	DL 512 Kbps	UL 256 Kbps	TOTAL Kbps
Diciembre	126	3200	1600	33	4508	2304	11712
Enero	125	3200	1600	36	5120	2550	12480
Febrero	123	3072	1535	38	5532	2816	13055
Marzo	121	3072	1535	40	6144	3072	13824

Tabla 4.6 Ancho de banda total por meses

4.1.5.2 CÁLCULO DE ENLACES

Independientemente del equipamiento de la red y de la línea de vista, es indispensable calcular el presupuesto de potencia de enlace. Sobrecargar un radioenlace no mejora su característica de transmisión, al contrario causa problemas a otros usuarios del espectro.

El presupuesto de potencia de un enlace punto a punto, es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor, a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace, es necesaria para realizar un correcto diseño y elegir el equipamiento adecuado.

La confiabilidad en sistemas de comunicación es un factor importante en consideraciones de diseño, donde la ganancia del sistema influye mucho en sus índices debido a los factores que definen los objetivos de confiabilidad referentes al tiempo máximo permitido de falla debido a todas las causas, incluidas las obstrucciones por trayectoria; expresadas como un porcentaje del tiempo del servicio total durante un periodo dado, sobre una longitud de ruta. Los cálculos para el diseño de la red se realizarán considerando la distancia R correspondiente de cada enlace y las frecuencias asignadas como se muestra en la tabla.

Puntos a Enlazarse	Distancia (Km)	Frecuencia (MHz)
Pichincha – Nodo 1	3.77	f1 = 3515
Pichincha – COTAC	5.92	f2 = 3535
Pichincha - panamericana	10.12	f3 = 3555

Tabla 4.7 Distancias y Frecuencias de enlaces hacia nodos

Los elementos del presupuesto de enlace pueden ser divididos en 3 partes principales:

- En el lado de Transmisión con potencia efectiva de transmisión.
- Pérdidas en la propagación.
- En el lado de Recepción.

4.5.1.3 PÉRDIDAS DE PROPAGACION

Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal, cuando ésta sale de la antena de transmisión hasta que llega a la antena receptora.

Pérdidas en el espacio libre

La mayor parte de la potencia de la señal de radio se pierde en el aire. Aún en el vacío, una onda de radio pierde energía (de acuerdo con los principios de Huygens), que se irradia en direcciones diferentes a la que puede capturar la antena receptora. Ésta pérdida es independiente de factores como el aire, la niebla, la lluvia o cualquier otra cosa que puede adicionar pérdidas.

Conforme viaja una señal RF a través del espacio, ésta se atenúa debido a la distancia existente desde el punto de transmisión inicial. Mientras más lejos está del punto de transmisión, más débil es la señal RF. La ecuación de la pérdida de espacio libre entre dos radiadores isotrópicos es la siguiente:

$$A_0 [dB] = 32.5 + 20 \log f (Mhz) + 20 \log D (Km)$$

<i>f</i> (GHz)	3,515	3,535	3,555
D (Km)	A _o (dB)	A _o (dB)	A _o (dB)
0,4	95,460	95,50	95,55
0,8	101,48	101,53	101,57
1,2	105,00	105,05	105,10
1,6	107,50	107,55	107,59
2	109,39	109,48	109,53
2,4	111,02	111,07	111,12
2,8	112,32	112,41	112,46
3,2	113,52	113,57	113,62
3,6	113,54	114,59	114,64

Tabla 4.8 Perdidas en el espacio libre

4.1.6 CALCULO DEL PRESUPUESTO DEL ENLACE

Para el balance del sistema es necesario entender un concepto muy importante como es el margen de umbral del sistema (M_U), la cual es una medida de la confiabilidad del sistema, ya que incorpora varios parámetros de interés en el diseño de enlaces y representa la pérdida neta de un sistema de radio. Representa la diferencia entre la potencia de umbral del receptor y la potencia umbral del sistema, para una tasa de error dada BER (Bit Error Rate). Este valor de ganancia debe ser mayor o igual al margen de desvanecimiento; analizando la figura 4.16 se puede determinar la siguiente ecuación:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - AB_{Tx} - AB_{Rx} - A_l$$

$$M_U = P_{RX} - P_U \geq FM$$

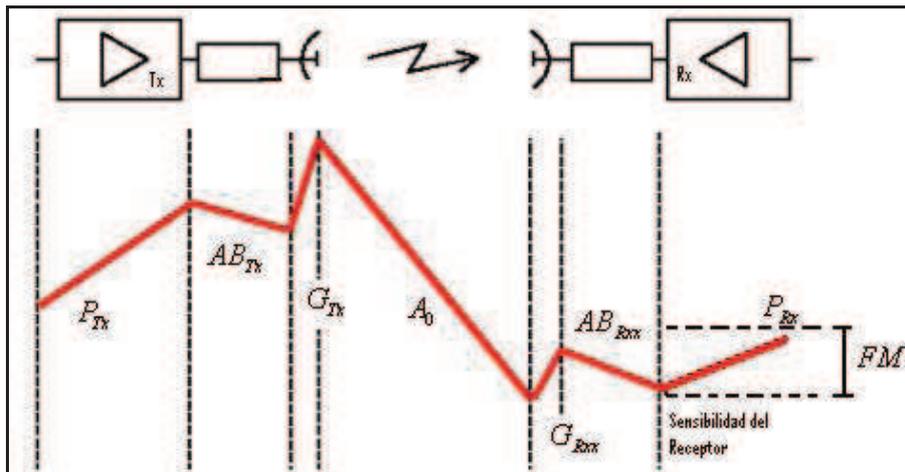


Fig. 4.16 Esquema del Presupuesto del Enlace.

En donde:

P_{RX} = Potencia mínima de entrada del receptor para un objetivo de calidad determinado (dBm).

P_{TX} = Potencia de salida del transmisor (dBm).

G_{TX} = Ganancia de la antena transmisora relativa a un radiador isotrópico (dB).

G_{RX} = Ganancia de la antena receptora relativa a un radiador isotrópico (dB).

A_0 = Pérdida de trayectoria de espacio libre entre antenas (dB).

AB_{Tx} y AB_{Rx} = pérdidas de cableado e inserción

Donde se tiene:

$$P_{Rx} = 35 \text{ dBm}$$

$$G_{Tx} = 16.5 \text{ dBm}$$

$$G_{Rx} = 18 \text{ dB}$$

$$AB_{Tx} = AB_{Rx} = 1.5 \text{ dB} + 0.7 \text{ dB} = 2.2 \text{ dB}$$

Ejemplo de cálculo para la distancia de 3.2Km y frecuencia 3515 Mhz

$$P_{Rx} = 35 + 16,5 + 18 - 113,52 - 2,2$$

$$P_{Rx} = -46.22 [\text{dBm}]$$

En la tabla 4.8 se presentan los resultados obtenidos para P_{RX} de cada uno con su respectivo valor de A_o , frecuencia e intervalos de distancia.

<i>f</i> (MHz)	3515	3535	3555
D (Km)	P_{RX} (dBm)	P_{RX} (dBm)	P_{RX} (dBm)
0,4	-28,16	-28,21	-28,26
0,8	-34,18	-34,23	-34,28
1,2	-37,71	-37,75	-37,80
1,6	-40,20	-40,25	-40,30
2	-42,14	-42,19	-42,24
2,4	-43,73	-43,78	-43,82
2,8	-45,06	-45,11	-45,16
3,2	-46,22	-46,27	-46,32

Tabla 4.9 Resultados de PRX

Margen de Desvanecimiento

El FM considera características no ideales y de propagación de ondas como la propagación de múltiples trayectorias (pérdidas de múltiples trayectorias) y sensibilidad

a superficie rugosa. Es muy importante en la determinación de la ganancia de un sistema, puesto que influye en las condiciones atmosféricas causando situaciones temporales anormales en la misma y produciendo alteraciones en la pérdida de trayectoria en el espacio libre, además depende de los objetivos de confiabilidad del sistema. El cálculo de FM muestra la fluctuación del nivel recibido en el receptor por debajo del nivel teórico de recepción calculado, donde U_{RX} es el Umbral de Recepción.

Donde:

$$U_{RX} = -100 \text{ dB.}$$

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

Ejemplo de cálculo para la frecuencia 3535 Mhz a una distancia de 2 km:

$$FM = -42.19 - (-100)$$

$$FM = 57.81 \text{ dB}$$

En la tabla 4.9 se presentan los resultados obtenidos para FM de cada uno con su respectivo valor de P_{RX} , frecuencia e intervalos de distancia.

	f (GHz)	f (GHz)	f (GHz)
	3515	3535	3555
D (Km)	FM (dB)	FM (dB)	FM (dB)
0,4	71,83	71,78	71,73
0,8	65,81	65,76	65,71
1,2	62,29	62,24	62,19
1,6	59,79	59,74	59,69
2	57,85	57,80	57,75
2,4	56,27	56,22	56,17
2,8	54,93	54,88	54,83
3,2	53,77	53,72	53,67

Tabla 4.10 Resultados de FM

4.1.7 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA (R)

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

$$R = 1 - P$$

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

d = Distancia (Km).

f = frecuencia (GHz).

C = Factor de Rugosidad: 4 terreno muy lisos incluyendo sobre agua.

1 terreno con algunas rugosidades.

1/4 terreno montañoso y muy rugoso.

Ejemplo de cálculo para la frecuencia 3555 Mhz y distancia 2.4Km

$$P = 6 \times 10^{-7} \times \frac{1}{4} \times 3555 \times 2,4^3 \times 10^{-56,17/10} = 7,44482 E - 11$$

$$R = 1 - 7,44482 E - 11 = 0,99997$$

$$R(\%) = 99,99$$

En la tabla 4.9 se muestran los resultados de R para cada AP con su respectivo valor de P, frecuencia y distancia

f (GHz)	3515	3535	3555
D (Km)	R (%)	R (%)	R (%)
0,4	99,999993	99,999993	99,999993
0,8	99,999974	99,999973	99,999975
1,2	99,999941	99,999940	99,999940
1,6	99,999895	99,999894	99,999893
2	99,999836	99,999834	99,999832
2,4	99,999764	99,999761	99,999759
2,8	99,999679	99,999675	99,999672
3,2	99,999581	99,999576	99,999993

Tabla 4.11 Resultados de confiabilidad

4.1.8 ZONA DE FRESNEL

Las ondas electromagnéticas al propagarse entre dos puntos determinados, configuran un elipsoide, cuya sección transversal aumenta a medida que el frente de ondas se aleja de los extremos. Este fenómeno es variable con la frecuencia, y da lugar a la formación de las denominadas zonas de Fresnel.

La siguiente ecuación permite calcular la primera zona de Fresnel:

d_1 = distancia al obstáculo desde el transmisor [km]

d_2 = distancia al obstáculo desde el receptor [km]

d = distancia entre transmisor y receptor [km]

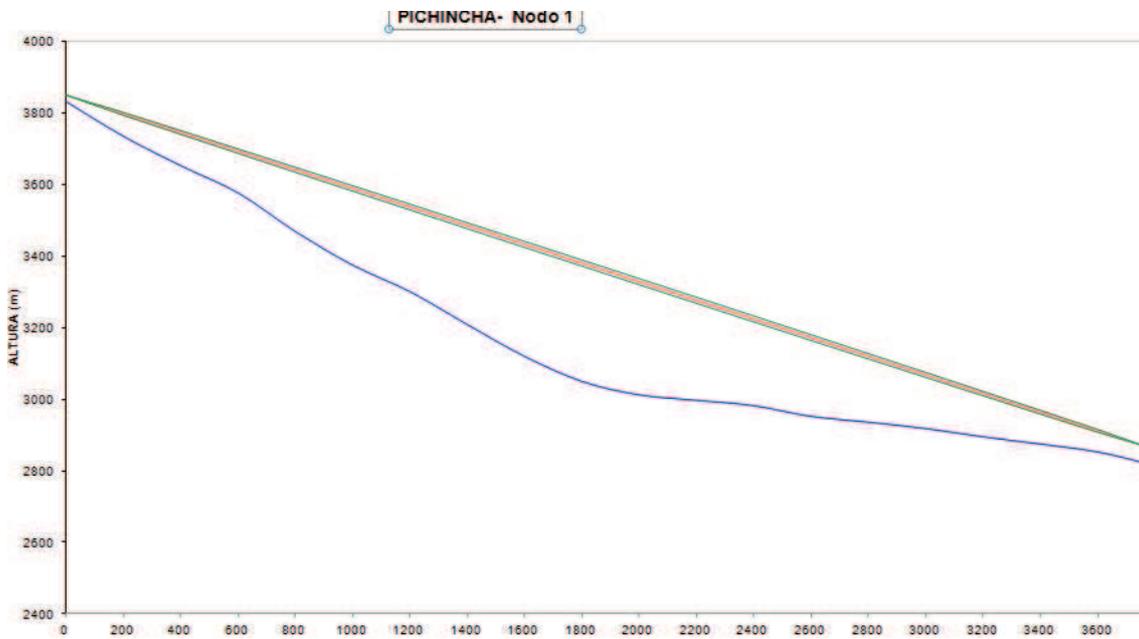
f = frecuencia [GHz]

r = radio [m]

A continuación se presenta las gráficas de la zona de Fresnel con los cálculos respectivos:

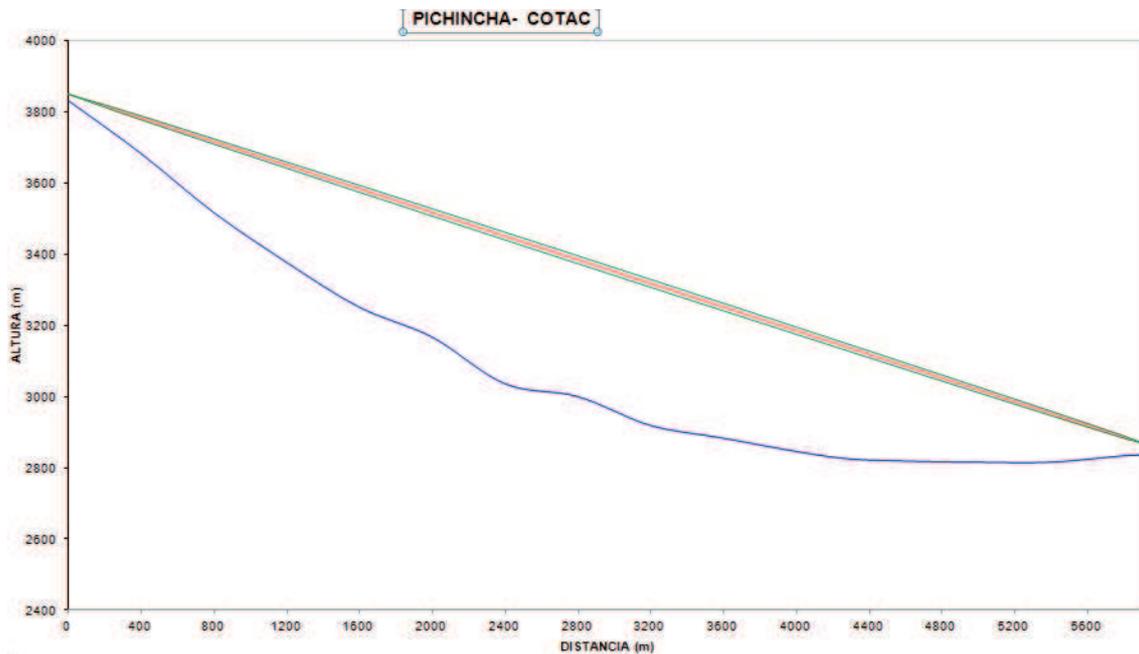
Enlace Pichincha – nodo 1

CALCULO DE LA ZONA DE FREZNEL Y PERFIL DEL TERRENO							
Enlace:	Tx			Rx			
	PICHINCHA			NODO 1			
Altura (m):	3832			2820			
Torre (m):	20			45			
Frecuencia (MHz):	3.515						
Factor de Corrección:	1,33333333						
Distancia del Enlace (m):	3775						
Distancia D1 (m)	Altura hx (m)	Distancia D2 (m)	Factor de altura hc (m)	Altura Corregida H (m)	Línea de Vista	Fresnell (+)	Fresnell (-)
0	3832	3775	0	3832	3852	3852	3852
200	3735	3575	0,042091837	3735,042092	3799,708609	3803,72392	3795,693298
400	3653	3375	0,079474097	3653,079474	3747,417219	3752,934601	3741,899836
600	3577	3175	0,112146782	3577,112147	3695,125828	3701,679937	3688,571719
800	3469	2975	0,14010989	3469,14011	3642,834437	3650,16023	3635,508644
1000	3375	2775	0,163363422	3375,163363	3590,543046	3598,453432	3582,63266
1200	3301	2575	0,181907378	3301,181907	3538,251656	3546,598944	3529,904367
1400	3209	2375	0,195741758	3209,195742	3485,960265	3494,619151	3477,301379
1600	3120	2175	0,204866562	3120,204867	3433,668874	3442,527285	3424,810464
1800	3050	1975	0,20928179	3050,209282	3381,377483	3390,330842	3372,424125
2000	3012	1775	0,208987441	3012,208987	3329,086093	3338,033153	3320,139033
2200	2997	1575	0,203983516	2997,203984	3276,794702	3285,634001	3267,955403
2400	2982	1375	0,194270016	2982,19427	3224,503311	3233,129583	3215,877039
2600	2952	1175	0,179846939	2952,179847	3172,211921	3180,5118	3163,912041
2800	2936	975	0,160714286	2936,160714	3119,92053	3127,766515	3112,074544
3000	2918	775	0,136872057	2918,136872	3067,629139	3074,869791	3060,388487
3200	2895	575	0,108320251	2895,10832	3015,337748	3021,779072	3008,896425
3400	2875	375	0,07505887	2875,075059	2963,046358	2968,408289	2957,684426
3600	2853	175	0,037087912	2853,037088	2910,754967	2914,524056	2906,985877
3775	2820	0	0	2820	2865	2865	2865



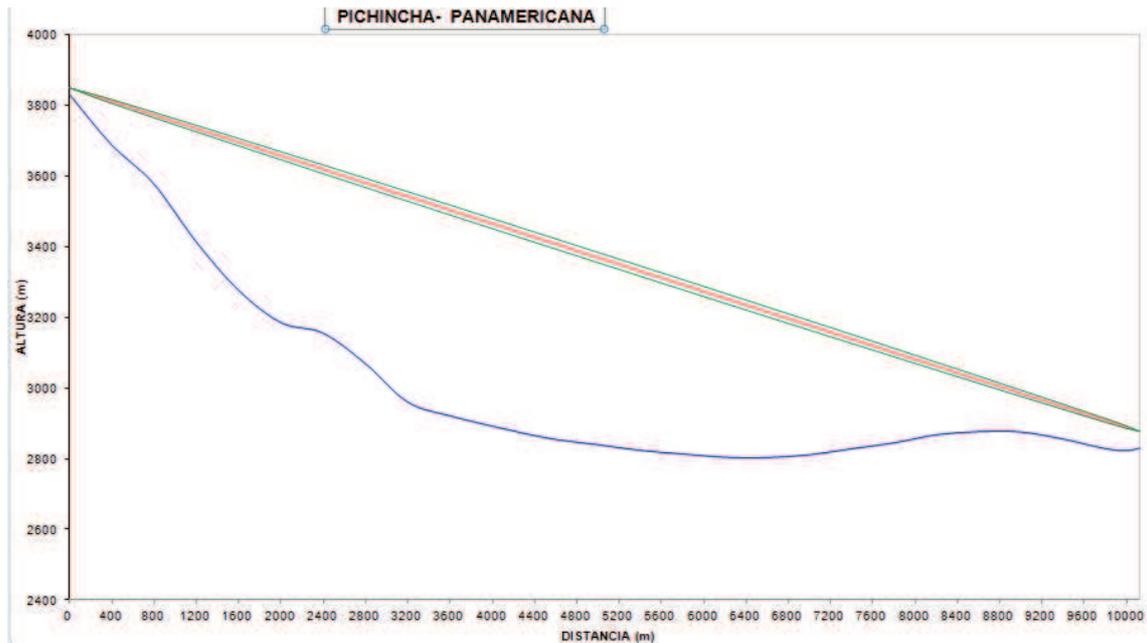
Enlace Pichincha – COTAC

CALCULO DE LA ZONA DE FREZNEL Y PERFIL DEL TERRENO							
Enlace:	Tx		Rx				
	PICHINCHA		COTAC 1				
Altura (m):	3832		2820				
Torre (m):	20		45				
Frecuencia (MHz):	3.535						
Factor de Corrección:	1,33333333						
Distancia del Enlace (m):	5922						
Distancia D1 (m)	Altura hx (m)	Distancia D2 (m)	Factor de altura hc (m)	Altura Corregida H (m)	Línea de Vista	Fresnell (+)	Fresnell (-)
0	3832	5922	0	3832	3852	3852	3852
400	3683	5522	0,130031397	3683,130031	3785,333333	3790,952043	3779,714623
800	3517	5122	0,24122449	3517,241224	3718,666667	3726,319517	3711,013817
1200	3377	4722	0,333579278	3377,333579	3652	3660,999368	3643,000632
1600	3251	4322	0,407095761	3251,407096	3585,333333	3595,275036	3575,39163
2000	3167	3922	0,46177394	3167,461774	3518,666667	3529,25499	3508,078343
2400	3036	3522	0,497613815	3036,497614	3452	3462,991544	3441,008456
2800	3000	3122	0,514615385	3000,514615	3385,333333	3396,51107	3374,155596
3200	2919	2722	0,51277865	2919,512779	3318,666667	3329,824438	3307,508895
3600	2883	2322	0,492103611	2883,492104	3252	3262,930519	3241,069481
4200	2830	1722	0,425769231	2830,425769	3152	3162,167159	3141,832841
4600	2819	1322	0,35799843	2819,357998	3085,333333	3094,656277	3076,01039
5000	2816	922	0,271389325	2816,271389	3018,666667	3026,783916	3010,549417
5400	2816	522	0,165941915	2816,165942	2952	2958,347322	2945,652678
5800	2834	122	0,041656201	2834,041656	2885,333333	2888,513518	2882,153149
5922	2836	0	0	2836	2865	2865	2865



Enlace Pichincha Panamericana

CALCULO DE LA ZONA DE FREZNEL Y PERFIL DEL TERRENO							
Enlace:	Tx		Rx		Línea de Vista	Fresnell (+)	Fresnell (-)
	PICHINCHA		PANAMERICANA				
Altura (m):	3832		2831				
Torre (m):	20		45				
Frecuencia (MHz):	3.555						
Factor de Corrección:	1,33333333						
Distancia del Enlace (m):	10120						
Distancia D1 (m)	Altura hx (m)	Distancia D2 (m)	Factor de altura hc (m)	Altura Corregida H (m)			
0	3832	10120	0	3832	3852	3852	3852
400	3689	9720	0,2288854	3689,228885	3813,422925	3819,109364	3807,736486
800	3578	9320	0,438932496	3578,438932	3774,84585	3782,720481	3766,971219
1200	3414	8920	0,630141287	3414,630141	3736,268775	3745,703957	3726,833592
1600	3277	8520	0,802511774	3277,802512	3697,6917	3708,33943	3687,043969
2000	3185	8120	0,956043956	3185,956044	3659,114625	3670,736341	3647,492908
2400	3155	7720	1,090737834	3156,090738	3620,537549	3632,950972	3608,124127
2800	3069	7320	1,206593407	3070,206593	3581,960474	3595,016525	3568,904424
3200	2960	6920	1,303610675	2961,303611	3543,383399	3556,954195	3529,812604
3600	2921	6520	1,381789639	2922,38179	3504,806324	3518,778123	3490,834526
4200	2878	5920	1,463736264	2879,463736	3446,940711	3461,32084	3432,560583
4600	2854	5520	1,494819466	2855,494819	3408,363636	3422,895648	3393,831625
5000	2839	5120	1,507064364	2840,507064	3369,786561	3384,377971	3355,195152
5400	2823	4720	1,500470958	2824,500471	3331,209486	3345,768942	3316,65003
5800	2813	4320	1,475039246	2814,475039	3292,632411	3307,067954	3278,196868
6200	2804	3920	1,430769231	2805,430769	3254,055336	3268,272604	3239,838068
6600	2803	3520	1,367660911	2804,367661	3215,478261	3229,378445	3201,578076
7000	2811	3120	1,285714286	2812,285714	3176,901186	3190,378507	3163,423864
7400	2828	2720	1,184929356	2829,184929	3138,324111	3151,262421	3125,3858
7800	2845	2320	1,065306122	2846,065306	3099,747036	3112,014889	3087,479183
8200	2868	1920	0,926844584	2868,926845	3061,16996	3072,612826	3049,727095
8600	2877	1520	0,769544741	2877,769545	3022,592885	3033,019619	3012,166152
9000	2876	1120	0,593406593	2876,593407	2984,01581	2993,171847	2974,859773
9400	2856	720	0,398430141	2856,39843	2945,438735	2952,94126	2937,93621
9800	2829	320	0,184615385	2829,184615	2906,86166	2911,968653	2901,754667
10000	2824	120	0,070643642	2824,070644	2887,573123	2890,732255	2884,41399
10120	2831	0	0	2831	2876	2876	2876



Como se puede observar en las figuras anteriores todos los enlaces cuentan con línea de vista y despejada la primera zona de Fresnel, por lo tanto es factible realizar mencionados enlaces.

4.1.9 DISEÑO DE LAS CELDAS

Con los cálculos anteriores se garantiza que los clientes pueden ser atendidos por cada estación base con los márgenes adecuados, para valores típicos de ganancia de antena, pérdidas y potencia promedio de los equipos.

Ahora se debe determinar la cobertura de cada estación base, la cual estará determinada principalmente por los ángulos de apertura de las antenas de las estaciones base, la distribución geográfica de los usuarios y la geografía de la zona.

Para las estaciones base se emplean antenas sectoriales con grados de apertura de 30°, 60°, 90°, 120° ó 180°, dependiendo esto de la zona a ser cubierta y de la densidad de usuarios de la misma.

4.1.10 ÁREA DE COBERTURA DE LAS RADIOBASES

Para el diseño de la red, el análisis y simulación del área de cobertura de un sistema de radio frecuencia y traza el perfil de las posibles trayectorias se utilizara el software Radio Mobile v7.0.5⁴¹; este utiliza mapas con elevaciones de terreno en forma digital para determinar el perfil de un enlace de radio entre dos puntos conocidos.

4.1.10.1 Diagramas de Cobertura

Como se menciona anteriormente el operador de la red estará ubicado en el edificio de la clínica Internacional en el que en la actualidad funcionan las oficinas de un ISP, además desde este lugar se proporcionará el servicio a los usuarios potenciales del sector con la instalación de una estación base.

Cada radio base de acuerdo a su posición geográfica cubrirá una zona específica del Distrito Metropolitano de Quito donde se encuentran los posibles usuarios potenciales del sistema.

⁴¹ <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

El rango de cobertura aproximado para cada radio base localizada en un entorno en el que existe gran densidad de edificios altos será de 3 Km. y en lugares en los que las edificaciones no son de gran altura o en entornos suburbanos serán de 4 Km. sin necesidad de línea de vista.

Área de Cobertura Radio base 1 y Cotac

Debido a la densidad de usuarios de esta zona la estación base está dividida en 2 sectores de 180° cada uno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante cada sector tendrá dos canales, uno principal y otro redundante; cada canal podrá dar servicio a 256 usuarios, con la capa física OFDM actual.

En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 3 Km.; el direccionamiento del arreglo de antenas se describe a continuación en la tabla.

ANTENA	APERTURA DEL HAZ	AZIMUTH
1	300 ° - 120 °	30 °
2	120 ° - 300 °	210 °

Tabla 4.12 Área de Cobertura Radiobase Panamericana

Debido a la densidad de usuarios de esta zona la estación base está dividida en 2 sectores de 180° cada uno, de acuerdo a las especificaciones del fabricante cada sector tendrá dos canales, uno principal y otro redundante; la capacidad por canal es de 256 usuarios, con la capa física OFDM actual.

En este caso la estación base cubrirá aproximadamente un radio de 4 Km.; el direccionamiento del arreglo de antenas se describe a continuación en la tabla.

ANTENA	APERTURA DEL HAZ	AZIMUTH
1	240° - 60°	0°
2	60° - 240°	150°

Tabla 4.13 Tabla Direccionamiento del haz de señal radiobase Panamericana

4.1.10.2 Distribución de Frecuencias

En las tablas se indica la distribución de frecuencia de las diferentes radiobases, y en la figura 4.17 se presentan las celdas y las frecuencias que utilizará cada una, tomando en cuenta que el ancho de banda de los canales será de 10 Mhz.

Detalle de la división de la banda de frecuencia en canales de 10MHz

FRECUENCIA INICIAL Canal	[MHz]	FRECUENCIA CENTRAL [MHz]
F1	3500	3505
F2	3510	3515
F3	3520	3525
F4	3530	3535
F5	3540	3545
F6	3550	355
F7	3560	3565
F8	3570	3575
F9	3580	3585
F10	3590	3585

Tabla 4.14 Frecuencias disponibles con canales de 10MHz en la banda de 3.5 GHz.

En la siguiente tabla, se resume la asignación de frecuencias a los nodos, en total se necesita 16 canales de 10MHz, por ésta razón es necesario el reuso de frecuencia.

Sector base 1	Frecuencia (Mhz)
F1	3500
F2	3510

Tabla 4.15 Distribución de frecuencias Radiobase 1

Sector COTAC	Frecuencia (Mhz)
F3	3520
F4	3530

Tabla 4.16 Distribución de frecuencias Radiobase COTAC

Sector Panamericana	Frecuencia (Mhz)
F5	3540
F6	3550

Tabla 4.17 Tabla Distribución de frecuencias Radiobase Panamericana



Fig. 4.17 Asignación de frecuencias a los nodos y asignación de reuso de frecuencia.

4.1.11. DIAGRAMA GENERAL DE LA RED WIMAX

En la figura se puede observar un esquema general de cómo quedaría estructurada la red.

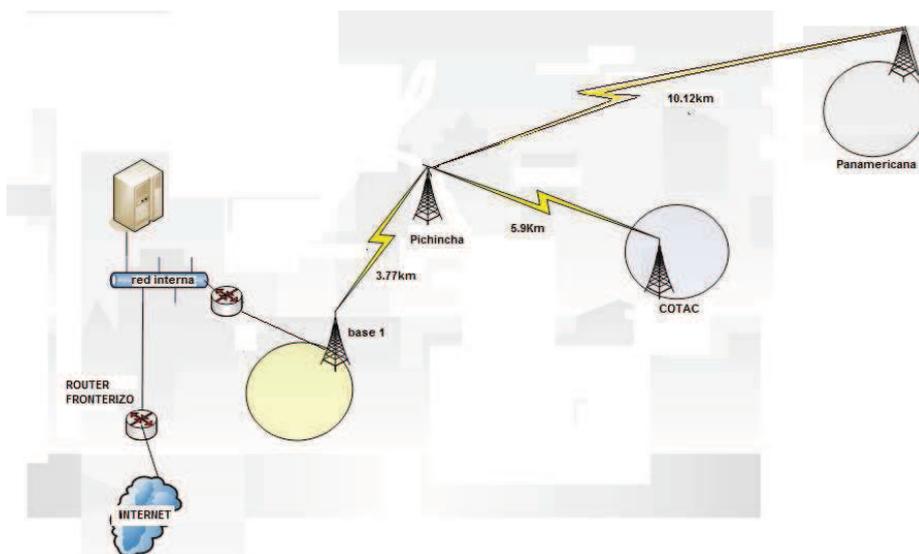


Fig. 4.18 Diagrama general de la Red.

Como se puede apreciar en la figura es factible la realización de los diferentes enlaces ya que las características técnicas y geográficas se muestran aceptables, además que los cálculos así lo demuestran

4.1.12 INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO

En el presente punto se desarrollaran brevemente los subsistemas de protección y energía que se tendrán en consideración para la red de acceso, además de indicarse el tipo de torres que se emplearan para las BTS del proyecto.

Subsistema de protección: La instalación del sistema de puesta a tierra deberá ser realizada por un proveedor autorizado, el cual deberá verificar y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de puesta a tierra. Como mínimo este deberá contar con los siguientes componentes:

Fleje de cobre (0,8mm*7cm*40m)

Bentonita natural (saco 20 kg)

Sal industrial (saco de 50 kg)

Soldadura exotérmica (65 gr)

Adicionalmente se instalara un pararrayos Franklin tetra puntual en lo más alto de la torre y se conectara al sistema de puesta a tierra junto con los demás equipos de Telecomunicaciones, con lo cual se ofrecerá una protección frente a las posibles descargas eléctricas en la zona.

Subsistema de energía: El rol principal de este subsistema es proveer de energía a distintos equipos de Telecomunicaciones adaptándose a sus requerimientos. Adicionalmente, proveen de un resguardo de energía con la utilización de un banco de baterías con lo cual se brinda autonomía suficiente para que los equipos trabajen normalmente en caso de un inusual corte de la energía contratada.

Las estaciones base están conformadas por una unidad en banda base y las unidades de radio remota. Estos equipos al igual que los radios utilizados para los enlaces microondas trabajan a -48 V DC. Gracias a los rectificadores es que se puede convertir

220 V AC (energía comercial contratada) a – 48 V DC. La siguiente figura nos muestra el esquema básico de un rectificador con resguardo de energía.

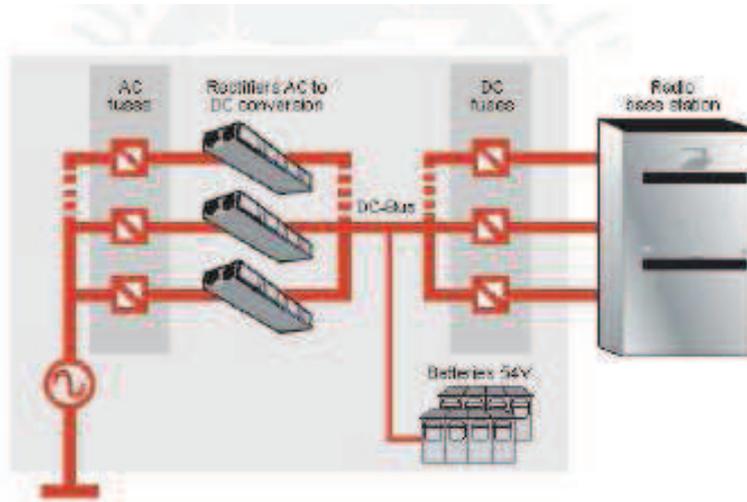


Fig. 4.19 Subsistema de energía típico Rectificadores Eltek

Adicionalmente se instalarán breakers (interruptores termo magnéticos) dependiendo del Amperaje que requieran los equipos. Esto nos ayudara a proteger los equipos contra posibles sobrecargas y corto circuitos.

Torres: Para el presente proyecto se emplearan torres abatibles, estas torres necesitan tirantes para asegurar que no caigan, son ideales para el proyecto, pues son armada con facilidad en los edificios.

Otra posibilidad es alquilar un espacio en las torres que operadores como Claro, Movistar o CNT ya instaladas. Con esto se reduciría la inversión debido a que los costos de adquisición y de instalación de las torres son significativos. Sin embargo, inicialmente se debe incluir estos costos en la inversión debido a que no se tiene la certeza de poder realizar dicha operación.

4.2 ESTUDIO FINANCIERO

El estudio financiero permite determinar la viabilidad de implementar el proyecto, esto es posible mediante la sistematización de la información generada en los otros estudios realizados, la misma que se la expresa en términos monetarios y en base a esta información se establecen la inversión inicial, y los elementos para estructurar los flujos de afectivo del proyecto. Con este análisis de factibilidad financiera se busca administrar y minimizar el impacto del riesgo en la inversión.

4.2.1 INVERSION INICIAL

Para poner en marcha el proyecto es necesario contar con varios tipos de recursos, los cuales se pueden unir en detallar en tres grupos: activos fijos, gastos de pre gestión o pre operación y capital de trabajo; por ello la necesidad de analizar los costos en que se incurre a fin de tener todos los implementos físicos y de conocimiento que permitan el desarrollo correcto de la operación.

A continuación se presenta una tabla que detalla los principales componentes de una radio base, estos varían de acuerdo a la cobertura y situación geográfica de cada una de ellas:

Descripción	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
HiperMAX (180°)	3	21.167,00	63.501,00
HiperMAX(pto-pto)	6	21.167,00	127.002,00
MicroMAX (180°)	3	7.333,00	21.999,00
Antenas parabólicas	6	1.500,00	9.000,00
BSDU	3	3.700,00	11.100,00
Implementos			300.000,00
TOTAL			532.602,00

Tabla 4.18 Costos de las estaciones bases

El presupuesto designado para los implementos considera costos de bancos de baterías, UPS, ruteadores centrales, ruteadores de frontera, switches y equipo de aire acondicionado.

Los precios anteriormente detallados incluyen cables, antenas y accesorios.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario \$	Valor Total \$
NetSpan	1	15.500,00	15.500,00
TOTAL:			15.500,00

Tabla 4.19 Precio de la licencia del software de administración

El software de administración NetSpan para 2000 CPE's \$ 15.500

Extensión de 2000 CPE's adicionales \$ 13.000.

4.2.1.1 COSTOS DE LOS EQUIPOS TERMINALES

A continuación en la tabla se detalla los costos de los equipos terminales CPEs, para el primer periodo de operación del sistema:

Descripción	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total \$
ProST	141	490	69.090,00
SDA-1	141	35	4.935,00
EasyST	254	415	105.410,00
TOTAL:			179.435,00

Tabla 4.20 Precios de los CPE's

Se adquirirá ese número de terminales que corresponden al número de usuarios esperados para el primer año de funcionamiento del sistema, después se realizará nuevas adquisiciones, que se indica en la tabla.

Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
UTP \$	275,38	333,28	472,75	774,96	1.394,93
FTP \$	1.938,90	2.346,55	3.328,52	5.456,38	9.821,48
Conectores RJ45 \$	331,20	401,86	537,34	900,34	1.620,61
Protectores RJ45 \$	290,40	352,35	471,14	789,43	1.420,97
Total	2.835,88	3.434,04	4.809,75	7.921,11	14.258,00

Tabla 4.21 Costos de accesorios para instalación

4.2.1.2 COSTOS DE TORRES E INSTALACIÓN DE RADIO BASES.

Los costos de las torres para las estaciones base incluyen la instalación de las mismas, esta detallado en la siguiente tabla.

Descripción	Cantidad	Valor Unitario \$	TOTAL \$
Torres de Transmisión	3	7.700,00	23.100,00

Tabla 4.22 Costos de torres e instalación de radios base

El detalle de la inversión inicial proporcionada por la Empresa UPDATECOM que los costos requeridos para la implementación del proyecto son:

CONCEPTO	AÑO 0
Concesión de banda	1.098.860,00
Estaciones base	532.602,00
Software de administración	15.000,00
Equipos terminales	179.435,00
Torres y radios bases	23.100,00
Instalación e imprevistos	75.013,70
INVERSIÓN INICIAL	1.924.010,70

4.2.1.3 COSTOS DE LOS EQUIPOS TERMINALES INCREMENTALES

Se adquirirá ese número de terminales que corresponden al número de usuarios esperados para el primer año de funcionamiento del sistema, después se realizará nuevas adquisiciones, que se indica en la tabla.

Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
UTP \$	275,38	333,28	472,75	774,96	1.394,93
FTP \$	1.938,90	2.346,55	3.328,52	5.456,38	9.821,48
Conectores RJ45 \$	331,20	401,86	537,34	900,34	1.620,61
Protectores RJ45 \$	290,40	352,35	471,14	789,43	1.420,97
Total	2.835,88	3.434,04	4.809,75	7.921,11	14.258,00

Tabla 4.23 Costos de accesorios para instalación

4.2.1.4 COSTOS DE GESTIÓN

Debe considerarse el costo de concesión de la banda que es de 1.098.860 dólares, además se debe asignar un 10% de la inversión para atender imprevistos, y anualmente el 15% de los ingresos que corresponden a los gastos operativos.

El detalle del presupuesto de costos es:

CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Aditamentos equipos terminales	2.835,88	3.434,04	4.809,75	7.921,11	14.258,00
Costos de gestión operativa	126.126,00	136.590,30	147.894,86	160.217,62	173.523,24
TOTALES	128.961,88	140.024,34	152.704,61	168.138,73	187.781,24

Tabla 4.24 Presupuesto de Costos

4.2.3 FINANCIAMIENTO

De acuerdo al alcance de capital que dispone la empresa, se ha considerado que el proyecto contará con 20% de recursos propios, mientras que requerirá un financiamiento externo del 80%.

El pago del crédito contraído con la CFN será en base a dividendos iguales, según la tabla de amortización, que determina que la empresa abonará mensualmente USD. 33.086,60 durante 60 meses.

El pago ha sido determinado en base a una anualidad simple u ordinaria, que es aquella en la cual los pagos se hacen al final de cada periodo.

El valor presente VP de la anualidad ordinaria está indicado por:

$$VP = R \left(\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right)$$

Donde:

VP: Valor presente de la anualidad

R: Valor de la cuota fija a pagar.

n: Indica el número de periodos.

i: Tasa de interés.

Por lo que R es igual a:

$$R = \frac{VP * i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

El detalle de la tabla de amortización del crédito es:

TABLA DE AMORTIZACIÓN DEL CRÉDITO CON LA CORPORACION FINANCIERA NACIONAL (CFN)					
No	DEUDA	INTERES	TOTAL	PAGO	SALDO INSOLUTO
1	1.539.208,56	13.468,07	1.552.676,63	33.083,60	1.519.593,04
2	1.519.593,04	13.296,44	1.532.889,48	33.083,60	1.499.805,88
3	1.499.805,88	13.123,30	1.512.929,18	33.083,60	1.479.845,59
4	1.479.845,59	12.948,65	1.492.794,24	33.083,60	1.459.710,64
5	1.459.710,64	12.772,47	1.472.483,11	33.083,60	1.439.399,51
6	1.439.399,51	12.594,75	1.451.994,26	33.083,60	1.418.910,67
7	1.418.910,67	12.415,47	1.431.326,13	33.083,60	1.398.242,54
8	1.398.242,54	12.234,62	1.410.477,16	33.083,60	1.377.393,56
9	1.377.393,56	12.052,19	1.389.445,76	33.083,60	1.356.362,16
10	1.356.362,16	11.868,17	1.368.230,33	33.083,60	1.335.146,74
11	1.335.146,74	11.682,53	1.346.829,27	33.083,60	1.313.745,67
12	1.313.745,67	11.495,27	1.325.240,95	33.083,60	1.292.157,35
13	1.292.157,35	11.306,38	1.303.463,73	33.083,60	1.270.380,14
14	1.270.380,14	11.115,83	1.281.495,96	33.083,60	1.248.412,37
15	1.248.412,37	10.923,61	1.259.335,97	33.083,60	1.226.252,38
16	1.226.252,38	10.729,71	1.236.982,09	33.083,60	1.203.898,49
17	1.203.898,49	10.534,11	1.214.432,60	33.083,60	1.181.349,01
18	1.181.349,01	10.336,80	1.191.685,81	33.083,60	1.158.602,22
19	1.158.602,22	10.137,77	1.168.739,99	33.083,60	1.135.656,39
20	1.135.656,39	9.936,99	1.145.593,38	33.083,60	1.112.509,79
21	1.112.509,79	9.734,46	1.122.244,25	33.083,60	1.089.160,65
22	1.089.160,65	9.530,16	1.098.690,81	33.083,60	1.065.607,21
23	1.065.607,21	9.324,06	1.074.931,28	33.083,60	1.041.847,68
24	1.041.847,68	9.116,17	1.050.963,85	33.083,60	1.017.880,25
25	1.017.880,25	8.906,45	1.026.786,70	33.083,60	993.703,11
26	993.703,11	8.694,90	1.002.398,01	33.083,60	969.314,42
27	969.314,42	8.481,50	977.795,92	33.083,60	944.712,32
28	944.712,32	8.266,23	952.978,55	33.083,60	919.894,96
29	919.894,96	8.049,08	927.944,04	33.083,60	894.860,44
30	894.860,44	7.830,03	902.690,47	33.083,60	869.606,88
31	869.606,88	7.609,06	877.215,94	33.083,60	844.132,34
32	844.132,34	7.386,16	851.518,50	33.083,60	818.434,90
33	818.434,90	7.161,31	825.596,21	33.083,60	792.512,61
34	792.512,61	6.934,49	799.447,10	33.083,60	766.363,50
35	766.363,50	6.705,68	773.069,19	33.083,60	739.985,59
36	739.985,59	6.474,87	746.460,46	33.083,60	713.376,87
37	713.376,87	6.242,05	719.618,92	33.083,60	686.535,32
38	686.535,32	6.007,18	692.542,50	33.083,60	659.458,91
39	659.458,91	5.770,27	665.229,17	33.083,60	632.145,58
40	632.145,58	5.531,27	637.676,85	33.083,60	604.593,26
41	604.593,26	5.290,19	609.883,45	33.083,60	576.799,85
42	576.799,85	5.047,00	581.846,85	33.083,60	548.763,26
43	548.763,26	4.801,68	553.564,93	33.083,60	520.481,34
44	520.481,34	4.554,21	525.035,55	33.083,60	491.951,96
45	491.951,96	4.304,58	496.256,53	33.083,60	463.172,94
46	463.172,94	4.052,76	467.225,70	33.083,60	434.142,11
47	434.142,11	3.798,74	437.940,85	33.083,60	404.857,25
48	404.857,25	3.542,50	408.399,76	33.083,60	375.316,16
49	375.316,16	3.284,02	378.600,18	33.083,60	345.516,58
50	345.516,58	3.023,27	348.539,85	33.083,60	315.456,26
51	315.456,26	2.760,24	318.216,50	33.083,60	285.132,90
52	285.132,90	2.494,91	287.627,82	33.083,60	254.544,22
53	254.544,22	2.227,26	256.771,48	33.083,60	223.687,89
54	223.687,89	1.957,27	225.645,16	33.083,60	192.561,56
55	192.561,56	1.684,91	194.246,47	33.083,60	161.162,88
56	161.162,88	1.410,18	162.573,05	33.083,60	129.489,46
57	129.489,46	1.133,03	130.622,49	33.083,60	97.538,90
58	97.538,90	853,47	98.392,36	33.083,60	65.308,76
59	65.308,76	571,45	65.880,22	33.083,60	32.796,62
60	32.796,62	286,97	33.083,59	33.083,60	0,00

Tabla 4.25 Tabla de Amortización del Crédito

El detalle consolidado del pago del crédito es:

DETALLE CONSOLIDADO PAGO PRESTAMO CFN						
CONCEPTO	AÑO					SUMAN
	1	2	3	4	5	
INTERESES	149.951,94	122.726,04	92.499,76	58.942,44	21.686,98	445.807,17
PAGO CAPITAL	247.051,21	274.277,10	304.503,38	338.060,71	375.316,16	1.539.208,56
PAGO TOTAL	397.003,15	397.003,15	397.003,15	397.003,15	397.003,15	1.985.015,73

4.2.4 INGRESOS

El presupuesto de ingresos, es aquel que permite, proyectar los ingresos que la empresa va a generar en cierto periodo de tiempo. Para poder proyectar los ingresos de una empresa, es necesario conocer las unidades a vender, el precio de los productos y las políticas de ventas implementadas.

Se debe tomar en cuenta, que el estudio se lo ha realizado en el panorama mas pesimista, en el cual el incremento de usuarios esta dado solamente por el índice de crecimiento poblacional y la cuarta parte del porcentaje de un posible mercado meta como se observa en la Tabla 3.6, establecido para los 5 años posteriores al inicio del proyecto. Al no tener un plan de marketing definido para obtener datos precisos del comportamiento del mercado, es necesario realizar otra investigación relacionada con este parámetro.

Los ingresos se han proyectado considerando un incremento en los precios del 5% anual por efecto de la inflación, y el nivel de ventas estimado en el estudio de mercado.

PRESUPUESTO DE INGRESOS					
CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Número de usuarios	1.436	1.670	1.943	2.259	2.628
Tarifa mensual por cuenta	55,00	57,75	60,64	63,67	66,85
Ingreso anual	947.961,30	1.157.602,94	1.413.606,83	1.726.225,98	2.107.980,86
TOTALES	947.961,30	1.157.602,94	1.413.606,83	1.726.225,98	2.107.980,86

Tabla 4.26 Proyección de Ingresos anuales

4.2.4.1 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO - TMAR

Para este cálculo se establecerá una tasa que representa el costo de oportunidad, para los dos escenarios estudiados, de la siguiente forma:

$i = \text{tasa pasiva (recursos propios)} + \text{tasa activa (recursos de terceros)} + \text{riesgo del proyecto} + \text{inflación}.$

Para el escenario con financiamiento se tiene:

$$i = 4,91\% (20\%) + 9,82\% (80\%) + 5\% + 5\% = 18,84\%$$

4.2.5 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para desarrollar la evaluación financiera del proyecto se aplica el concepto del Beneficio y Costo, para lo cual se comparan los ingresos versus los egresos actualizados, y se analiza el beneficio de cada dólar que se invierte en el proyecto.

Para calcular el VAN de los beneficios y los costos, se actualizan por medio de la fórmula:

$$VA = VF / (1+i)^n$$

Donde:

VA = Valor presente del beneficio o costo

VF = Valor futuro del beneficio o costo

n = el año desde el cual se actualiza el valor

i = tasa de descuento fijada para actualizar los flujos

Situaciones que se pueden presentar en la Relación Beneficio Costo:

- **Relación B/C > 1** Indica que por cada dólar de costos se obtiene más de un dólar de beneficio. En consecuencia, si el índice es mayor a uno el proyecto debe aceptarse.
- **Relación B/C < 1** Indica que por cada dólar de costos se obtiene menos de un dólar de beneficio. Entonces, si el índice es menor que uno, el proyecto debe rechazarse.

El análisis determina lo siguiente:

RELACION DE BENEFICIO A COSTO EN EL ESCENARIO CON FINANCIAMIENTO						
CONCEPTO	0	2013	2014	2015	2016	2017
TOTAL DE BENEFICIOS	-	947.961,30	1.157.602,94	1.413.606,83	1.726.225,98	2.107.980,86
Inversión Inicial	1.924.010,70					
Costos de gestión		145.030,08	177.074,48	216.850,77	266.855,01	330.455,13
Costos financieros		149.951,94	122.726,04	92.499,76	58.942,44	21.686,98
TOTAL DE COSTOS	1.924.010,70	294.982,01	299.800,53	309.350,54	325.797,45	352.142,11
Tasa a aplicar	18,84%	18,84%	18,84%	18,84%	18,84%	18,84%
Factor	1,00	0,84	0,71	0,60	0,50	0,42
Beneficios actualizados	-	797.678,64	819.661,12	842.249,39	865.460,15	889.310,56
Costos actualizados	1.924.010,70	248.217,78	212.279,03	184.315,96	163.341,71	148.560,98
Beneficios actualizados totales	4.214.359,86					
Costos actualizados	2.880.726,17					
Relación B/C	1,46					

$B/C > 1$; por cada dólar que se invierte en el proyecto, se recuperan 1,46 dólares; es decir genera un beneficio neto de 46 centavos por cada dólar invertido.

El crecimiento del mercado no está determinado por un plan de marketing, como se estableció anteriormente, para obtener valores más significativos. Al aplicar en el modelo, otro índice de crecimiento sobre el número de usuarios sube la relación costo beneficio.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con este análisis previo, los resultados de la investigación realizada, y tomando en cuenta que las empresas Norteamericanas Verizon y AT&T pudieron haber definido la tendencia global hacia una tecnología 4G al optar por la opción de LTE (Long Term Evolution), se concluye que LTE es una alternativa en cuanto a la implantación en teléfonos móviles y redes de telefonía, pero, a nivel usuario y redes locales fijas sería WiMAX Móvil lo más apropiado como alternativa 4G, en especial para el segmento comercial y corporativo.
- Del estudio realizado se puede asegurar que WIMAX Móvil, es una opción que puede ingresar a competir en el mercado de las telecomunicaciones por sus características de fácil despliegue, altas tasas de transmisión, calidad de servicio (QoS), escalabilidad, y la movilidad.
- El estudio de factibilidad legal determina que en el Ecuador, parte de la banda de frecuencia en la cual opera WIMAX Móvil se encuentra concesionada, lo que no permite su implementación inmediata.

El estudio de mercado determina que en la zona norte comercial de Quito, existe una potencial demanda que justifica la implementación del proyecto.

- El estudio de factibilidad financiera establecido en el panorama más pesimista en el cual el incremento del número de usuarios está dado solo por el crecimiento poblacional y la cuarta parte del posible mercado meta, indica que por cada dólar invertido en el proyecto este entrega un repago de 1,46 dólares, por lo que genera una utilidad neta actualizada de 46 centavos por dólar invertido.

5.2 RECOMENDACIONES

- Dadas las opciones que se tiene con: LTE o WiMAX Móvil, se recomienda que cualquier proyecto de Telecomunicaciones, se diseñe en forma flexible para que su tamaño sea escalable, de esta forma se optimizará el uso de los recursos y se minimizarán los costos de gestión.
- Ya que el costo del despliegue de las tecnologías inalámbricas es bastante menor al despliegue de las redes fijas, se recomienda que se comuniquen los resultados de este trabajo a entidades del sector Público o Privado para que se pueda sacar provecho de esta investigación.
- Considerando que el estudio de factibilidad legal, determina que en el Ecuador la banda de frecuencia en la cual la operación de WIMAX Móvil sería más apropiada se encuentra concesionada; lo que no permite su implementación inmediata, se recomienda a las autoridades realizar la subasta del espectro disponible en el rango de Frecuencias entre 3,4 GHz a 3,7 GHz, para disponer de la frecuencia adecuada para la implementación de WIMAX Móvil y aprovechar todo el potencial que ofrece esta tecnología
- Como el índice de rentabilidad es mínimo debido a que el estudio fue realizado en el entorno más pesimista es necesario realizar otra investigación mediante la aplicación de un plan de marketing.
- Con en el presente trabajo de investigación se demuestra, que la zona norte de Quito, es un buen escenario para el despliegue de una red inalámbrica de banda ancha empleando la tecnología WIMAX Móvil, se recomienda por lo tanto, comunicar los resultados a la entidad que posee la frecuencia, para que pueda hacer uso de de esta información.

BIBLIOGRAFÍA.

- LLORET, Jaime. GARCÍA, Miguel. BORONET, Fernando, 2009, IPTV: La Televisión por Internet , Editorial Vértice, España
- LAUDON, KENNETH. GUERCIO Carol. 2010, E-Commerce: Negocio, tecnología y sociedad, Prentice Hall Pearson, México, P. 143-145.
- CASTRO, Antonio. FUSARIO, Rubén. 2006, Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información, Impresión digital, Editorial Reverté, Barcelona
- STALINGS, William 2009, Comunicaciones y redes.. Quinta Edición. México DF
- JAMRICHJOJA, Parsons June. 2008, Conceptos de computación: Nuevas perspectivas, Cengage Learning Editores, México.
- OHTMAN, Frank, 2008, Simple Explanation to a Complex Subject , WMX Systems,
- HAIR, Joseph, 2003, “Investigación de Mercados”, Editorial Mc Graw Hill, Segunda Edición, México.
- PERLOFF, Jeffrey. 2004, Microeconomía, Editorial Pearson Educación, Tercera Edición, España.
- CARRIÓN, Gordon. 2009, Calidad y costos en Ecuador,- IMAGINA Año 2009
- MENDENHAL, L. 2004 Muestreo Estadístico , PRINTICE HALL, 5TA. EDICIÓN.
- AGENCIA MUNICIPAL DE DESARROLLO, CONQUITO, Distribución Poblacional en el DMQ, Julio 2011
- CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES.. RESOLUCIONES
- INEC – CONQUITO, Estudio Demográfico, 2011

LINKOGRAFÍA.

- <http://redeswimax.jimdo.com/wimax/wimax-caracteristicas-fundamentales/>
- http://2.bp.blogspot.com/_ubcL-XpWdfM/S_DPjetGJVI/AAAAAAAAA0Y/n0b-bjCN8HU/s1600/wireless-images-wpan-wlan-wman-wwan.JPG
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Muxanalog.png>
- <http://www.wimaxforum.org/about/roster>
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Multiplexor.png>
- http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/graficos/teleprocesos.gif
- http://connectedplanetonline.com/wireless/technology/How_OFDM_works.jpg
- <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/214/3/Capitulo%202.pdf>
- <http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/sp/mobile.../wimax.htm>
- <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/214/3/Capitulo%202.pdf>
- <http://redeswimax.jimdo.com/wimax/wimax-caracteristicas-fundamentales/>
- http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=180&Itemid=290 - Listado de Empresas del Sector al 30 de Abril de 2012
- http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/img/elementos/articulos/upload/tabla_129_2.jpg
- http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/graficos/gbinario.gif
- http://2.bp.blogspot.com/_ubcL-XpWdfM/S_DPjetGJVI/AAAAAAAAA0Y/n0b-bjCN8HU/s1600/wireless-images-wpan-wlan-wman-wwan.JPG
- http://2.bp.blogspot.com/_5PntaGD8RaY/StdThtcCnzI/AAAAAAAAAAM/w0lC9eLDDJY/s320/wimax.gif