

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERIA

**DISEÑO DE UNA RED COMUNITARIA UTILIZANDO TECNOLOGÍA
WiMAX, ENTRE EL COLEGIO UNIVERSITARIO, LOS
LABORATORIOS Y EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN
ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

FAUSTO DAVID OVIEDO SALAZAR

CARLOS GUSTAVO QUISHPE JACOME

DIRECTOR: MSc. TANIA PEREZ

Quito, Marzo 2007

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Fausto David Oviedo Salazar y Carlos Gustavo Quishpe Jácome, bajo mi supervisión.

MSc. Tania Pérez
DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, Fausto David Oviedo Salazar, Carlos Gustavo Quishpe Jácome, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Fausto David Oviedo Salazar

Carlos Gustavo Quishpe Jácome

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por que siento que desde el cielo me ha estado apoyando en todo el transcurso de mi vida estudiantil y me ha dado fuerzas para culminar mi carrera.

A Fausto mi padre, por mostrarme que no ha que dejarse vencer por nada en la vida y que ha que salir a delante para cumplir con los objetivos planteados.

A Admilcar y Teresa mis tíos por que han sido como mis segundos padres que gracias a apoyo he podido salir adelante en mis estudios.

A mis abuelitos porque la fortuna de tenerlos a mi lados me hace muy feliz.

A la Universidad Técnica del Norte en especial al Dr. Antonio Posso Salgado por darnos el auspicio y brindarnos la apertura necesaria para realizar la investigación en la Universidad.

A MSc. Tania Perez, por su acertada dirección. Sus conocimientos y su gran calidad humana, han constituido un aporte fundamental en la elaboración de este proyecto.

David Oviedo.

DEDICATORIA

Especialmente a Dios por darme vida.

A mi madre que me cuida desde el cielo y siempre esta en mi pensamiento.

A mi padre a sus sacrificios y su cariño incondicional.

A mis hermanos, a la ventura diaria de su afecto.

A mis abuelitos a su sabiduría que me ensaaron a salir adelante.

David Oviedo.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra manera han ayudado a la finalización del presente proyecto:

A mis queridos padres, quienes me han apoyado siempre en los momentos buenos y malos.

Mención especial para la Ing. Tania Pérez quién con su buena voluntad y deseo de colaboración nos ayudo y guió extraordinariamente durante la elaboración del presente proyecto.

Muchas gracias a todos y cada uno de los integrantes del “Club Social Deportivo y Cultural Sports Swigers”, compañeros de carrera y amigos por el resto de la vida...SALUD!

Carlos Quishpe Jácome

DEDICATORIA

Deseo dedicar el presente trabajo a Dios, por su bendición y clemencia diaria a mis seres queridos y a mí.

A mi padre, Carlos Gustavo, una excelente persona, quién ha sido un ejemplo de honradez y perseverancia a lo largo de mi vida.

A Delia María, madre ejemplar, cariñosa y digna, quién ha sido un pilar fundamental en nuestra familia.

A mi hermana Verito.

Gustavo.

CAPITULO 1

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

[1] GIBILISCO, Stan, "Diccionario de Electrónica", Mc Graw Hill, Segunda Edición.

[2] STALLINGS, William, "Comunicaciones y Redes de Computadoras", Person Education, Séptima edición.

[3] TANENBAUM, Andrew, "Redes de Computadoras", Prentice Hall. Cuarta edición.

CAPITULO 2

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

[1] <http://www.wimaxforum.org>

[2] <http://www.cdg.org>

[3] IEEE 802.16a Standard and WiMAX Igniting Broadband Wireless Access
Copyright © Worldwide Interoperability for Microwave Access Forum

[4] WiMAX 802.16 Soluciones R/S para Aplicaciones de Banda Ancha, ROHDE & SCHWARZ.

[5] WIMAX Aplicaciones y Perspectiva, Centro de Difusión de Tecnologías ETSIT – UPM

[6] Revista Tecnológica ESPOL Vol. 18

[7] Seguridad en WI-FI y Redes WIMAX, Centro de Tecnologías de las Comunicaciones S.A. Parque Tecnológico de Andalucía Campanillas - Málaga - España

[8] <http://www.ceditec.etsit.upm.es>

[9] <http://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

[10] <http://www.wirelessethernet.org/>

[11] <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-1999.pdf>

[12] http://www.ceditec.etsit.upm.es/Informes_globales/ceditec_wifi.pdf

[13] Redes de Computadoras, Andrew S. Tanenbaum

[14] http://observatorio.red.es/estudios/documentos/04_02_20_wifi.pdf

[15] Fundamentos de Seguridad de Redes, Eric Maiwald

[16] <http://www.astic.es>

CAPITULO 3

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

[1] POSSO, Antonio. "Desarrollo Sostenido y Nuevos Retos". Universidad Técnica del Norte. Julio de 2006.

[2] SUPTEL; <http://www.supertel.gov.ec>

[3] PALACIOS, María Gabriela, "Estudio y Diseño de una red de Internet popular para la Ciudadela Alegría en el Norte de Quito".

[4] VINOS, Yuri Alan, "Dimensionamiento del canal de datos para la interconexión entre PBX IP para una empresa a nivel nacional".

[5] FERNANDEZ, Luís; "WiMAX: Aplicaciones y Perspectivas":
http://www.ceditec.etsit.es/ceditec_wimax_corto.pdf

[6] Wikipedia; <http://wikipedia.es.org>

[7] <http://www.cplus.org>

[8] TOMASI, Wayne. "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas". Pearson Education. Cuarta Edición.

CAPITULO IV

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

DIRECCIONES ELECTRONICAS

- [1] PROXIM; <http://www.proxim.com>
- [2] AXXCELERA; <http://www.axxcelera.com>
- [3] APERTO; <http://www.aperto.com>
- [4] ALVARION; <http://www.alvarion.com>
- [5] AIRSPAN; <http://www.airspan.com>
- [6] TELSIMA; <http://www.telsima.com>
- [7] ZYXEL; <http://us.zyxel.com>
- [8] WAVESAT; <http://www.wavesat.com>
- [9] NAVINI; <http://www.navini.com>

CAPITULO V

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

[1] CONATEL; <http://www.conatel.gov.ec>

[2] SUPTEL; <http://www.supertel.gov.ec>

[3] POSSO, Antonio. "Desarrollo Sostenido y Nuevos Retos". Universidad Técnica del Norte. Julio de 2006.

CONTENIDO

RESUMEN

CAPITULO 1	1
INTRODUCCION	
1.1 CONCEPTOS BASICOS DE REDES DE DATOS.....	1
1.1.1 COMUNICACION DE DATOS.....	1
1.1.2 CANAL DE DATOS.....	2
1.1.2.1 Canal Simplex.....	2
1.1.2.2 Canal Semi duplex.....	3
1.1.2.3 Canal Duplex Completo.....	3
1.1.3 ANCHO DE BANDA.....	4
1.1.3.1 Capacidad del Canal de Comunicación.....	4
1.1.4 BANDAS DE FRECUENCIA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO..	4
1.2 TECNICAS DE TRANSMISION	5
1.2.1 TRANSMISION ANALOGICA.....	5
1.2.2 TRANSMISION DIGITAL.....	5
1.2.3 MODULACION.....	6
1.2.3.1 Modulación Por Desplazamiento De Amplitud.....	6
1.2.3.2 Modulación Por Desplazamiento De Frecuencia.....	6
1.2.3.3 Modulación Por Desplazamiento De Fase.....	7
1.2.3.4 Modulación De Amplitud en Cuadratura.....	7
1.2.4 CONFIGURACIONES DE LOS CANALES.....	8
1.2.5 MEDIOS DE TRANSMISION.....	9
1.2.5.1 Medios Guiados.....	10
1.2.5.1.1 Par Trenzado.....	10
1.2.5.1.2 Cable Coaxial.....	11
1.2.5.1.3 Fibra Optica.....	12
1.2.5.2 Medios No Guiados.....	13
1.2.5.2.1 Transmisión Vía Radio.....	13
1.2.5.2.2 Transmisión Por Microondas.....	14
1.2.5.2.3 Infrarrojos.....	15
1.3 REDES DE TRANSMISION DE DATOS.....	15

1.3.1 REDES DE AREA AMPLIA.....	15
1.3.1.1 Conmutación De Circuitos.....	16
1.3.1.2 Conmutación De Paquetes.....	16
1.3.1.3 Retransmisión De Tramas.....	17
1.3.1.4 Modo de Transferencia Asíncrono.....	17
1.3.2 REDES DE AREA METROPOLITANA.....	18
1.3.3 RED DE AREA LOCAL.....	19
1.3.3.1 10BASE5.....	21
1.3.3.2 10BASE2.....	21
1.3.3.3 100BASET.....	21
1.3.3.4 10BASE-F.....	21
1.4 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS	22
1.4.1 MODELO OSI.....	22
1.4.1.1 Capa Física.....	23
1.4.1.2 Capa De Enlace De Datos.....	23
1.4.1.3 Capa De Red.....	23
1.4.1.4 Capa Transporte.....	23
1.4.1.5 Capa Sesión.....	23
1.4.1.6 Capa Presentación.....	24
1.4.1.7 Capa Aplicación.....	24
1.4.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS TCP/IP.....	24
1.4.2.1 Capa Física.....	24
1.4.2.2 Capa De Red.....	24
1.4.2.3 Capa Transporte.....	25
1.4.2.4 Capa Aplicación.....	25
1.5 PROTOCOLOS PARA TRANSMISION DATOS.....	25
1.5.1 PROTOCOLO ARP.....	25
1.5.2 PROTOCOLO IP.....	25
1.5.3 PROTOCOLO TCP.....	26
1.5.4 PROTOCOLO UDP.....	26
1.5.5 PROTOCOLO ICMP.....	26
1.5.6 PROTOCOLO SMTP.....	26
1.5.7 PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS FTP.....	27
1.5.8 TELNET.....	27

CAPITULO 2	28
DESCRIPCION DE LAS TECNOLOGIAS WiMAX Y Wi-Fi	
2.1 WiMAX.....	28
2.1.1 INTRODUCCION.....	28
2.1.2 WiMAX FORUM	29
2.1.2.1 Objetivos del WiMAX Forum.....	30
2.1.3 ESTANDAR IEEE 802.16	31
2.1.3.1 IEEE 802.16 – 2001.....	31
2.1.3.2 IEEE 802.16a	32
2.1.3.3 IEEE 802.16 – 2004.....	34
2.1.3.4 IEEE 802.16e	36
2.1.4 CARACTERÍSTICAS TECNICAS.....	38
2.1.4.1 Bandas De Frecuencia.....	38
2.1.4.1.1 Bandas sin Licencia.....	39
2.1.4.1.2 Bandas con Licencia.....	40
2.1.4.1.2.1 Banda de 2.5 GHz.....	41
2.1.4.1.2.2 Banda de 3.5 GHz.....	41
2.1.4.1.2.3 Banda de 700 MHz.....	42
2.1.4.1.2.4 Banda de 2.3 GHz.....	42
2.1.4.2 Capa Física (PHY)	42
2.1.4.2.1 Sc-A Single Carrier Channel.....	43
2.1.4.2.2 OFDM (Orthgonal Frecuency Division Multiplexing)	45
2.1.4.2.3 OFDMA (Orthgonal frecuency Dividion Multiple Acces)	47
2.1.4.2.4 Duplexación por división de tiempo TDD.....	49
2.1.4.2.5 Duplexación de frecuencia FDD.....	50
2.1.4.2.1 Características de la Capa Física	52
2.1.4.2.2 Estructura de la Trama IEEE 802.16.....	54
2.1.4.3 Capa De Control De Acceso Al Medio (MAC).....	55
2.1.4.3.1 Características de la Capa MAC.....	56
2.1.4.4 Calidad De Servicio (QoS)	57
2.1.4.4.1 Niveles de Servicio.....	59
2.1.4.5 Seguridad	60
2.1.5 APLICACIONES Y BENEFICIOS DE WiMAX.....	60
2.2 Wi-Fi.....	63

2.2.1 INTRODUCCION	63
2.2.2 WECA	64
2.2.3 ESTANDARES IEEE 802.11.....	64
2.2.3.1 IEEE 802.11-1999	64
2.2.3.2 IEEE 802.11b.....	65
2.2.3.3 IEEE 802.11a.....	65
2.2.3.4 IEEE 802.11g.....	65
2.2.3.5 IEEE 802.11d.....	66
2.2.3.6 IEEE 802.11e.....	66
2.2.3.7 IEEE 802.11f.....	66
2.2.3.8 IEEE 802.11h.....	66
2.2.3.9 IEEE 802.11i.....	67
2.2.4 CARACTERISTICAS TECNICAS.....	68
2.2.4.1 Definiciones Básicas Del Estándar IEEE 802.11.....	68
2.2.4.1.1 Area Básica de Servicio (BSA).....	68
2.2.4.1.2 Conjunto Extendido de Servicios (ESS).....	68
2.2.4.1.3 Conjunto Independiente de Servicios Básicos (IBSS).....	68
2.2.4.1.4 Conjunto Básico de Servicios (BSS).....	68
2.2.4.1.5 Estación.....	68
2.2.4.1.6 Función de Coordinación.....	69
2.2.4.1.7 Infraestructura.....	69
2.2.4.1.8 Medio del Sistema de Distribución (DSM)	69
2.2.4.1.9 Portal.....	69
2.2.4.1.10 Privacidad Equivalente al Cableado (WEP).....	69
2.2.4.1.11 Punto de Acceso (AP)	70
2.2.4.1.12 Red Ad Hoc.....	70
2.2.4.1.13 Sistema de Distribución (DS)	70
2.2.4.1.14 Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU)	70
2.2.4.1.15 Unidad de Datos del Servicio MAC (MSDU)	70
2.2.4.2 Arquitectura Del Estándar IEEE 802.11.....	70
2.2.4.3 Topología Del Estándar IEEE 802.11	73
2.2.4.3.1 Modo Infraestructura.....	73
2.2.4.3.2 Modo Ad Hoc.....	75
2.2.4.3.3 Otras Topologías.....	76

2.2.4.4 Servicios Del Estándar IEEE 802.11	76
2.2.4.4.1 Asociación.....	76
2.2.4.4.2 Disociación.....	77
2.2.4.4.3 Reasociación.....	77
2.2.4.4.4 Distribución.....	77
2.2.4.4.5 Integración.....	77
2.2.4.4.6 Autenticación.....	77
2.2.4.4.7 Desautenticación.....	77
2.2.4.4.8 Privacidad.....	78
2.2.4.5 Capa Física.....	78
2.2.4.5.1 Infrarrojos.....	78
2.2.4.5.2 Espectro Expandido De Secuencia Directa (DSSS).....	79
2.2.4.5.3 Espectro Expandido Por Salto De Frecuencia (FHSS).....	79
2.2.4.5.4 Multiplexación Por División De Frecuencias Ortogonales (OFDM)...	80
2.2.4.6 Estructura De La Trama IEEE 802.11.....	80
2.2.4.7 Bandas de Frecuencias	81
2.2.4.8 Seguridad En Wi-Fi	83
2.2.4.8.1 Dirección MAC.....	83
2.2.4.8.2 WEP.....	83
2.2.4.8.3 WPA v1	84
2.2.4.8.4 Estándar IEEE 802.1x.....	84
2.2.4.8.4.1 Autenticador.....	84
2.2.4.8.4.2 Peticionario.....	84
2.2.4.8.4.3 Servidor De Autenticación.....	84
2.2.4.8.4.4 Punto De Acceso A La Red.....	85
2.2.4.8.4.5 Protocolo Extensible De Autenticación (EAP).....	85
2.2.4.8.5 Estándar IEEE 802.11i.....	85
2.1.5 APLICACIONES Y BENEFICIOS DE Wi-Fi.....	85
2.3 COMPARACION ENTRE WiMAX Y Wi-Fi	86
CAPITULO 3	90
DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA	
3.1 INTRODUCCION.....	90
3.2 ANTECEDENTES.....	90
3.3 CARACTERISTICAS DEL CAMPUS UNIVERSITARIO Y DEL COLEGIO	92

ANEXO.....	
3.3.1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR.....	92
3.3.1.1 Edificio De La Facultad De Ingeniería En Ciencias Agropecuarias Y Ambientales (FICAYA).....	92
3.3.1.2 Edificio De La Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas (FICA)	93
3.3.1.3 Edificio De La Facultad De Educación Ciencia Y Tecnología (FECYT)	94
3.3.1.4 Edificio De La Facultad De Ciencias Administrativas Y Económicas (FACAE).....	96
3.3.1.5 Edificio De La Facultad De Ciencias De La Salud.....	97
3.3.1.6 Edificio Central.....	99
3.3.1.7 Biblioteca Central.....	101
3.3.1.8 Auditorio Agustín Cueva.....	102
3.3.1.9 Coliseo Cerrado.....	102
3.3.1.10 Colegio Universitario.....	102
3.4 IDENTIFICACION DE LA RED EXISTENTE.....	103
3.4.1 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES (FICAYA).....	105
3.4.2 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS (FICA).....	105
3.4.3 FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA (FECYT).....	105
3.4.4 FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS (FACAE).....	105
3.4.5 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD (FCCSS).....	105
3.4.6 EDIFICIO CENTRAL.....	106
3.4.7 BIBLIOTECA CENTRAL.....	106
3.4.8 COLEGIO UNIVERSITARIO.....	106
3.4.9 RESULTADOS DE LA IDENTIFICACION DE LA RED EXISTENTE.....	106
3.5 POBLACION ESTUDIANTIL Y ADMINISTRATIVA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Y EL COLEGIO ANEXO UTN.....	107
3.5.1 POBLACION ESTUDIANTIL.....	107
3.5.2 PERSONAL DOCENTE Y ADMINISTRATIVO.....	108
3.6 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS.....	110
3.6.1 REQUERIMIENTOS DE USUARIOS.....	111
3.6.1.1 Tiempo de Respuesta.....	111
3.6.1.2 Confiabilidad.....	111
3.6.1.3 Adaptabilidad.....	111
3.6.1.4 Ubicuidad.....	112

3.6.1.5 Seguridad.....	112
3.6.1.6 Crecimiento de los usuarios.....	112
3.6.2 REQUERIMIENTOS DE APLICACIONES.....	112
3.6.2.1 Aplicaciones para Videoconferencia.....	113
3.6.2.2 Aplicaciones de navegación Web.....	113
3.6.2.3 Aplicaciones de correo electrónico.....	113
3.6.2.4 Aplicaciones de voz.....	113
3.6.3 REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA.....	113
3.6.3.1 Requerimientos de Cobertura.....	113
3.6.3.2 Requerimientos de Interoperabilidad.....	114
3.6.3.3 Requerimientos de Gestión.....	114
3.6.3.4 Requerimientos Regulatorios.....	114
3.7 ANALISIS DE LA DEMANDA.....	114
3.7.1 ESTUDIANTES.....	115
3.7.1.1 Información sobre servicios existentes.....	115
3.7.2 PROFESORES Y PERSONAL ADMINISTRATIVO.....	116
3.7.2.1 Información sobre servicios existentes.....	116
3.7.3 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA DEMANDA.....	117
3.8 ESTIMACION DEL NÚMERO DE USUARIOS.....	118
3.9 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	120
3.10 DISEÑO LA RED INALAMBRICA.....	122
3.10.1 COMPONENTES DE LA RED WiMAX.....	123
3.10.1.1 Estación Base.....	123
3.10.1.2 Estaciones Suscriptoras.....	124
3.10.1.2.1 CPE.....	124
3.10.1.2.2 Tarjetas PCMCIA	124
3.10.1.3 Antenas.....	124
3.10.1 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS.....	125
3.10.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA.....	126
3.10.2.1 Perfil Topográfico.....	127
3.10.3 TOPOLOGÍA DE RED	128
3.10.4 ANÁLISIS DEL RADIO ENLACE	131
3.10.4.1 Potencia Transmitida.....	131
3.10.4.2 Ganancias De Las Antenas Transmisora Y Receptora.....	131

3.10.4.3 Pérdidas Básicas De Propagación En Espacio Libre.....	132
3.10.4.4 Pérdidas Adicionales De Propagación.....	132
3.10.4.5 Sensibilidad Del Receptor.....	132
3.10.4.6 Atenuación Específica Debida A La Lluvia.....	133
3.10.4.7 Potencia Isotrópica Efectiva Radiada	133
3.10.4.8 Zonas De Fresnel	133
3.10.5 CÁLCULO DEL ENLACE.....	134
3.10.6 AREA DE COBERTURA.....	137
3.10.7 ESTRUCTURA DE LA RED INALÁMBRICA.....	139
3.10.8 VIDEOCONFERENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	144
3.10.8.1 Video Conferencia.....	144
3.10.8.2 Videoconferencia Personal.....	145
3.10.8.3 Videoconferencia para reuniones.....	145
3.10.8.4 Videoconferencia a través de WiMAX.....	145
3.10.9 SEGURIDAD.....	147
CAPITULO 4	149
PRINCIPALES PRODUCTOS INALÁMBRICOS CON TECNOLOGÍA WIMAX	
4.1 INTRODUCCION.....	149
4.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS EQUIPOS.....	149
4.2.1 PROXIM.....	149
4.2.2 AXXCELERA BROAD BAND WIRELESS.....	151
4.2.3 APERTO	153
4.2.4 ALVARION.....	155
4.2.5 AIRSPAN	158
4.2.6 TELSIMA	163
4.2.7 ZYXEL	165
4.2.8 WAVESAT	166
4.2.9 NAVINI	169
4.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	170
4.3.1 CONFIGURACIÓN Y GESTION DE LOS EQUIPOS.....	173
CAPITULO 5	177
ANÁLISIS REGULATORIO Y DE COSTOS	12
5.1 INTRODUCCION.....	177
5.2 ANÁLISIS REGULATORIO	177

5.2.1 REQUISITOS DE CONCESIÓN DE FRECUENCIAS	178
5.2.3 TARIFAS PARA CONCESION Y USO DE FRECUENCIAS	180
5.3 PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO	182
5.4 ANALISIS DE COSTOS.....	183
5.4.1COSTOS DE LA RED INALAMBRICA.....	183
5.4.1.1 Costos de Equipamiento.....	183
5.4.1.2 Costos por Homologación de Equipos	184
5.4.1.3 Costo por Autorización y Uso de Frecuencias	185
5.1.4.4 Costos de Operación.....	186
5.1.4.5 Costo Total del Sistema.....	186
CAPITULO 6	187
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
6.1 CONCLUSIONES.....	187
6.1.1 ASPECTO TECNOLÓGICO.....	187
6.1.2 ASPECTO ACADÉMICO.....	190
6.1.3 ASPECTO ECONÓMICO.....	192
6.2 RECOMENDACIONES.....	193

ANEXOS

ANEXO A: Plan estratégico de la Universidad Técnica del Norte

ANEXO B: Encuesta y tabulación de resultados.

ANEXO C: Cálculo del enlace

ANEXO D: Descripción y características de los equipos Airspan.

ANEXO E: Características antena HG3511U – PRO.

ANEXO F: Características de la tarjeta PCMCIA

ANEXO G: Configuración de equipos Airspan

ANEXO H: Configuración e instalación una tarjeta PCMCIA

ANEXO I: Resolución No. 469-19-CONATEL-2001

ANEXO J: Formularios técnicos.

ANEXO K: Reglamento para derechos de concesión y tarifas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.

ANEXO L: Software para video conferencia.

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1: El proceso de la comunicación de datos.....	1
Figura 1.2: Métodos básicos de transmisión.....	3
Figura 1.3: Línea sencilla punto a punto.....	8
Figura 1.4: Red de punto a punto.....	9
Figura 1.5: Línea de varios puntos.....	9
Figura 1.6: Topología de anillo o lazo.....	9
Figura 1.7: Conector RJ45.....	11
Figura 1.8: Cable coaxial.....	11
Figura 1.9: Cable triaxial de blindaje doble y forro doble.....	11
Figura 1.10: Cable coaxial con circulación de aire.....	12
Figura 1.11: Topología estrella.....	20
Figura 1.12: Topología bus.....	20
Figura 13: Topología anillo.....	20

CAPITULO 2

Figura 2.1: Enlace con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).....	36
Figura 2.2: Aplicaciones de los estándares IEEE 802.16 - 2004 e IEEE 802.16e.....	37
Figura 2.3: Sistema monoportadora vs. Multiportadora.....	45
Figura 2.4: Portadoras OFDM ortogonales (N=5).....	46
Figura 2.5: Subportadoras OFDM.....	47
Figura 2.6: Subportadora OFDMA.....	49
Figura 2.7: Subportadoras OFDM y OFDMA.....	49
Figura 2.8: TDD.....	50
Figura 2.9: FDD.....	51
Figura 2.10: (a) Una trama genérica. (b) Una trama de solicitud de ancho de banda.....	54
Figura 2.11: Capa Mac.....	56
Figura 2.12: Entornos de aplicación WIMAX.....	62
Figura 2.13: Conjunto Básico de Servicios (BSS).....	71
Figura 2.14: Sistema de distribución (DS) y Puntos de Acceso (AP).....	72
Figura 2.15: Conjunto Extendido de Servicios (ESS).....	73

Figura 2.16: Conexión con otra red LAN 802.....	73
Figura 2.17: Arquitectura completa del estándar IEEE 802.11.....	73
Figura 2.18: Modo Infraestructura.....	74
Figura 2.19: Canales disponibles en las bandas de 2.4 y 5 GHz.....	75
Figura 2.20: Modo Ad Hoc.....	75
Figura 2.21: Trama IEEE 802.11.....	80
Figura 2.22: Distribución de bandas ISM.....	83
CAPITULO 3	
Figura 3.1: Universidad Técnica del Norte.....	91
Figura 3.2: Edificio FICAYA.....	92
Figura 3.3: Edificio FICA.....	93
Figura 3.4: Edificio FECYT.....	94
Figura 3.5: Edificio FACAE.....	96
Figura 3.6: Edificio Ciencias de la Salud.....	97
Figura 3.7: Edificio Central.....	99
Figura 3.8: Colegio Universitario.....	104
Figura 3.9: Red de la Universidad Técnica del Norte.....	104
Figura 3.10: Porcentajes de Estudiantes.....	108
Figura 3.11: Porcentaje de Profesores.....	109
Figura 3.12: Porcentaje Empleados.....	110
Figura 3.13: Tipo de servicios utilizados por estudiantes.....	115
Figura 3.14: Lugres donde Estudiantes acceden a los servicios.....	116
Figura 3.15: Servicios utilizados por Personal Docente y Administrativo de la UTN.....	116
Figura 3.16: Lugres donde Profesores y Personal Administrativo acceden a los servicios existentes.....	117
Figura 3.17: Áreas en la que los usuarios desearían conectividad.....	118
Figura 3.18: Abonados a Internet a nivel nacional.....	120
Figura 3.19: Ubicación de la UTN y el Colegio Universitario en la ciudad de Ibarra.....	126
Figura 3.20: Ubicación Geográfica de la UTN y el Colegio Universitario.....	127
Figura 3.21: Perfil Topográfico.....	127
Figura 3.22: Conexiones Punto – Punto.....	129
Figura 3.23: Conexiones Punto – Multipunto.....	129
Figura 3.24: Red Mallada.....	130

Figura 3.25: Cálculo del Enlace.....	130
Figura 3.26: Cálculo del Enlace de las Tarjetas.....	130
Figura 3.27: Lóbulo de Radiación.....	137
Figura 3.28: Relaciones de protección para las diversas modulaciones.....	138
Figura 3.29: Ubicación de la estación base en la Universidad Técnica del Norte.....	140
Figura 3.30: Ubicación del CPE en el Colegio Universitario.....	141
Figura 3.31: Esquema de la Red Inalámbrica.....	143
CAPITULO 4	
Figura 4.1: Tsunami MP.11 Modelo 2454 – R.....	150
Figura 4.2: ExxcelMax.....	151
Figura 4.3: AB – MAX.....	152
Figura 4.4: Estaciones Base PacketMax.....	155
Figura 4.5: Estaciones Suscriptoras.....	155
Figura 4.6: Componentes de Estación Base FreezeMAX.....	156
Figura 4.7: Componentes de Estación Suscriptora FreezeMAX.....	157
Figura 4.8: Equipos FreezeMAX.....	157
Figura 4.9: Modelos de Estaciones Base AS.MAX.....	160
Figura 4.10: CPE AS.MAX.....	161
Figura 4.11: Estación suscriptora StarMAX 3100.....	163
Figura 4.12: Radio base StarMAX 6400 Mobile WiMAX.....	163
Figura 4.13: Tarjeta PCMCIA StarMAX 3200.....	164
Figura 4.14: Estación suscriptora MAX-200M.....	165
Figura 4.15: Tarjeta Pcmcia Max-100.....	165
Figura 4.16: Emulador de estación base.....	167
Figura 4.17: Estación suscriptora.....	168
Figura 4.18: Ripwave Base Station (BTS).....	169
Figura 4.19: MODEM y tarjeta PCMCIA de la línea Ripwave™ MX.4GHz....	170
Figura 4.20: Antena HG3511E-PRO.....	172

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

CAPITULO 2

Tabla 2.1: Versiones WiMAX.....	38
Tabla 2.2: Capa Física (PHY).....	54
Tabla 2.3: Comparación de estándares inalámbricos IEEE 802.11.....	69
Tabla 2.4: Bandas de frecuencia utilizadas por Wi-Fi.....	82
Tabla 2.5: Comparación entre WiMAX y Wi-Fi.....	89

CAPITULO 3

Tabla 3.1: Características Físicas del Edificio FICAYA.....	97
Tabla 3.2: Características Físicas del Edificio FICA.....	98
Tabla 3.3: Características Físicas del Edificio FECYT.....	99
Tabla 3.4: Características Físicas del Edificio FACAE.....	101
Tabla 3.5: Características Físicas del Edificio Ciencias de la Salud.....	102
Tabla 3.6: Características Físicas del Edificio Central.....	105
Tabla 3.7: Características Físicas de la Biblioteca Central.....	105
Tabla 3.8: Características Físicas del Auditorio.....	106
Tabla 3.9: Características Físicas del Coliseo Cerrado.....	106
Tabla 3.10: Características Físicas del Colegio Universitario.....	107
Tabla 3.11: Número de Alumnos de la UTN.....	112
Tabla 3.12: Distribución Profesores y Empleados.....	113
Tabla 3.13: Abonados a Internet a nivel nacional.....	124
Tabla 3.14: Ancho de Banda Red Inalámbrica.....	126
Tabla 3.15 Ubicación de los diferentes Puntos.....	129
Tabla 3.16: Distancia Vs. Altura.....	132
Tabla 3.17: Caudal máximo de datos de WiMAX.....	142

CAPITULO 4

Tabla 4.1 Características de Equipos Proxim.....	150
Tabla 4.2: Características Técnicas ExxcelMax y AB-Max.....	152
Tabla 4.3: Características Equipos Aperto.....	155
Tabla 4.4: Características Técnicas Equipos Alvarion.....	158
Tabla 4.5: Características de Radio Base marca Airspan.....	162
Tabla 4.6: Características CPEs marca Airspan.....	162

Tabla 4.7: Características de los equipos Telsima.....	164
Tabla 4.8: Características de los equipos ZYXEL.....	166
Tabla 4.9: Características de equipos Wavesat.....	168
CAPITULO 5	12
Tabla 5.1: Costo total del Proyecto de Actualización y Desarrollo Tecnológico.....	183
Tabla 5.2: Costo de equipos de la red inalámbrica WiMAX.....	184
Tabla 5.3: Costos de homologación de equipos WiMAX.....	185
Tabla 5.4: Costo de concesión de frecuencia.....	185
Tabla 5.5: Costos de la implementación de la red comunitaria.....	186

PROLOGO

En el presente trabajo se realiza un estudio de las tecnologías inalámbricas basadas en los estándares IEEE 802.11 mejor conocida como Wi-Fi y el IEEE 802.16 o WiMAX, para el posterior diseño de una red inalámbrica para la comunidad de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.

Este proyecto se cimienta en la necesidad básica de comunicación de la Universidad Técnica del Norte pues en la actualidad la universidad posee una red interna, pero carece de conectividad en varias dependencias y en especial una extensión, el Colegio Anexo UTN que esta ubicado en la misma ciudad pero distanciada varios kilómetros del campus principal de la universidad.

Asimismo se identifica los requisitos de la regulación vigente en el Ecuador para la puesta en funcionamiento de la red inalámbrica diseñada así como se realiza una breve revisión de los principales productos basados en el estándar IEEE 802.16 disponibles en el mercado.

RESUMEN

El presente proyecto trata del diseño de una red inalámbrica, cumpliendo los requerimientos necesarios para la interconexión de las diferentes instalaciones como el Colegio Universitario, laboratorios, auditorio y espacios libres que tiene la Universidad Técnica del Norte de la Ciudad de Ibarra, utilizando tecnología WI-MAX, tomando en consideración la necesidad para la integración entre los diferentes sitios, de tal forma que permita que los estudiantes, profesores, personal administrativo que forman parte de la comunidad universitaria puedan acceder a diferentes servicios que proporciona la conectividad inalámbrica como Internet de banda ancha, acceso a intranet privada, videoconferencia. El desarrollo del proyecto está dividido en cinco capítulos específicos sobre conceptos para el diseño más un capítulo de conclusiones y recomendaciones. A continuación se hace una breve descripción sobre el contenido y las finalidades de los capítulos del presente proyecto.

El capítulo uno abarca un estudio básico de los diferentes conceptos generales de introducción a redes, estos conceptos están relacionados con lo que es una comunicación de datos mediante diferentes medios de transmisión como por ejemplo: guiados como el cobre y fibra óptica y no guiados como enlaces de radio, infrarrojo y satelital. Además tiene conceptos de tipos de modulación, que implica la modificación de uno o varios de los tres parámetros fundamentales que caracterizan a la señal portadora: la amplitud, la frecuencia o la fase, como: modulación por desplazamiento de amplitud (ASK), modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), modulación por desplazamiento de fase PSK y también se tiene la modulación de Amplitud en Cuadratura QAM que modifica simultáneamente los parámetros de amplitud y fase, en todos los casos la señal resultante ocupa un ancho de banda centrado en torno a la frecuencia de la portadora. En la parte final de este capítulo uno se tienen conceptos de las estructuras en capas de los elementos que facilitan el intercambio de datos entre sistemas y que posibilitan aplicaciones distribuidas, como el comercio electrónico y transferencia de archivos, estos protocolos proporcionan un conjunto de reglas

para el intercambio de datos entre sistemas, estos son el modelo de referencia OSI y el TCP/IP.

En lo que respecta al capítulo dos, se realiza el análisis de las dos tecnologías inalámbricas como la son WiMAX y Wi-Fi, sus principales características, aplicaciones, ventajas y desventajas, siendo la tecnología WiMAX la que define una capa física OFDM con organización TDM/TDMA, cuyo formato de trama (tanto ascendente como descendente) se define en tiempo real, trama a trama, mediante un intervalo de tiempo ubicado al comienzo de cada trama descendente que se encarga de definir todas las características (número de *slots*, composición de los mismos, modulaciones, tipos de servicio, etc.), este aspecto dota al sistema de una flexibilidad máxima, optimizando sus prestaciones en función del número y tipo de clientes a servir en cada momento, así como de las características de propagación existentes en cada instante. Mientras que Wi-Fi mantiene con fidelidad las características de un enlace *Ethernet* cableado. En la parte final del capítulo dos se realiza la comparación entre estas dos tecnologías siendo la que mas se acopla al diseño de la red inalámbrica para la Universidad Técnica del Norte la tecnología WiMAX ya que esta permite el acceso inalámbrico con conexiones de hasta 70 Mbps a una distancia de 50 Km. mientras que la señal de radio Wi-Fi comienza a degradarse cuando trabajan más de 20 personas de forma concurrente; por el contrario WiMAX permite que una misma estación tenga cientos e incluso miles de personas trabajando a la vez. La señal de Wi-Fi se ve afectada por el hormigón mientras que WiMAX puede atravesar nubes, árboles y hasta muros otorgando así mayor confiabilidad que Wi-Fi, WiMAX proporciona calidad de servicio multimedia, no existe contienda por el uso del canal, provee de mayores tasas efectivas de transmisión, mejor eficiencia espectral a comparación con Wi-Fi.

En el capítulo tres se realiza el diseño de la red inalámbrica con tecnología WiMAX para la comunidad de la Universidad Técnica del Norte y el Colegio Anexo UTN, con esta red se permitirá tener cobertura dentro y fuera de los edificios que forman parte del Campus Central de la Universidad, los espacios libres, el Colegio, el auditorio y los laboratorios, brindando de esta manera a los usuarios

de la red beneficiarse de los servicios que brinda la red inalámbrica como los son el acceso a Internet, correo electrónico y video conferencia. Para realizar el diseño de la red se realizan encuestas tanto a estudiantes como a profesores y personal administrativo, en base a los resultados de la encuesta realizada se realiza el dimensionamiento de la red inalámbrica tomando en cuenta los requerimientos de los usuarios, también se realiza el cálculo del enlace con valores promedios de los parámetros que intervienen en el cálculo del enlace como lo son potencia de los equipos, ganancia de las antenas y sensibilidad de los equipos. En la parte final de este capítulo se indica la estructura de la red inalámbrica, la cual esta formada por una estación base, una estación suscriptora (CPE) y varias tarjetas PCMCIA que serán utilizadas tanto por estudiantes como por profesores y personal administrativo para acceder a los servicios que proporciona la red.

En el capítulo cuatro se realiza la selección de los equipos para la red inalámbrica bajo el fundamento de los objetivos, de los criterios definidos, y de la información propia de fabricantes de equipos WiMAX, estos equipos deben cumplir con los requerimientos de la red inalámbrica.

En el capítulo cinco se realiza el análisis del actual marco legal existente en el país, en busca de implicaciones del mismo sobre este tipo de redes y la factibilidad legal necesaria para desarrollar el diseño de la red inalámbrica con tecnología WiMAX. En este capítulo cinco se incluye una determinación referencial de costos tomando en cuenta costos de los equipos a utilizarse, costos por homologación de los equipos, costos operación y concesión de frecuencias para una futura implementación de la red inalámbrica.

Finalmente el capítulo seis es una recopilación de conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 CONCEPTOS BASICOS DE REDES DE DATOS [1]

1.1.1 COMUNICACION DE DATOS

Comunicación de datos es la transmisión electrónica de información o de datos codificados de un punto a otro, cómo se indica en la figura 1.1. El tema abarca los procedimientos y el equipo necesario para transmitir y recibir datos entre dos o más puntos. La transmisión de datos de un lugar a otro se ha vuelto inseparable, en esencia, del procesamiento de datos. La transmisión de datos hacia adelante y hacia atrás entre una computadora personal y sus periféricos, como la impresora, el teclado y la pantalla, es un ejemplo de comunicación de datos.

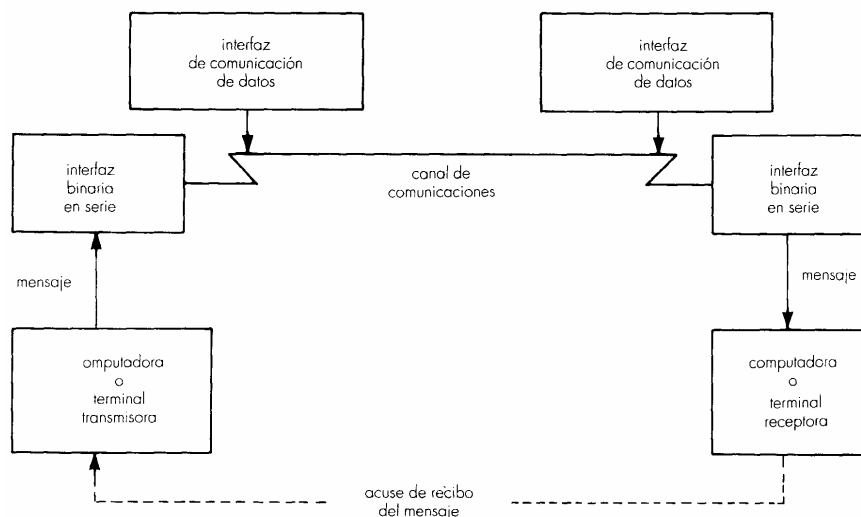


Figura 1.1: El proceso de la comunicación de datos.

Los cinco elementos del proceso de comunicación de datos son:

1. Transmisor o fuente de información.

2. Mensaje.

3. Interfaz binaria en serie.

4. Canal o eslabón de comunicación.

5. Receptor de información transmitida.

Se necesita a menudo una interfaz de comunicación de datos para hacer compatibles los datos binarios en serie con el canal de comunicación.

1.1.2 CANAL DE DATOS

Un canal de datos o enlace de comunicación, es una trayectoria de transmisión entre dos o más estaciones o terminales. Puede ser un solo alambre, un grupo de alambres, cable coaxial, cable de fibras ópticas, o bien ser una parte del espectro de radiofrecuencia. El canal conduce información de un lugar a otro pero todos los canales tienen limitaciones en cuanto a capacidad de manejo de información que se relacionan con sus características eléctricas y físicas. A la capacidad portadora de información del canal se le llama ancho de banda.

Existen tres tipos básicos de canales de datos: el símplex, el semidúplex y el dúplex completo, como se ilustra en la figura 1.2, que son análogos a los modos de radiocomunicación.

1.1.2.1 Canal Símplex

El canal símplex es de transmisión unidireccional: del emisor al receptor. Estos canales se emplean por ejemplo en los circuitos terminales de salida de los supermercados y en la red telefónica conectada para el público que envía y recibe pares entre oficinas centrales.

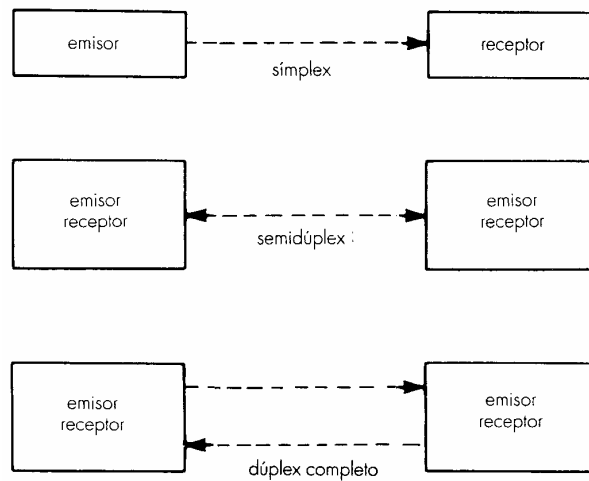


Figura 1.2: Métodos básicos de transmisión.

1.1.2.2 Canal Semidúplex

La transmisión de tiempo compartido entre dos emisores/receptores tiene lugar sobre un canal semidúplex. No se permite la transmisión simultánea, si se usa un circuito de dos hilos, se debe dar vuelta a la línea para invertir la dirección de transmisión. La red telefónica conectada para el público es fundamentalmente semidúplex porque el circuito local es de dos hilos.

1.1.2.3 Canal Dúplex Completo

La transmisión simultánea entre dos emisores/receptores, se puede efectuar en un canal dúplex completo. Ambos emisores/receptores pueden conversar. Un circuito de dos hilos permite las comunicaciones en dúplex completo si el espectro de frecuencia está asignado a canales de emisión y recepción. Sin embargo, los circuitos de cuatro alambres son los de uso más frecuente.

1.1.3 ANCHO DE BANDA

Es un término que se usa para definir el rango de frecuencias ocupadas por una señal y la que se requiere para una transferencia efectiva de la información que va a portar la señal. Este término puede ser usado en referencia a la forma de respuesta de un filtro de paso de banda o rechazo de banda.

1.1.3.1 Capacidad del Canal de Comunicaciones

La capacidad del canal para conducir información es función del ancho de banda, mientras mayor es el ancho de banda del canal asignado, mayor será la velocidad de transmisión. La velocidad se mide en bauds, o sea el número de elementos de señal de línea o de símbolos por segundo. Si el elemento de señal representa uno de dos estados binarios, los bauds son iguales a la velocidad de bits. Cuando están representados más de dos estados como en la modulación de varios niveles o de varias fases, la velocidad de bits sobrepasa a los bauds.

El elemento de señal depende de la transmisión que se use (analógica o digital) y del esquema de codificación o de modulación.

1.1.4 BANDAS DE FRECUENCIA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

El espectro electromagnético representa toda la gama de frecuencias o longitudes de onda de la energía electromagnética, este espectro, no tiene límite inferior ni superior. La radiación electromagnética tiene propiedades que varían con la longitud de onda. Algunas ondas de radio son desviadas o reflejadas por las capas ionizadas de la atmósfera superior de la tierra, mientras que otras no son afectadas.

Las bandas de radio, microondas, infrarrojo y luz visible del espectro sirven para transmitir información, modulando la amplitud, frecuencia o fase de las ondas.

1.2 TECNICAS DE TRANSMISION [1]

1.2.1 TRANSMISION ANALOGICA

La transmisión analógica envía una gama continua de frecuencias y amplitud en un canal de comunicaciones que incluya tanto voz como datos. Se necesitan amplificadores lineales, atenuadores, filtros y transformadores para mantener la calidad de la señal. Sin embargo, los amplificadores aumentan el ruido, así como el contenido de información de una señal, por lo que las tasas de error son mayores en la transmisión analógica que en la digital.

Se emplean módems en la red telefónica analógica existente para convertir señales digitales a un formato analógico para transmisión. También reconvierten esas señales a formato digital en el receptor.

1.2.2 TRANSMISION DIGITAL

En la transmisión digital se envían los impulsos sobre un canal de comunicaciones a velocidades de datos fijas que dependen del sistema portador digital. Los datos digitalizados, pueden transmitirse en una forma digital si se dispone de suficiente ancho de banda.

Los sistemas de transmisión digital utilizan repetidores regeneradores para volver a dar tiempo y forma a los impulsos digitales. Estos repetidores digitales crean nuevamente la forma de onda original con más confiabilidad que los amplificadores lineales de los sistemas analógicos y como consecuencia, hay menos errores de transmisión por mensaje. Las tasas de error en la transmisión digital son típicamente de uno a dos por ciento de las que se dan en transmisión analógica. Además la transmisión digital se puede cifrar o codificar más eficazmente por seguridad y se puede comprimir para ahorrar ancho de banda.

Un caso típico es la transmisión de datos digitales usando señales analógicas, así se puede conectar dispositivos digitales a través de una red analógica mediante el uso de dispositivos MODEM (modulador-demodulador), los cuales convierten los

datos digitales en señales analógicas y viceversa.

1.2.3 MODULACION

La modulación implica la modificación de uno o varios de los tres parámetros fundamentales que caracterizan una señal: la amplitud, la frecuencia o la fase, por lo que existen tres técnicas esenciales de modulación:

- Modulación por desplazamiento de amplitud ASK¹.
- Modulación por desplazamiento de frecuencia FSK².
- Modulación por desplazamiento de fase PSK³

También existe una técnica que realiza la modulación modificando simultáneamente los parámetros de amplitud y fase, este tipo de modulación es conocido como Modulación de Amplitud en Cuadratura QAM⁴

1.2.3.1 Modulación Por Desplazamiento De Amplitud

En ASK, los dos valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora. La señal transmitida por cada intervalo corresponde a la duración de un bit. La técnica ASK se usa para la transmisión de datos digitales en fibras ópticas

1.2.3.2 Modulación Por Desplazamiento De Frecuencia

El esquema FSK más habitual es el binario BFSK⁵. En este caso, los dos valores binarios se representan mediante dos frecuencias diferentes, próximas a la frecuencia de la portadora.

¹ ASK: Amplitude Shift Keying

² FSK: Frequency Shift Keying

³ PSK: Phase Shift Keying

⁴ QAM: Quadrature Amplitude Modulation

⁵ BFSK: Binary FSK

1.2.3.3 Modulación Por Desplazamiento De Fase

En este esquema de modulación, la fase de la señal portadora se desplaza para representar los datos digitales. El ejemplo más simple de modulación de fase es el conocido como desplazamiento de fase binario BPSK, que utiliza dos fases para representar los dos códigos binarios, obteniendo un desplazamiento de 180° así la señal transmitida resultante durante el intervalo correspondiente a un bit es:

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_c t) & | \text{1binario} \\ A\cos(2\pi f_c t + \pi) & | \text{0binario} \end{cases}$$

Se puede conseguir un uso más eficaz del ancho de banda si cada elemento de señalización representa más de un bit, una técnica habitual de codificación es la modulación por desplazamiento de fase en cuadratura QPSK⁶, la cual considera desplazamientos múltiplos de 90° .

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}) & | 11 \\ A\cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}) & | 01 \\ A\cos(2\pi f_c t - \frac{3\pi}{4}) & | 00 \\ A\cos(2\pi f_c t - \frac{\pi}{4}) & | 10 \end{cases}$$

1.2.3.4 Modulación De Amplitud en Cuadratura

Es una técnica de señalización analógica que se utiliza en algunas normas inalámbricas y en las líneas de abonado digitales asimétricas (ADSL⁷). Esta técnica es una combinación de ASK y PSK, en QAM se aprovecha el hecho de que es posible enviar simultáneamente dos señales diferentes sobre una misma frecuencia portadora, utilizando dos réplicas de la misma desplazadas entre sí 90° . Cada portadora se modula usando ASK; las dos señales independientes se

⁶ QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

⁷ ADSL: Asymmetric Digital Subscriber line

transmiten sobre el mismo medio. En el receptor, las dos señales se demodulan, combinándose para reproducir la señal binaria de entrada.

1.2.4 CONFIGURACIONES DE LOS CANALES

Los canales de datos pueden configurarse como enlaces sencillos de punto a punto, como una red de punto a punto, una línea para varios puntos, un lazo o anillo, como se ilustra en las figura 1.3, figura 1.4, figura 1.5 y figura 1.6 .

En una línea punto a punto, dos estaciones pueden intercambiar datos después de haberse hecho la conexión. Una red punto a punto abarca muchos enlaces punto a punto, entre controladores de comunicaciones y terminales remotas. Una línea de varios puntos requiere ya sea un protocolo de selección de sistema o frecuencias dedicadas para estaciones remotas, para regular el acceso al canal compartido entrante a la computadora central. El lazo o anillo se ensambla en la propiedad del cliente, con alambrado privado, el cual puede ser par trenzado, cable coaxial o cable de fibras ópticas. El lazo o circuito tiene una estación maestra de control con un protocolo de selección de sistema que le permite comunicarse con todas las estaciones secundarias. Todas las estaciones que hay en el anillo se pueden comunicar entre sí.



Figura 1.3: Línea sencilla punto a punto.

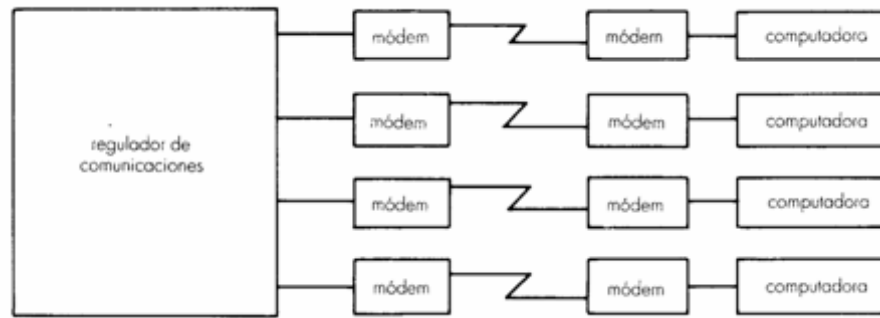


Figura 1.4: Red de punto a punto.

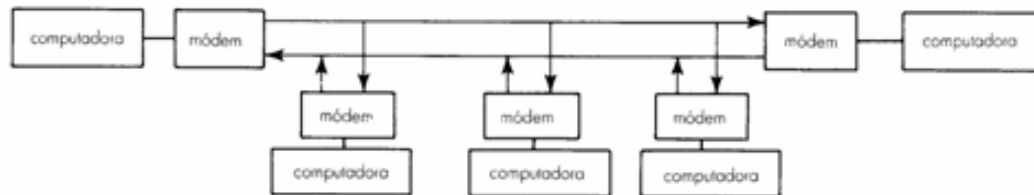


Figura 1.5: Línea de varios puntos.

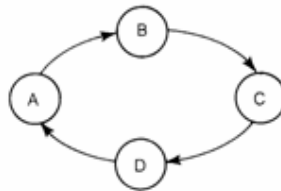


Figura 1.6: Topología de anillo o lazo.

1.2.5 MEDIOS DE TRANSMISION

Los medios de transmisión se pueden clasificar en medios guiados y no guiados, los medios guiados proporcionan un camino físico a través del cual se propaga la señal. Entre estos encontramos el par trenzado, el cable coaxial y el cable de fibra óptica. Los medios no guiados utilizan una antena para transmitir a través del aire, vacío o el agua. Las características y calidad de la transmisión están determinadas tanto por el tipo de señal como por las especificaciones del medio.

En el caso de los medios guiados, el medio en sí mismo es lo que más limitaciones impone a la transmisión, en medios no guiados las características de la transmisión están más determinadas por el ancho de banda de la señal emitida por la antena que por el propio medio.

1.2.5.1 Medios Guiados

1.2.5.1.1 Par Trenzado

El cable de par trenzado, consiste en hilos de cobre aislados por una cubierta plástica, estos se trenzan en forma helicoidal. El trenzado elimina el ruido eléctrico de los pares adyacentes y de otras fuentes como motores, relés y transformadores.

Es de fácil instalación y es más económico que los demás tipos de medios de transmisión, permitiendo transmitir señales analógicas o digitales con velocidades en rango de Mbps, sin embargo, el cableado de par trenzado tiene una serie de desventajas como la sensibilidad al ruido eléctrico, corta distancia de alcance y la interferencia.

Hay dos tipos de cables de par trenzado: cable de par trenzado sin apantallar (UTP) y par trenzado apantallado (STP). A menudo se agrupan una serie de hilos de par trenzado y se encierran en un revestimiento protector para formar un cable.

La EIA⁸ publicó el documento EIA-568, un estándar para cables de telecomunicaciones en edificios comerciales, el cual considera tres tipos o categorías de cables UTP: tipo 3, tipo 4, tipo 5, diseñados para frecuencias de hasta 16, 20 y 100 MHz, respectivamente, utilizando conectores telefónicos RJ-45⁹ mostrado en la figura 1.7, para conectar a un equipo.

⁸ EIA: Electronic Industries Association

⁹ RJ-45: Registered Jack-45



Figura 1.7: Conector RJ45.

1.2.5.1.2 Cable Coaxial

Un cable coaxial tiene un conductor central, cubierto con material aislante y éste va cubierto a su vez por un conductor tubular exterior, este cable se presenta en la figura 1.8. Se llama coaxial porque los dos conductores están separados por el núcleo dieléctrico. Todas estas partes del cable están cubiertas por un forro protector. En las figuras 1.9 se presenta el cable triaxial y en la figura 1.10 el cable coaxial con circulación de aire.

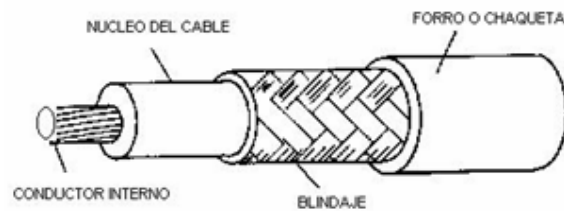


Figura 1.8: Cable coaxial.

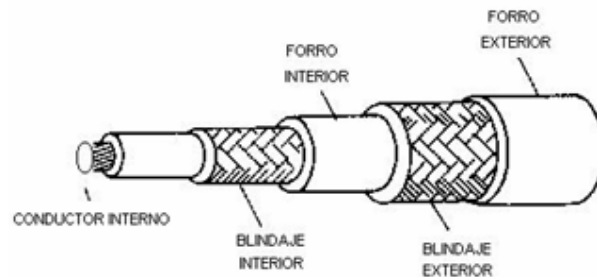


Figura 1.9: Cable triaxial de blindaje doble y forro doble.

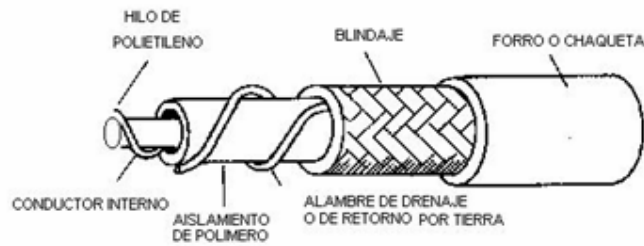


Figura 1.10: Cable coaxial con circulación de aire.

Este cable, aunque es más caro que el par trenzado permite transmitir señales analógicas o digitales, se puede utilizar a más larga distancia que un cable de par trenzado, con velocidades de transmisión superiores y menos interferencias, sus inconvenientes principales son la atenuación, ruido térmico y ruido de intermodulación. Es utilizado ampliamente para televisión, telefonía a larga distancia, redes de área local y conexión de periféricos a corta distancia.

1.2.5.1.3 Fibra Óptica

La fibra óptica consiste en un cilindro de material dieléctrico transparente, con índice específico de refracción, cuyas paredes están en contacto con un segundo material dieléctrico de índice de refracción menor. En forma alterna, puede ser un cilindro cuyo núcleo tenga un índice de refracción que se vuelva progresivamente menor al aumentar su distancia al centro. La fibra se basa en la reflexión interna para transmitir la luz a lo largo de su eje. La luz entra por un extremo de la fibra y sale por el extremo opuesto, teniendo lugar una pérdida mínima.

La fibra óptica se empaqueta en un conjunto de materiales al que se denomina cable fibroóptico o cable de fibras ópticas. Los materiales le dan resistencia a tensión, protección externa y propiedades para su manejo comparables con las de los cables coaxiales de diámetro equivalente.

Los conectores para cable óptico son productos fabricados que se instalan en los extremos del cable para hacer su acoplamiento y desacoplamiento con pérdida mínima de energía luminosa. Son similares en muchos aspectos a los conectores de los cables coaxiales.

Un rayo de luz se refracta en una superficie que separe dos regiones con diferentes índices de refracción, un rayo de luz se refleja internamente en el lindero que separa a dos medios dieléctricos, al incidir dentro del medio más denso, siendo el ángulo de incidencia mayor que un ángulo crítico θ_c que definen los índices de refracción de los medios.

La fibra óptica es empleada en transmisiones a larga distancia, transmisiones metropolitanas, acceso a áreas rurales, bucles de abonado y redes de área local.

Existen características diferenciales de la fibra óptica frente al cable coaxial y al par trenzado, tales como:

- Mayor capacidad pues el ancho de banda potencial en fibra óptica es enorme.
- Menor tamaño y peso.
- Menor atenuación.
- Aislamiento electromagnético.

1.2.5.2 Medios No Guiados

1.2.5.2.1 Transmisión Vía Radio

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar grandes distancias y penetrar fácilmente en los edificios y por ello su uso esta muy generalizado en la comunicación, tanto en interiores como en exteriores.

Las ondas de radio a bajas frecuencias, cruzan bien casi cualquier obstáculo, pero la potencia se reduce de manera drástica a medida que se aleja de la fuente. A frecuencias altas, tiende a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos, siendo también obstruidas por la lluvia.

En las bandas VLF¹⁰, LF¹¹ y MF¹², las ondas de radio siguen la superficie de la tierra (ondas terrestres), no siendo adecuadas para comunicaciones de datos por su pequeño ancho de banda, que determina bajas velocidades de transmisión.

En las bandas HF¹³ y VHF¹⁴, las ondas terrestres tienden a ser absorbidas por la tierra, sin embargo las ondas que alcanzan la ionosfera son refractadas y devueltas a la tierra, por múltiples reflexiones en la tierra pueden alcanzar grandes distancias (ondas espaciales). Estas bandas son utilizadas en comunicaciones militares y por radioaficionados.

1.2.5.2.2 Transmisión Por Microondas

Su banda de frecuencia esta comprendida entre 1 y 40 GHz, cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de banda potencial. Las ondas viajan en línea recta y tienen un haz bastante directivo, lo cual da una mayor relación señal a ruido. Las antenas de microondas son colocadas rígidamente a grandes alturas (usan torres) y alineadas para conseguir transmisión por línea de vista.

Las ondas al viajar en línea recta (línea de vista) limitan su alcance, existiendo la necesidad de utilizar repetidores. Las señales en una transmisión de microondas terrestre pueden enviarse máximo a distancias entre 10 y 100 Km.

Las microondas no atraviesan edificios y pueden originarse varios trayectos para las ondas, llegando éstas desfasadas a la antena receptora provocando al recombinarse interferencia, lo que origina el efecto denominado desvanecimiento por múltiples trayectorias.

Han sido utilizadas en servicios de telecomunicaciones a gran distancia, principalmente para comunicaciones telefónicas, telefonía celular, distribución de televisión, etc.

¹⁰ VLF: Very Low Frequency

¹¹ LF: Low Frequency

¹² MF: Medium Frequency

¹³ HF: High Frequency

¹⁴ VHF: Very High Frequency

1.2.5.2.3 Infrarrojos

Las comunicaciones mediante infrarrojos, se llevan a cabo mediante transmisores/receptores que modulan luz infrarroja no coherente. Los transceptores deben estar alineados directamente, o deben estar accesibles a través de la reflexión en una superficie como en techo de una habitación. Una diferencia significativa entre rayos infrarrojos y las microondas es que los primeros no pueden atravesar paredes, por lo que los problemas de seguridad y de interferencias que aparecen en las microondas no se presentan en este medio de transmisión y no hay problemas de asignación de frecuencias, ya que para operar en esta banda no se necesitan permisos.

1.3 REDES DE TRANSMISION DE DATOS [2]

Muchas veces, dispositivos de comunicaciones no se conectan directamente mediante un enlace punto a punto, ya sea por la distancia existente entre los dispositivos o por que hay un conjunto de dispositivos que necesitan comunicarse entre si en intervalos de tiempo diferentes.

La solución a estos problemas es conectar cada dispositivo a una red de telecomunicación. Para clasificar las redes se puede considerar su tamaño físico, así existen redes de área amplia (WAN), redes de área metropolitana (MAN), redes de área local (LAN) y redes de área personal (PAN). La conexión de dos o más redes se conoce como interred. Internet, es un ejemplo de una interred.

La comunicación inalámbrica no es una idea nueva. Estas redes inalámbricas pueden dividirse en LANs inalámbricas, WANs inalámbricas e Interconexión de sistemas.

1.3.1 REDES DE AREA AMPLIA

Son redes de área amplia todas aquellas que cubren una extensa área geográfica, requieren atravesar rutas de acceso público y utilizan al menos parcialmente, circuitos proporcionados por una entidad proveedora de servicios

de telecomunicación. Generalmente una WAN consiste en una serie de dispositivos de conmutación interconectados. La transmisión generada por cualquier dispositivo se encaminará a través de nodos internos hasta alcanzar el destino. A estos nodos no les concierne el contenido de los datos, al contrario su función es proporcionar el servicio de conmutación, necesario para transmitir los datos de nodo en nodo hasta alcanzar su destino final.

1.3.1.1 Conmutación De Circuitos

En las redes de conmutación de circuitos, para interconectar dos estaciones se establece un camino dedicado a través de los nodos de la red. El camino es una secuencia conectada de enlaces físicos entre nodos. En cada enlace, se dedica un canal lógico a cada conexión. Los datos generados por la estación fuente se transmiten por el camino dedicado tan rápido como se pueda. En cada nodo, los datos de entrada se encaminan o conmutan por el canal apropiado de salida sin retardos. En la conmutación de circuitos se dispone solamente de circuitos a velocidad fija de transmisión entre los sistemas finales. El ejemplo más ilustrativo de la conmutación de circuitos es la red de telefonía.

1.3.1.2 Conmutación De Paquetes

En esta tecnología, no es necesario hacer una asignación a priori de recursos (capacidad de transmisión) en el camino. Los datos se envían en secuencias de pequeñas unidades llamadas paquetes, cada paquete se pasa de nodo en nodo en la red siguiendo algún camino entre la estación origen y la destino. En cada nodo, el paquete se recibe completamente, se almacena durante un breve intervalo y posteriormente se retransmite al siguiente nodo. Estas redes se usan fundamentalmente para las comunicaciones terminal-computador y computador-computador.

La conmutación de paquetes se desarrolló en la época en la que los servicios de transmisión a larga distancia presentaban una tasa de error relativamente elevada, comparada con los servicios de los que se dispone actualmente. Por tanto, para compensar esos errores relativamente frecuentes, en los esquemas de

conmutación de paquetes se realiza un esfuerzo considerable, que se traduce en añadir información redundante en cada paquete así como en la realización de un procesamiento extra, tanto en el destino final como en los nodos intermedios de conmutación, necesario para detectar los errores y en su caso, corregirlos. Las redes originales de conmutación de paquetes se diseñaron para ofrecer una velocidad de transmisión al usuario final de 64 kbps.

1.3.1.3 Retransmisión De Tramas (Frame Relay)

En la actualidad, existen modernos sistemas de telecomunicación de alta velocidad, en los cuales la tasa de errores se ha reducido drásticamente y los escasos errores que aparecen se pueden tratar en el sistema final mediante dispositivos que operan por encima del nivel de la lógica dedicada a la conmutación de paquetes, evitando un esfuerzo adicional indispensable en la conmutación de paquetes.

La tecnología de retransmisión de tramas se ha desarrollado teniendo presente que las velocidades de transmisión disponibles en la actualidad son mayores, así como que las tasas de error actuales son menores, estas redes con retransmisión de tramas están diseñadas para operar a velocidades de transmisión de usuario de hasta 2 Mbps. Consigue estas velocidades eliminando la mayor parte de la información redundante usada para el control de errores y en consecuencia, el procesamiento asociado.

1.3.1.4 Modo de Transferencia Asíncrono

El Modo de Transferencia Asíncrono (ATM), a veces denominado como modo de retransmisión de celdas, es la culminación de todos los desarrollos en conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. ATM se puede considerar como una evolución de la retransmisión de tramas, la diferencia más obvia entre retransmisión de tramas y ATM es que la primera usa paquetes de longitud variable, llamados "tramas" y ATM usa paquetes de longitud fija denominados "celdas".

ATM introduce poca información adicional para el control de errores, confiando en la robustez del medio de transmisión así como en la lógica adicional localizada en el sistema destino para detectar y corregir errores. Al utilizar paquetes de longitud fija, el esfuerzo adicional de procesamiento se reduce más que en retransmisión de tramas. El resultado es que ATM se ha diseñado para trabajar a velocidades de transmisión del orden de 10 a 100 Mbps, e incluso del orden de Gbps.

ATM permite la definición de múltiples canales virtuales con velocidades de transmisión que se definen dinámicamente en el instante en el que se crea el canal virtual. Al utilizar celdas de tamaño fijo, ATM es tan eficaz que puede ofrecer un canal a velocidad de transmisión constante aunque esté usando una técnica de conmutación de paquetes. Por tanto, en este sentido, ATM es una generalización de la conmutación de circuitos en la que se ofrecen varios canales, en los que la velocidad de transmisión se fija dinámicamente para cada canal según las necesidades.

1.3.2 REDES DE AREA METROPOLITANA

Una red de área metropolitana (MAN) es una red ampliada de área local, diseñada para un área geográfica más grande que una red de área local. Esta área puede estar formada por varias cuadras de edificios o por una ciudad entera.

El interés en las MAN ha surgido tras ponerse de manifiesto que las técnicas tradicionales de conmutación y conexión punto a punto usadas en redes WAN, pueden ser no adecuadas para las necesidades crecientes de ciertas organizaciones.

El principal mercado para las MAN lo constituyen aquellos clientes que necesitan alta capacidad en un área metropolitana. Las MAN están concebidas para satisfacer estas necesidades de capacidad a un coste reducido y con una eficacia mayor que la que se obtendría mediante una compañía local de telefonía para un servicio equivalente. El ejemplo más conocido de una red MAN es la red de televisión por cable, disponible en muchas ciudades.

1.3.3 RED DE AREA LOCAL

Una red de área local LAN, es red de comunicación de datos, la cual permite que se comuniquen entre sí muchas computadoras diferentes y dispositivos de procesamiento de datos. Un área local puede ser un solo un edificio de oficinas, una fábrica, un almacén o un campus universitario, con velocidades relativamente altas (1 a 1000 Mbps.) y baja frecuencia de errores.

Los dispositivos se interconectan en forma directa con cable trenzado, cables coaxiales o cables de fibras ópticas. La mayoría de las redes de área local son de propiedad de una sola organización. En el caso típico, tienen una forma regular y están conectadas a un bus, en topología de anillo o en topología estrella mostrada en la figura 1.11. Esta configuración contrasta con las redes de área amplia, que típicamente tienen estructuras internas jerárquicas como la red telefónica.

Las redes de área local se utilizan mucho en transferencia de archivos, procesamiento de textos, correo electrónico, acceso a bases de datos, automatización de oficinas, incluyendo gráficas y voz digital.

En la figura 1.12 se aprecia la topología de bus, en donde las estaciones se conectan con transceptores de banda base o con módems de radiofrecuencia de banda ancha.

En la topología de anillo mostrada en la figura 1.13, las estaciones se disponen en una sola trayectoria cerrada y funcionan como repetidoras. Cada topología tiene diferentes ventajas relacionadas con el medio de transmisión, los requerimientos de enrutamiento y la confiabilidad. Las figuras siguientes ilustran las topologías descritas.

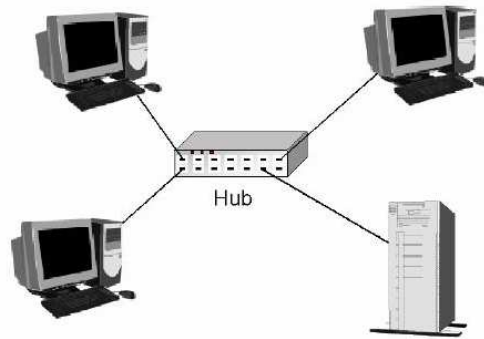


Figura 1.11: Topología estrella.

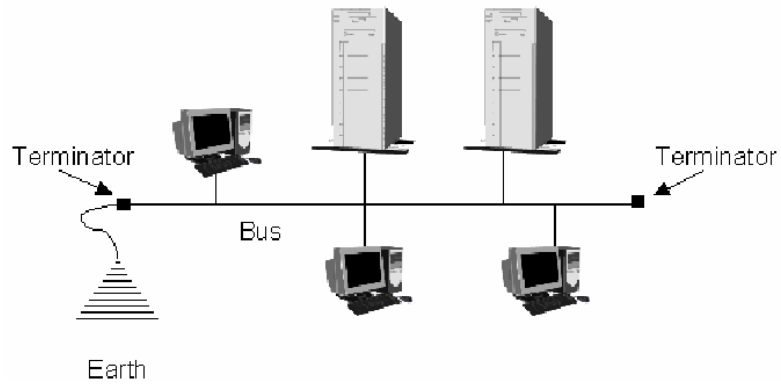


Figura 1.12: Topología bus.

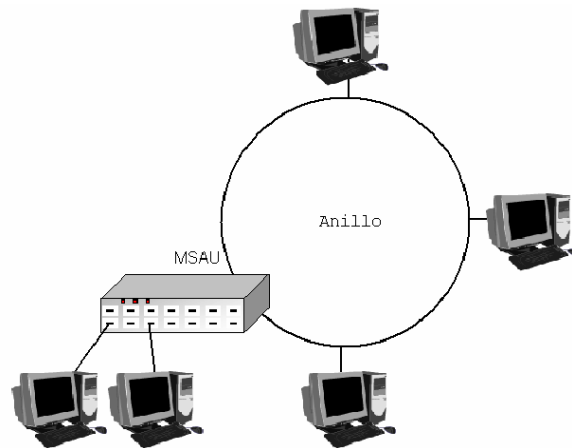


Figura 13: Topología anillo.

El estándar IEEE 802.3, conocido como Ethernet, comprende actualmente velocidades de datos de 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps y 10 Gbps. En el caso de las velocidades más bajas se utiliza el protocolo MAC CSMA-CD, mientras que a 1 Gbps y 10 Gbps se emplea una técnica de conmutación.

El comité IEEE 802.3, ha desarrollado una notación concisa con el fin de distinguir las diferentes implementaciones disponibles:

[Velocidad de transmisión en Mbps][Método de señalización][Longitud máxima del segmento en metros].

1.3.3.1 10BASE5

Especifica el uso de un cable coaxial de banda base de 50 ohmios, de 1 cm. de diámetro y señalización Manchester, la longitud máxima del segmento es 500 metros, segmento que puede ser ampliado con la utilización de repetidores, en un número máximo de cuatro, utilizando una topología tipo bus.

1.3.3.2 10BASE2

Utiliza cable coaxial de banda base de 50 ohmios, con una longitud máxima de segmento de 185 m. y cuatro repetidores como máximo en la red. Se trata de una alternativa menos costosa que la especificación 10BASE5.

1.3.3.3 100BASET

Utiliza cable par trenzado no apantallado (UTP), en una topología en estrella. Dada la alta velocidad y la baja calidad de las transmisiones por este tipo de cable, la longitud de cada segmento está limitada a 100m. Provee compatibilidad con sistemas 10BASE5 y 10BASE2.

1.3.3.4 10BASE-F

Utiliza fibra óptica, codificación Manchester y define tres especificaciones:

10BASE-FP: define una topología en estrella pasiva para interconexión de estaciones y repetidores con segmentos de hasta 1 Km. de longitud

10BASE-FB: el cual permite un enlace punto a punto que puede ser usado para conectar estaciones o repetidores separados hasta 2 Km.

10BASE-FL: permite un enlace punto a punto que puede usarse para conectar dos repetidores, dos computadores o un computador y un repetidor a una distancia de 2 Km.

1.4 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS [2] [3]

Una arquitectura de protocolos es una estructura en capas de elementos hardware y software que facilita el intercambio de datos entre sistemas y posibilita aplicaciones distribuidas, como el comercio electrónico y transferencia de archivos. Cada protocolo proporciona un conjunto de reglas para el intercambio de datos entre sistemas. La arquitectura más utilizada es TCP/IP¹⁵, siendo otro modelo importante la arquitectura de protocolos OSI¹⁶.

Los estándares son necesarios para promover la interoperabilidad entre los equipos de distintos fabricantes, así como para facilitar economías de gran escala.

1.4.1 MODELO OSI

En este modelo, las funciones de comunicación se distribuyen en un conjunto jerárquico de capas, así cada capa realiza un subconjunto de tareas, relacionadas entre sí. Cada capa proporciona servicios a la capa inmediatamente superior.

¹⁵ TCP/IP: Transmisión Control Protocol/ Internet Protocol

¹⁶ OSI: Open Systems Interconnection

1.4.1.1 Capa Física

Se encarga de la interfaz física entre los dispositivos, define reglas para la transmisión de bits y define características importantes como especificaciones de conectores, velocidad de transmisión y secuencias de eventos.

1.4.1.2 Capa De Enlace De Datos

Su principal servicio es la detección y control de errores, así dispone de varios protocolos, algunos ejemplos de estándares en esta capa son HDLC y LLC.

1.4.1.3 Capa De Red

Realiza la transferencia de información entre sistemas finales a través de algún tipo de red de comunicación, en esta capa se establece un diálogo con la red para especificar la dirección destino y solicitar ciertos servicios.

1.4.1.4 Capa Transporte

Proporciona un mecanismo para intercambiar datos entre sistemas finales. El servicio de transporte orientado a conexión asegura que los datos se entreguen libres de errores, en orden y sin pérdidas. La capa transporte puede estar involucrada en la optimización del uso de los servicios de red y en proporcionar la calidad de servicio solicitada.

1.4.1.5 Capa Sesión

La capa sesión, proporciona los mecanismos para controlar el diálogo entre las aplicaciones de los sistemas finales, esta capa proporciona servicios como control de diálogo, agrupamiento y recuperación.

1.4.1.6 Capa Presentación

Esta capa define el formato de los datos que se van a intercambiar entre las aplicaciones y ofrece a los programas de aplicación un servicio de transformación de datos. Define la sintaxis utilizada entre las entidades de aplicación y proporciona los medios para seleccionar y modificar la representación utilizada.

1.4.1.7 Capa Aplicación

A esta capa pertenecen las funcionalidades de administración y los mecanismos para implementar aplicaciones distribuidas, en esta capa residen aplicaciones de uso general como transferencia de archivos, correo electrónico, entre otras.

1.4.2 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS TCP/IP

Es un conjunto de protocolos que se han especificado como estándares de Internet, actualmente constituye la infraestructura tecnológica más extensa y desarrollada sobre la que circulan las comunicaciones electrónicas (datos, voz, multimedia, etc.). Expansión debida principalmente al desarrollo exponencial de la red mundial, Internet. TCP/IP está diseñado en una estructura en capas, concretamente dispone de cuatro capas:

1.4.2.1 Capa Física

Asociada al medio de comunicación físico y de enlace, capas 1 y 2 del modelo OSI.

1.4.2.2 Capa De Red

Capa de red del modelo OSI, se encarga del envío y recepción de los paquetes a través de la red, así como de encaminarlos por las diferentes rutas que deben recorrer para llegar a su destino. Principalmente el protocolo IP, junto a ICMP, se encargan de estas tareas.

1.4.2.3 Capa Transporte

Se encarga de manejar los flujos de datos entre equipos, en este nivel existen dos protocolos: TCP¹⁷, un protocolo fiable y orientado a conexión y UDP¹⁸, un protocolo más simple que no garantiza la recepción de datos, además es un protocolo no orientado a conexión.

1.4.2.4 Capa Aplicación

En el modelo OSI, correspondería a las capas sesión, presentación y aplicación, gestiona características de las comunicaciones propias de la aplicación. En este nivel se encuentran numerosos protocolos como Telnet, FTP, HTTP, SMTP, SNMP, NFS, NNTP.

1.5 PROTOCOLOS PARA TRANSMISION DE DATOS [4]

1.5.1 PROTOCOLO ARP

El protocolo ARP¹⁹, permite realizar ciertas tareas cuyo objetivo es asociar un dispositivo IP, que a nivel lógico está identificado por una dirección IP, a un dispositivo de red, que a nivel físico posee una dirección física de red. Este protocolo es utilizado en entornos de redes de área local (LAN), el cual es el entorno más extendido.

1.5.2 PROTOCOLO IP

IP (Internet Protocol), es el protocolo principal de TCP/IP, encargado de la transmisión y enrutamiento de los paquetes de datos al equipo destino, es un protocolo no fiable y dispone de un protocolo de aviso llamado ICMP, para el control de posibles errores. La fiabilidad de comunicación la proporcionan protocolos superiores como TCP.

¹⁷ TCP: Transport Control Protocol

¹⁸ UDP: User Datagram Protocol

¹⁹ ARP: Address Resolution Protocol

1.5.3 PROTOCOLO TCP

El protocolo TCP es empleado en la mayoría de los servicios que componen Internet actualmente. Es un protocolo fiable, asegura la llegada de paquetes a su destino, mediante el uso de números de secuencia y de confirmaciones de recepción (ACK) y es orientado a conexión por lo que las partes que se van a comunicar establecen una conexión formal.

1.5.4 PROTOCOLO UDP

UDP es un protocolo no orientado a conexión y no fiable, por lo que los protocolos de nivel superior deben asegurarse de la recepción de datos. Este protocolo es empleado principalmente en aplicaciones multimedia, para el envío de flujos de información sin un coste de conexión asociado.

1.5.5 PROTOCOLO ICMP

ICMP²⁰ es empleado por el protocolo IP para notificar mensajes de error o situaciones que requieren cierta atención, existen numerosos tipos de mensajes que permiten tanto notificar situaciones de error, como realizar peticiones de información.

1.5.6 PROTOCOLO SMTP²¹

Proporciona una función básica de correo electrónico. Este protocolo establece un mecanismo para transferir mensajes entre computadores remotos, entre sus características se encuentran la utilización de listas de mensajería, gestión de acuses de recibo y el reenvío de mensajes. SMTP no especifica como se crea un mensaje, por lo que se necesita un programa de correo electrónico nativo o un editor local. Una vez creado el mensaje, SMTP lo acepta y utilizando TCP lo envía al módulo SMTP del computador remoto.

²⁰ ICMP: Internet Control Messaging Protocol

²¹ SMTP: Simple Mail Transfer Protocol

1.5.7 PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS FTP

FTP (File Transfer Protocol) es utilizado para enviar archivos de un sistema a otro bajo el control del usuario. Cuando un usuario solicita la transferencia de un archivo, FTP establece una conexión TCP con el sistema destino para intercambiar mensajes de control. Una vez que el archivo se ha especificado y la transferencia haya sido aceptada, se establece una segunda conexión TCP a través de la cual se materializará la transferencia. Cuando la transferencia finaliza, se utiliza la conexión de control para indicar la finalización, además esta conexión estará disponible para aceptar nuevas órdenes de transferencia.

1.5.8 TELNET

Facilita la realización de conexiones remotas, mediante las cuales el usuario en un terminal o computador personal se conecta a un computador remoto y trabaja como si estuviera conectado directamente a ese computador. El tráfico entre el terminal del usuario y el servidor TELNET se lleva a cabo sobre una conexión TCP.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DE LAS TECNOLOGIAS WiMAX Y Wi-Fi

2.1 WiMAX

2.1.1 INTRODUCCION

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Acces), es una tecnología basada en el estándar IEEE 802.16, llamado “*Air Interface for Fixed Broadband Access Systems*”, que permite al abonado acceso inalámbrico de banda ancha, como alternativa al cable y ADSL. A diferencia de la mayoría de las tecnologías disponibles para enlace inalámbrico de banda ancha, que sólo permiten conexión con visión directa (Line of Sight, LOS), WiMAX ha sido optimizado para dar una cobertura excelente en condiciones de no visión directa (Non line of sight, NLOS).

La avanzada tecnología de WiMAX incluye lo mejor de dos mundos como grandes distancias de cobertura de hasta 50 Km. (LOS) y un tamaño de celda de hasta 8 Km. en condiciones de NLOS. WiMAX permitirá conectividad de banda ancha en uso fijo, nómada, portátil y móvil sin necesidad de visión directa a la estación base.

WiMAX está orientado tanto a los proveedores de servicio de Internet (ISP), como a los suscriptores finales, es una tecnología que transforma las señales de voz y datos en ondas de radio, que se transmiten hasta una antena receptora, el negocio real está relacionado con proporcionar acceso a los ISP's y telefónicas, para que éstos a su vez ofrezcan banda ancha a los clientes sin necesidad de tender cableado en la última milla. Sin embargo, habrá casos donde el acceso sea directamente al suscriptor a través de hot spots¹ Wi-Fi que hayan migrado hacia WiMAX.

¹ Hot-spot: Zona con Cobertura Wi-Fi

WiMAX abarca un rango de espectro debajo de 11GHz. Asimismo, existe la posibilidad de desplegarla en las bandas del servicio celular, el espectro más probable está disponible en 2.3GHz, 2.4GHz, 2.5GHz, 3.5GHz, 5.8GHz y potencialmente en 700MHz.

WiMAX alcanza velocidades de transmisión de mas de 100 Mbps. en un canal con ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 GHz), mientras que puede llegar a los 70 Mbps, operando en el rango de frecuencias mas bajo (2 a 11 GHz). Estas velocidades tan elevadas se consiguen gracias a la utilización de la modulación OFDM² con 256 subportadoras.

WiMAX puede soportar varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como ráfagas, siendo independiente del protocolo. También soporta las llamadas antenas inteligentes³, propias de las redes celulares, lo cual mejora la eficiencia espectral. Además se contempla la posibilidad de formar redes en malla, para que los distintos usuarios se puedan comunicar entre sí, sin necesidad de tener visión directa entre ellos.

2.1.2 WiMAX FORUM [1]

El Forum WiMAX fue creado en el año 2001 por Nokia Corp., Ensemble Communications Inc. y el Orthogonal Frequency Division Multiplexing Forum. En el año 2003, Intel se incorpora al Forum WiMAX como uno de los miembros más activos.

Nació a raíz de los avances hechos bajo el estándar IEEE 802.16 - 2001, debido al grado de madurez alcanzado por la tecnología, a la mayor participación de fabricantes, a las necesidades del mercado de disponer de equipamientos estándar a menor costo y a los avances regulatorios en materia de espectro radioeléctrico en diferentes partes del mundo.

² OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

³ Antenas inteligentes: Combinación de arreglo de antenas con una unidad de procesamiento de señales.

Son miembros del WiMAX Forum:

Fujitsu Microelectronics America, Inc., Wi-LAN Inc., ArrayComm Inc., Nokia, Trapeze Networks Inc., WaveIP Ltd., Aperto Networks, Alvarion Ltd., Harris Corporation, InterDigital Communications Corp., iCODING Technology Inc., Conexant Systems Inc., Texas Instruments Inc., Hexagon System Engineering, Runcom Technologies Ltd., Samsung Electronics Co. Ltd., BeamReach Networks Inc., Airspan, Runcom technologies Ltd., Broadcom Corp., Wavesat Wireless Inc., Redline Communications Corp., Intel Corporation, Marvell Semiconductor, Vectrad Networks, NIST, MacPhy Modems, Georgia Institute of Technology, Global Communications Devices Inc., E.A. Robinson Consulting Inc., Ensemble Communications, Comtech AHA Corp., Medley Systems Ltd., Proxim Corporation, CyberTAN Technology Inc., Radiant Networks PLC.

Entre todos los miembros de la alianza destaca INTEL, un importante fabricante de semiconductores que incluye en sus planes el desarrollo de nuevos chips WiMAX, así como importantes sumas a invertir en torno a esta tecnología que permite que aumenten las expectativas sobre el desarrollo de este estándar.

2.1.2.1 Objetivos del WiMAX Forum

- Conseguir la interoperabilidad entre los productos de diferentes fabricantes, de forma que se realicen procesos de certificación funcional más allá del cumplimiento del estándar. Esto conducirá a una mayor seguridad por parte de los usuarios a la hora de utilizar dispositivos procedentes de fabricantes diferentes.
- Reducción de costos. Si el estándar se consolida, muchos fabricantes optarán por soluciones homogéneas que garanticen la interoperatividad y mayores volúmenes de producción, gracias a la utilización de una tecnología base homogénea, lo que provocará una reducción de costos.
- Promover una marca que difunda en el mercado un estándar masivo en comunicaciones inalámbricas.

- Potenciar acciones de marketing que conviertan a WiMAX en el estándar de banda ancha en el ámbito metropolitano, a imagen de lo que hoy es Wi-Fi para entornos de Área Local.

2.1.3 ESTANDAR IEEE 802.16 [2]

El proyecto del estándar IEEE 802.16 se inició en 1988, el trabajo principal se desarrolló entre los años 2000-2003, dentro de un proceso de consenso abierto.

El objetivo fue desarrollar un estándar para conseguir un desarrollo del acceso en banda ancha inalámbrico, masivo y a los menores precios posibles, a través de la creación de un estándar para el acceso inalámbrico en ámbito metropolitano.

El proyecto general de WiMAX actualmente incluye al IEEE 802.16-2004 y al IEEE 802.16e. El IEEE 802.16-2004 utiliza OFDM, por la capacidad de gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto y por que realiza la combinación de múltiples portadoras solapadas espectralmente de manera que no se producen interferencias entre ellas. El IEEE 802.16e utiliza OFDMA¹ que permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM de esta manera se asegura de que las subportadoras se asignan a los usuarios que ven en ellas buenas ganancias de canal.

2.1.3.1 IEEE 802.16 - 2001

El Estándar IEEE 802.16 - 2001 se completó en Octubre del 2001 y fue publicado el 8 de Abril del 2002 define el interfaz aéreo para redes de área metropolitanas inalámbricas.

IEEE 802.16 - 2001, especifica el interfaz de un sistema de acceso inalámbrico de banda ancha aplicado a conexiones punto-multipunto, con antenas direccionales y sin movilidad, esta versión del estándar se ha diseñado para bandas entre 10 y 66 GHz.

¹ OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Este estándar se diseñó con el fin de desarrollar una serie de interfaces aire basados en un mismo protocolo MAC pero con especificaciones de la capa física que dependen del espectro utilizado y de las regulaciones asociadas.

IEEE 802.16 - 2001 especifica un Ancho de Banda de 28 MHz, una cobertura de hasta 50 Km., utiliza modulación QPSK, 16-QAM, 64-QAM (opcional), requiere línea de vista (LOS) y opera a velocidades de hasta 75 Mbps en banda licenciada.

2.1.3.2 IEEE 802.16a [3]

La IEEE aprobó en Enero del 2003 el estándar IEEE 802.16a como una enmienda al estándar IEEE 802.16 - 2001, este estándar ha recibido apoyo de fabricantes de equipos terminales.

El estándar especifica un protocolo que apoya las aplicaciones de latencia bajas como la voz y video, proporciona conectividad de banda ancha sin requerir una línea directa de vista (NLOS) entre el suscriptor y la estación base (BTS¹).

IEEE 802.16a se diseña para aplicaciones de última milla en sistemas que operan en las bandas entre 2 GHz y 11 GHz. La capa de control de acceso al medio es capaz de soportar múltiples especificaciones de capa física optimizadas para las bandas de frecuencia. Asegura un enlace de Radio Frecuencia robusto maximizando el número de bits por segundo para cada suscriptor.

Proporciona flexibilidad de operar en diferentes bandas de frecuencias requeridas alrededor del mundo con variación de canales. Designado para soportar sistemas de antenas inteligentes.

El estándar IEEE 802.16a incluye características de seguridad y de Calidad de Servicio que ayudan a soportar servicios que requieren baja latencia, tal como voz y video. El servicio de voz puede ser multiplexado por división de tiempo (TDM) o Voz sobre IP (VoIP).

¹ BTS: Estación Base

Una configuración del estándar IEEE 802.16a consiste en una estación base montada en un edificio o una torre que se comunica en base a enlaces punto-multipunto con las estaciones del suscriptor localizadas en diferentes lugares, con una distancia de hasta 10 Km.

El funcionamiento sin línea de vista y el rendimiento son óptimos, además este estándar proporciona una tecnología inalámbrica de soporte para interconectar LANs inalámbricas y puntos comerciales con el Internet, proporciona suficiente ancho de banda para soportar simultáneamente mas de 60 negocios con conectividad de nivel E1 y muchos hogares con conectividad DSL, usando 20 MHz de ancho de banda.

Entre las principales características del estándar IEEE 802.16a se tiene:

- Espacio de canal de 1.5 a 20 MHz.
- Alcanza velocidades de hasta 75 Mbps con 20 MHz de Ancho de Canal.
- Añade soporte de transmisión sin línea de vista (NLOS).
- Añade soporte para FEC¹ y ARQ²
- Utilización de capa MAC³ IEEE 802.16.

2.1.3.3 IEEE 802.16 – 2004[4]

IEEE 802.16-2004 es una tecnología de acceso inalámbrico fijo, está diseñada para competir con los proveedores de cable de banda ancha, DSL y para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en áreas subabastecidas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso. Los ejemplos incluyen a países en desarrollo,

¹ FEC: Forward Error Correction.

² ARQ: Automatic Repeat Request.

³ MAC: Control de Acceso al Medio.

áreas rurales en países desarrollados donde el cable de cobre no tiene un sentido económico.

El IEEE 802.16-2004 también es una solución viable para el backhaul¹ inalámbrico para puntos de acceso Wi-Fi o potencialmente para redes celulares, en particular si se usa el espectro que requiere licencia. Finalmente, en ciertas configuraciones, WiMAX puede usarse para proveer mayores velocidades de datos y por lo tanto, puede usarse como una opción de reemplazo de T1 para abonados corporativos de alto valor.

En general, el Equipo de Usuario (CPE²) consiste de una unidad exterior (antena, etc.) y un módem interior, lo que significa que se requiere que un técnico logre que un abonado residencial o comercial esté conectado a la red. En ciertos casos, puede usarse una unidad interior auto instalable, en particular cuando el abonado está relativamente cerca de la estación base transmisora. La tecnología inalámbrica fija introduciría un grado de capacidad nómada ya que el abonado podría viajar con el CPE y usarlo en otras ubicaciones fijas: oficina, hotel, cafetería, etc. Además, los CPE auto instalables deberían hacer que el IEEE 802.16-2004 fuera económicamente más viable ya que una gran parte del costo de adquisición del cliente (instalación, CPE) se reduce en forma drástica.

El estándar IEEE 802.16-2004 define los parámetros de la interfase inalámbrica para acceso de banda ancha a nivel físico y de acceso al medio (MAC). Las principales diferencias que existen con la versión anterior, el IEEE 802.16a, se relacionan con el consumo de potencia en los sistemas. El estándar IEEE 802.16-2004 está enfocado en las especificaciones del Control de Acceso al Medio (MAC) y Capa Física (PHY).

El estándar IEEE 802.16 - 2004 realiza cambios en la parte OFDM como mejor soporte de múltiple entrada y múltiple salida (MIMO¹), cambios en el preámbulo,

¹ Backhaul: Red de retroceso conexión de baja, media y alta velocidad

² CPE: Consumer Premise Equipment

¹ MIMO: Multiple Input Multiple Outputs.

cambios en portadoras piloto, cambios en el formato de modulación para FHC² y en OFDMA cambios en la subcanalización.

Para frecuencias debajo de 11 GHz, se tiene tres alternativas:

1. Wireless MAN-OFDM (usando OFDM)
2. Wireless MAN-OFDMA (usando Access)
3. Wireless MAN-Sca (utilizando modulación de portador simple).

Este estándar revisa y consolida a los estándares IEEE 802.16-2001, IEEE 802.16a-2003 e IEEE 802.16c-2002.

Las características de este estándar son:

- Enlaces Fijos y nómadas punto - multipunto.
- Permite enlaces con y sin línea de visión.
- Alcance máximo de hasta 50 Km.
- Tasa de Transferencia Máxima de hasta 75 Mbps.
- Espectro de Frecuencias 2 - 66 GHz.

En la figura 2.1 se muestra un ejemplo de los enlaces que permite este estándar en LOS y NLOS

² FHC: Frame Control Header.

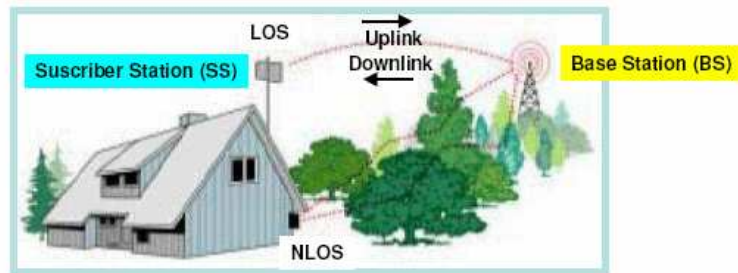


Figura 2.1: Enlace con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).

2.1.3.4 IEEE 802.16e [2]

IEEE 802.16e es un estándar que está diseñado para ofrecer una característica clave de la que carece el IEEE 802.16-2004: portabilidad y con el tiempo, movilidad a toda escala. Este estándar requiere una nueva solución de hardware/software ya que no es compatible con el anterior IEEE 802.16-2004, lo cual no es necesariamente algo bueno para los operadores que están planeando desplegar el IEEE 802.16-2004 y luego ascender al IEEE 802.16e.

Otra importante diferencia entre los estándares IEEE 802.16-2004 e IEEE 802.16e es que el estándar IEEE 802.16-2004 está basado, en parte en una serie de soluciones inalámbricas fijas comprobadas aunque patentadas, por lo tanto existen grandes probabilidades de que la tecnología alcance sus metas de rendimiento establecidas.

En esta versión IEEE 802.16e, WiMAX no puede facilitar una cobertura tan amplia como la que proporcionan las soluciones 2G/3G, la tecnología permite mayores velocidades, cobertura suficiente, por lo que podría ser una alternativa o complemento en muchas zonas a las redes celulares.

Se estima un diámetro del área de cobertura de una estación base entre seis y siete kilómetros, esto depende del rango de frecuencias y la implementación.

Las Características del estándar son:

- Banda de Frecuencia menor a 6 GHZ.
- No requiere línea de vista, OFDM hasta 5 Km.
- Número de portadoras flexible 128, 256, 512, 1024, 2048.
- Hasta 10 MHz de Ancho de Banda.
- Velocidad de hasta 15 Mbps.
- Fuertemente impulsada por INTEL.

En la figura 2.2 se indica las diferentes aplicaciones en las que pueden ser utilizados los estándares IEEE 802.16 – 2004 e IEEE 802.16e

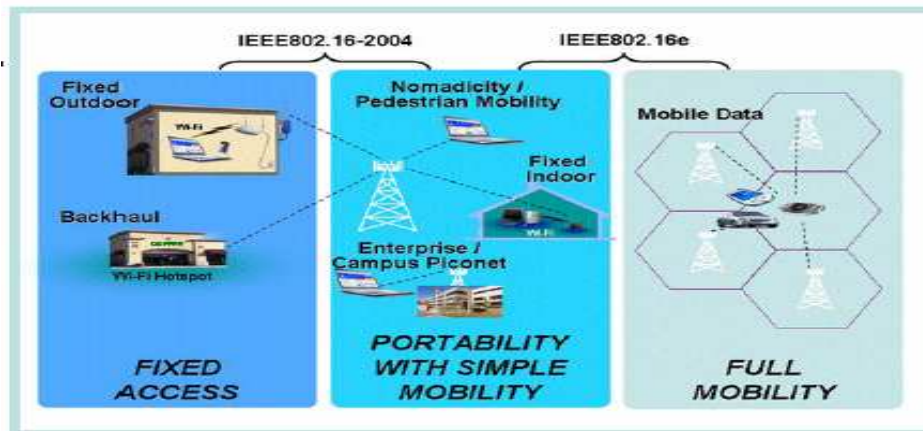


Figura 2.2: Aplicaciones de los estándares IEEE 802.16 - 2004 e IEEE 802.16e.

Un aspecto importante de los estándares 802.16 es que define una capa MAC que soporta especificaciones de diferentes capas físicas. Esta característica es fundamental a la hora de que los fabricantes de equipos puedan diferenciar ofertas, sin dejar de ser interoperables, para que puedan adecuar los equipos en una determinada banda de frecuencias.

En la tabla 2.1 se indica las versiones de los estándares WiMAX

ESTANDARES IEEE 802.16			
	802.16	802.16 / REVd	802.16 e
Completado	Dic-01	802.16a: Ene 2003 802.16 REVd: Q3 2004	Estimado: 2006
Espectro	10 a 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Condiciones de Canal	Solo línea de vista	Sin línea de vista	Sin línea de vista
Bit Rate	32 a 134 Mbps a 28 MHz de canalización	Por encima de 75 Mbps a 20 MHz de canalización	Por encima de 15 Mbps a 5 MHz de canalización
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM 256, OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK,BPSK	OFDM 256, OFDMA 64 QAM, 16 QAM, QPSK,BPSK
Movilidad	Fijo	Fijo y portátil	Movilidad, Regional. Roaming
Ancho de Banda	20, 25 y 28 MHz	Canales con ancho de banda seleccionables entre 1.25 y 20 MHz con subcanales lógicos superiores a 16	Igual a REVd
Radio de Celda Típico	1 a 5 Km.	3 a 8 Km.; rango máximo 48 Km. basado sobre la altura de la torre, ganancia de la antena y potencia de transmisión	1 a 5 Km.

Tabla 2.1: Versiones WiMAX.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

2.1.4.1 Bandas De Frecuencia

WiMAX puede desplegarse en espectros que requieren licencia y en aquellos que no lo requieran por debajo de los 11 GHz, asimismo existe la posibilidad de desplegarse en las bandas de servicio celular [si estuviera permitido] y en las

bandas de 700 MHz. Esta amplia variedad de opciones de espectro tiene como resultado la incompatibilidad o la necesidad de dispositivos multibanda.

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

El espectro disponible se divide en dos categorías distintivas: sin licencia y con licencia.

2.1.4.1.1 Bandas sin Licencia

En la mayoría de los mercados, el espectro que no requiere licencia y que podría emplearse para WiMAX es 2.4GHz y 5.8GHz. Debido a que el espectro no requiere licencia, la barrera para ingresar es baja, por lo que hace más fácil que un posible operador comience a ofrecer servicios empleando este espectro. En algunos casos, esto puede ser ventajoso por razones obvias. Desafortunadamente, también existen varias desventajas. En ciertos países, en particular en Europa, rige el concepto de espectro “con licencia light”, lo que significa que el usuario tiene que presentar su intención de usar el espectro que no requiere licencia. De esta forma, los entes reguladores tienen una mejor noción de quién está empleando el espectro, y controlan la cantidad de licenciatarios y minimizan potencialmente el impacto de interferencias.

Hay cuatro desventajas principales relacionadas con el uso del espectro que no requiere licencia.

- **Interferencias:** debido a que el espectro que no requiere licencia puede ser utilizado por varios sistemas diferentes de RF, hay altas probabilidades de que ocurran interferencias. Los sistemas de RF que no requieren

licencia pueden incluir desde las redes rivales de WiMAX o los puntos de acceso de Wi-Fi. Los teléfonos inalámbricos y Bluetooth (sólo 2.4GHz) también usan este espectro. Tanto WiMAX como Wi-Fi soportan la DFS (Dynamic Frequency Selection - Selección Dinámica de Frecuencia) que permite que se utilice un nuevo canal si fuera necesario (por ejemplo, cuando se detectan interferencias). No obstante, DFS también puede introducir una mayor latencia que, a su vez, afecta las aplicaciones en tiempo real como VoIP.

- **Mayor competencia:** Los operadores que utilizan el espectro que no requiere licencia tienen que asumir que otro operador fácilmente podría ingresar en el mercado empleando el mismo espectro. En gran medida, el número relativamente alto de puntos de acceso públicos Wi-Fi se debe a este hecho. No obstante, los gastos de capital relacionados con la instalación de un punto de acceso Wi-Fi de carácter comercial son relativamente triviales (cientos de dólares, cuanto mucho) en comparación con el costo relacionado con desplegar una red WiMAX, que podría ser equivalente al costo de desplegar una red celular.
- **Potencia limitada:** Otra desventaja del espectro que no requiere licencia es que los entes reguladores del gobierno por lo general limitan la cantidad de potencia que puede transmitirse. Esta limitación es especialmente importante en 5.8GHz, donde la mayor potencia podría compensar la pérdida de propagación relacionada con el espectro en frecuencias más altas (más adelante se hablará más a fondo sobre este tema).
- **Disponibilidad:** Mientras el espectro de 2.4GHz está disponible universalmente, en la actualidad el espectro 5.8GHz no se encuentra disponible en varios países.

2.1.4.1.2 Bandas con Licencia

El espectro que requiere licencia tiene un precio potencialmente alto, pero bien lo vale, en especial cuando la oferta del servicio requiere una alta calidad de

servicio. La mayor ventaja de tener el espectro que requiere licencia es que el licenciatarario tiene uso exclusivo del espectro. Está protegido de la interferencia externa, mientras que sus competidores sólo pueden ingresar en el mercado si también poseen o tienen un leasing del espectro.

El espectro que requiere licencia se encuentra en las bandas de frecuencia de 700MHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5GHz.

2.1.4.1.2.1 Banda de 2.5 GHz

Está disponible para uso terrestre en América del Norte, América Latina y eventualmente, en Europa. El FCC en Estados Unidos tiene asignado 200 MHz de espectro de radio con licencia entre 2.5 - 2.7 GHz para Servicios de Distribución Multicanal Multipunto (MMDS²²). Sprint y MCI son empresas que usan esta banda para brindar sus servicios punto a punto.

2.1.4.1.2.2 Banda de 3.5 GHz

Disponible en casi todos los países, con excepción de los Estados Unidos. Además de los desafíos de propagación inherentes a esta banda muchas licencias europeas restringen la manera en que se puede usar el espectro, dado que en esta banda particular en la actualidad no se permiten handoff²³ entre celdas, lo que no resulta ideal cuando se intenta ofrecer un servicio móvil de voz y de datos que requiere un servicio ininterrumpido para las llamadas de voz. En algunas regiones del mundo como el Japón y Corea, se están usando porciones del espectro para ofrecer servicios satelitales. La mayoría de los defensores de WiMAX también creen que 3.5GHz no es adecuada para la movilidad, en gran parte debido a la propagación de radio frecuencia en esta banda.

²² MMDS: Multichannel Multipoint Distribution Service.

²³ handoff: Proceso de transferir una llamada o una sesión en curso de los datos a partir de un canal conectado con la red de la base con otro.

2.1.4.1.2.3 Banda de 700 MHz

Muy utilizada en muchas regiones del mundo, entre ellas América del Norte y la mayor parte de Europa. En la actualidad, este espectro está siendo utilizado por emisoras analógicas de TV lo que significa que la capacidad de desplegar WiMAX o cualquier otra tecnología inalámbrica en esta banda del espectro está limitada debido a las preocupaciones acerca de la posibilidad de que haya interferencias entre los servicios. Con la transición a la TV digital, las emisoras de América del Norte finalmente vaciarán este espectro y lo liberarán para otros posibles usos.

2.1.4.1.2.4 Banda de 2.3 GHz

El empleo de la banda del espectro 2.3GHz está muy limitado en este momento a ciertas aplicaciones en Corea del Sur (WIBRO²⁴), Australia, Nueva Zelanda y los Estados Unidos. En los Estados Unidos, TeraBeam y Verizon son los mayores tenedores del espectro mientras que en Nueva Zelanda Woosh Wireless posee una huella en 2.3GHz en toda la nación, aunque se está desplegando TD-CDMA²⁵ en el espectro 2.1GHz. Si bien hay un espectro 2.3GHz disponible en los Estados Unidos, no es atractivo para WiMAX, en especial porque el uso en los canales adyacentes limita el ancho de banda disponible.

2.1.4.2 Capa Física (PHY) [5]

WiMAX tiene tres opciones para la capa física (PHY):

- SC-A: Single Carrier Channel.
- OFDM con 256 subportadoras.
- OFDMA con 2048 subportadoras.

2.1.4.2.1 Sc – A Single Carrier Channel

²⁴ WIBRO: Wireless Broadband.

²⁵ TD-CDMA: Time Division Code Division Multiple Access

Se define una capa física para la banda de frecuencias de 10 - 66 GHz que es la "WirelessMAN-SC." la cual se utiliza para transmisiones con línea de vista. Utiliza técnicas como TDD¹ y FDD² para optimizar el uso del espectro ya que utilizan transmisión de tráfico a ráfagas permitiendo regular parámetros de transmisión, modulación y codificación que son aplicados a cada estación subscriptora (SS) desde una estación base (BS).

El enlace de subida está basado en una combinación de TDMA Y DAMA³, dividido en intervalos de tiempo los mismos que son controlados por la MAC en la estación base y que varían en el tiempo para que sea óptima la transmisión.

El canal de bajada es TDM que tiene la información de cada suscriptor que es multiplexada sobre una cadena individual de datos y que es recibida por todos los suscriptores que pertenecen al mismo sector.

Para soportar half-duplex, FDD en las SSs, la provisión también es realizada por una porción TDMA en el downlink.

El PHY downlink incluye un sublayer de convergencia de transmisión que inserta un byte de puntero en la carga para ayudar al receptor a identificar el comienzo de la MAC PDU. Los bytes de datos provenientes del sublayer de convergencia de transmisión son aleatorizados, codificados con FEC y mapeados a QPSK, 16-QAM o constelación de señal 64-QAM (opcional).

El PHY uplink está basado en la transmisión burst TDMA. Cada burst está diseñado para transportar PDUs MAC de longitud variable. El transmisor aleatoriza los datos entrantes, los codifica en FEC, y mapea los bits codificados a QPSK, 16-QAM (opcional).

El PHY WirelessMAN-SCa está basado en una tecnología de portadora simple y diseñado para operación NLOS en bandas de frecuencias por debajo de 11 GHz.

¹ TDD: Time Division Duplexing.

² FDD: Frequency Division Duplexing.

³ DAMA: Demand Assigned Multiple Access.

Para bandas licenciadas los anchos de banda de canal permitidos deben ser limitados por el ancho de banda regulado dividido por cualquier potencia de dos no menor que 1.25 MHz.

Definiciones TDD y FDD, una de las cuales debe ser soportada.

- Uplink TDMA.
- Downlink TD o TDMA.
- Modulación adaptativa por bloque y codificación FEC para uplink y downlink.
- Estructura de framing que mejora la ecualización y el rendimiento de estimación de canal a través de NLOS y ambientes de ensanchamiento de retardos extendidos.
- Granularidad en unidades PS en tamaño de burst.
- FEC concatenado usando codificación Reed-Solomon y TCM con interleaving opcional.
- Opciones adicionales BTC y CTC FEC.
- Opción No-FEC usando control de error ARQ.
- Opción de transmisión con diversidad STC (space time coding).
- Modos robustos para operación de baja CINR.
- Seteo de parámetros de mensajes MAC/PHY que facilitan la implementación opcional AAS.

2.1.4.2.2 OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexing)

La tecnología OFDM fue planteada por los Laboratorios BELL en los años 1970, siendo incorporado en varios equipos de líneas en suscriptor digital (DSL), basado en el proceso matemático de la llamada Transformada Rápida de Fourier (FFT). Permite obtener una alta eficiencia espectral y habilitar los canales para ser procesados en el receptor de forma más eficiente. OFDM es popular en aplicaciones inalámbricas ya que es resistente a las interferencias y degradaciones por efectos de multitrayectoria y retardos.

OFDM es una técnica de modulación multiportadora, que permite solucionar los problemas debidos a la propagación multicamino, en lugar de transmitir la información en una única portadora, se divide el ancho de banda disponible en un conjunto de portadoras, cada una de las cuales transporta un ancho de banda muy pequeño, en la figura 2.3 se muestra la comparación entre sistema monoportadora y multiportadora.



Figura 2.3: Sistema monoportadora vs. Multiportadora

La base de 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. Además, es posible utilizar diferentes técnicas de modulación entre portadoras, con lo cual se consigue una funcionalidad extra.

En la figura 2.4 se muestran las portadoras ortogonales OFDM.

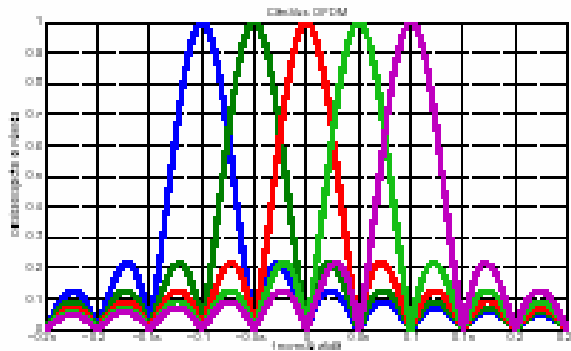


Figura 2.4: Portadoras OFDM ortogonales (N=5)

En recepción las portadoras deben ser separadas antes de demodular. En las técnicas de multiplexación tradicionales FDM, se utilizaban filtros pasobanda en cada una de las frecuencias, por lo que además de no solapar las bandas, era obligatoria la reserva de bandas de guardia. 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.

OFDM se ha convertido en el factor determinante para tecnologías de banda ancha, especialmente en casos sin línea de vista (NLOS) en banda de frecuencias debajo de los 11 GHz.

OFDM permite una alta eficiencia espectral, una fácil ecualización, una reducción del ISI e inmunidad frente a ruido impulsivo.

La principal ventaja de OFDM frente a sistemas de banda ancha de portadora única se encuentra en canales selectivos en frecuencia, donde la Interferencia entre Símbolos (ISI) limita considerablemente la tasa binaria.

La transmisión sin línea de vista ocurre cuando entre el receptor y el transmisor existen reflexiones o absorciones de la señal lo que resulta en una degradación de la señal recibida lo que se manifiesta por medio de los siguientes efectos: atenuación plana, atenuación selectiva en frecuencia o interferencia Inter.-símbolo todos estos efectos se controlan mediante OFDM.

En WiMAX los símbolos de OFDM están formados por 256 puntos FFT. WiMAX usa solo 200 subportadoras, de estas subportadoras se asignan 192 para datos y 8 como pilotos, las portadoras piloto utilizan modulación BPSK y los de datos utilizan modulaciones BPSK, QPSK, 16 QAM o 64 QAM.

La figura 2.5 muestra la amplitud de la componente real de un símbolo OFDM.

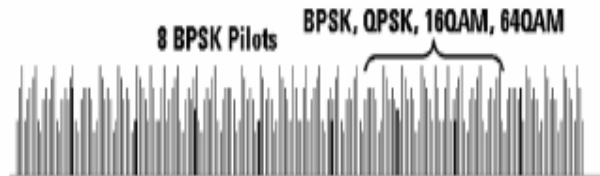


Figura 2.5: Subportadoras OFDM.

El propósito de la banda de guarda es permitir que la señal se deteriore naturalmente y crear una forma de pared a la FFT. Las subportadoras no están activas cuando se da una transmisión sub-canalizada por un SS.

La transmisión sub-canalizada en el enlace de subida es una opción para una SS y sólo se usará si la BS señala su capacidad para descifrar tales transmisiones.

2.1.4.2.3 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

La modulación en la capa física PHY está basada en OFDMA, en combinación con una capa MAC centralizada para la asignación optimizada de recursos y soporte de calidad de servicio (QoS). Los diferentes tipos de servicios (VoIP, servicios en tiempo real y no tiempo real, best effort) pueden definirse de forma individual al perfil del usuario. La capa física OFDMA PHY está igualmente adaptada a entornos de propagación sin línea de visión directa en la banda entre 2 y 22 GHz.

Este tipo de modulación es bastante robusta a las interferencias producidas por la dispersión de retardos debidos a las reflexiones generadas en ambientes de no línea de vista. Simultáneamente se emplea una modulación adaptativa, aplicada a

cada suscriptor de manera individual, de acuerdo con la capacidad de su canal específico.

OFDMA permite a múltiples usuarios transmitir en diferentes subportadoras por cada símbolo OFDM. Así, se asegura de 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).

La estructura de un símbolo OFDMA consiste de tres tipos de subportadoras:

- Subportadoras para transmisión de datos.
- Subportadora piloto para propósito de sincronización.
- Subportadora DC que no se utilizan para transmisión, son utilizados para reservar ancho de banda de portadoras DC.

En la figura 2.6 se muestra la estructura de una subportadora OFDMA

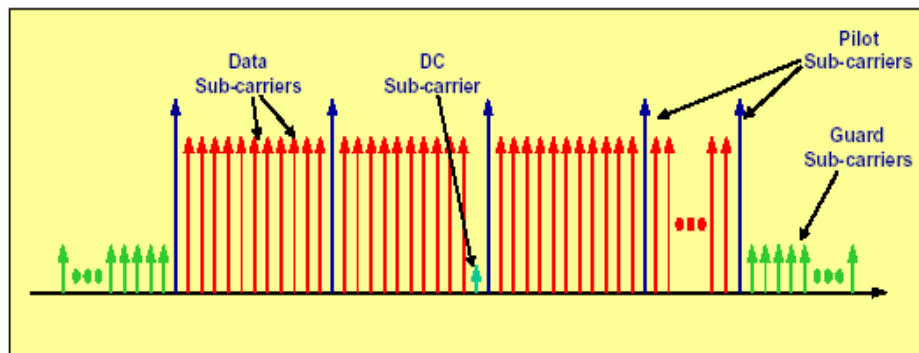


Figura 2.6: Subportadora OFDMA.

En OFDMA el espacio de portadoras está subdividido en grupos, los cuales no tienen por que tener la misma amplitud, modulación ni codificación, siendo estos

parámetros función del estado de enlace y del ancho de banda requerido por el usuario.

En la figura 2.7 se muestra subportadoras OFDM y OFDMA

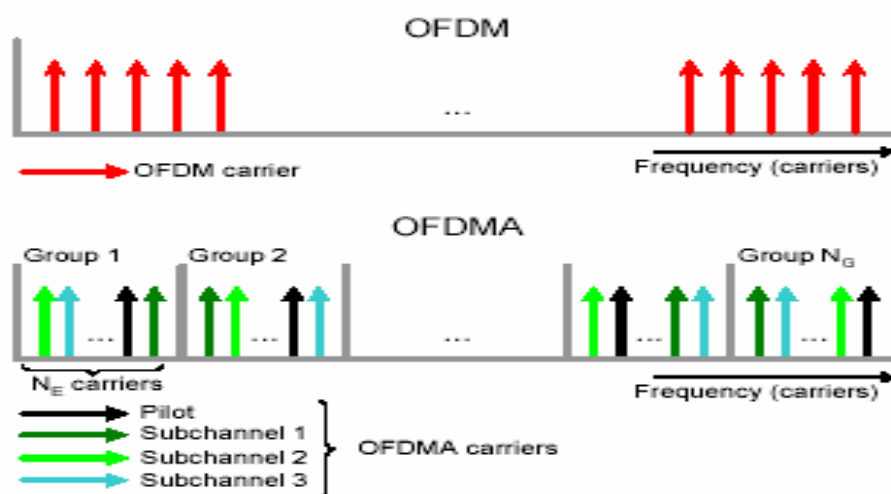


Figura 2.7: Subportadoras OFDM y OFDMA.

2.1.4.2.4 Duplexación por división de tiempo (TDD)

En el modo TDD el acceso múltiple se hace por división en código y en tiempo: existe una única portadora e intervalos temporales de transmisión, que se reparten entre distintos usuarios y, a su vez, entre los dos sentidos de transmisión (ascendente y descendente). El número de intervalos temporales asignados a cada uno de los sentidos del enlace es configurable.

En TDD el downlink y uplink se alternan ocupando un paquete compartido, con el subframe downlink precediendo al subframe uplink. El tamaño del paquete compartido debe ser constante, sin embargo el tamaño de los subframes uplink y downlink dentro del paquete compartido deben variar acorde a la localidad dirigida.

TDD multiplexa el uplink y el downlink en la misma portadora por sobre intervalos diferentes de tiempo dentro del mismo paquete MAC.

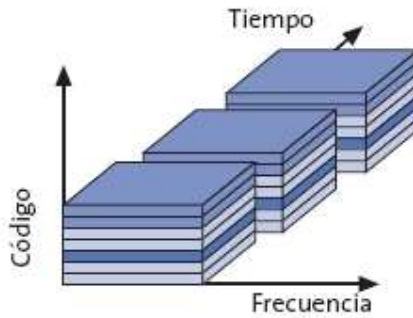


Figura 2.8: TDD

2.1.4.2.5 Duplexación por división de frecuencia (FDD)

En FDD el acceso múltiple se realiza por división en código y en frecuencia, utilizando dos portadoras distintas: una para el enlace ascendente y otra para el descendente.

El FDD segrega el uplink y el downlink en diferentes portadoras de frecuencia. Las BSs transmiten a la frecuencia de portadora de downlink mientras que las SSs transmiten a la frecuencia portadora de uplink.

Una SS en el sistema FDD debe ser capaz de operar por encima del burst downlink y uplink. Por otra parte dada una parametrización apropiada de un burst downlink, una SS debe también ser capaz de operación downlink continua.

Un frame burst de downlink no debe exceder la longitud de un subframe de downlink, pero es necesario que no llene enteramente el subframe downlink.

En sistemas FDD, los canales se dividen igualmente entre uplinks y downlinks. Éstos se acoplan en pares, cada uno de los cuales tiene la misma separación de frecuencia.

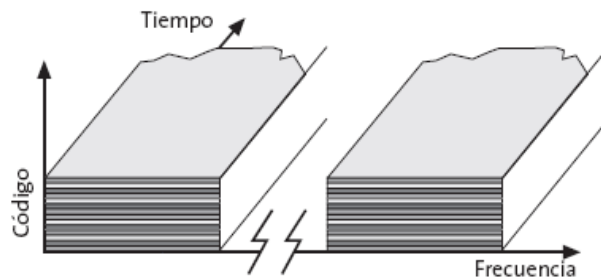


Figura 2.9: FDD.

Para bandas de frecuencia debajo de los 11 GHz la capa física es la "WirelessMAN-SCa". Esta capa utiliza TDMA para enlaces de subida, TDM o TDMA para enlaces de bajada. Para el uplink y el downlink utiliza un bloque de modulación adaptativa y codificación FEC.

OFDM se ha convertido en el factor determinante para tecnologías de banda ancha, especialmente en casos sin línea de vista (NLOS) en banda de frecuencias debajo de los 11 GHz.

OFDM permite una alta eficiencia espectral, una fácil ecualización, una reducción del ISI e inmunidad frente a ruido impulsivo.

La modulación en la capa física PHY está basada en OFDMA, en combinación con una capa MAC centralizada para la asignación optimizada de recursos y soporte de calidad de servicio (QoS). Los diferentes tipos de servicios (VoIP, servicios en tiempo real y no tiempo real, best effort) pueden definirse de forma individual al perfil del usuario. La capa física OFDMA PHY está igualmente adaptada a entornos de propagación sin línea de visión directa en la banda entre 2 y 22 GHz.

Este tipo de modulación es bastante robusta a las interferencias producidas por la dispersión de retardos debidos a las reflexiones generadas en ambientes de no línea de vista. Simultáneamente se emplea una modulación adaptativa, aplicada a cada suscriptor de manera individual, de acuerdo con la capacidad de su canal específico.

2.1.4.2.1 Características de la Capa Física [6]

Una de las características más relevantes de WiMAX es su capacidad en la capa física de adaptar el tipo de modulación a la característica de la conexión específica del enlace. Así para conexiones cercanas emplea QAM 64, consiguiendo una mayor velocidad y robustez frente a interferencias. En conexiones de mayor distancia puede seleccionar QAM 16 o QPSK, consiguiendo un mayor alcance a costa de una menor velocidad.

WiMAX debe de ser capaz de soportar un servicio de comunicación fiable sobre grandes distancias utilizando terminales de interior y tarjetas tipo PCMCIA²⁶ para PC. Estos requisitos han de cumplirse con una potencia de transmisión limitada, compatible con las limitaciones impuestas por los organismos de control sanitario y regulatorio. El empleo de “sub channeling” en los enlaces ascendentes (uplink), así como la utilización de antenas inteligentes en la estación base, consiguen superar las limitaciones impuestas a la potencia.

Las siguientes son algunas características de la Capa Física:

- 256 - FFT OFDM: Soporta direccionamiento multicamino en ambientes con y sin línea de vista (LOS y NLOS).
- Modulación adaptable y corrección codificada de error de variable por ráfaga de radiofrecuencia: Asegura un enlace robusto de radio frecuencia, a la vez que maximiza el número de bits por segundo para cada unidad de suscriptor.
- Soporta TDD, FDD duplex y también half - duplex FDD esto es, H - FDD: Se adapta a las diferentes regulatorias a nivel mundial.
- Flexible tamaño de canales (3.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz): Provee la flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencias con diferentes variantes y requerimientos del canal alrededor del mundo.

²⁶ PCMCIA: Personal Computer Memory Card International Association

- Diseño para soportar sistemas de antenas inteligentes: Las antenas inteligentes se están convirtiendo en soluciones beneficiosas y convenientes inclusive a nivel económico. Su capacidad de suprimir interferencia y de mejorar la ganancia del sistema son características que impactan el desarrollo de los sistemas de acceso inalámbricos.

En la tabla 2.2 se indica la capa física PHY

	SC	SC2	OFDM	OFDMA
Frecuencia	10 - 66 GHz	2 - 11 GHz	2 - 11 GHz	2 - 11 GHz
Modulación	QPSK 16 QAM 64 QAM	BPSK QPSK 16 QAM 64 QAM 256 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM
Número de subcarriers	Single carrier	Single carrier	256	2048
Duplexación	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD	TDD, FDD
Canal	28 MHz	1.75 - 20 MHz	1.75 - 20 MHz	1.75 - 20 MHz

Tabla 2.2: Capa Física (PHY).

2.1.4.2.2 Estructura de la Trama IEEE 802.16

Todas las tramas MAC del estándar IEEE 802.16, comienzan con un encabezado genérico. A este le sigue una carga útil y una suma de verificación (CRC) opcionales, como se ilustra en la figura 2.3. La carga útil no es necesaria en las tramas de control, por ejemplo, en las que solicitan ranuras de canal. La suma de verificación también es opcional, debido a la corrección de errores en la capa física y al hecho de que nunca se realizará un intento de retransmitir tramas en tiempo real. En las figuras 2.10 a y 2.10 b se indica la estructura de la trama del estándar 802.16

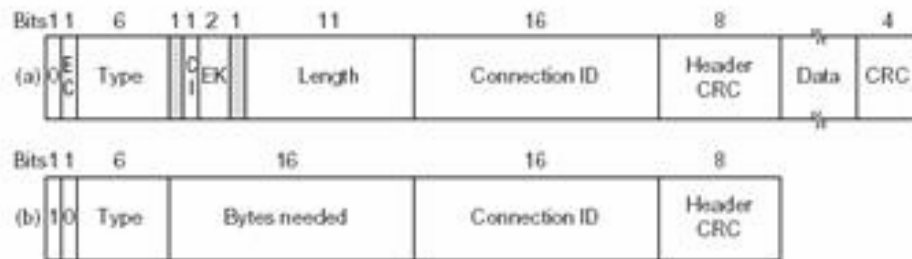


Figura 2.10: (a) Una trama genérica. (b) Una trama de solicitud de ancho de banda.

En la figura 2.10 (a) el bit EC indica si la carga útil está encriptada. El campo Tipo identifica el tipo de la trama e indica principalmente si hay empaquetamiento y fragmentación. El campo CI indica la presencia o ausencia de la suma de verificación final. El campo EK indica cuál de las claves de encriptación se está utilizando (si es que se está utilizando alguna). El campo Longitud proporciona la longitud exacta de la trama, incluyendo la del encabezado. El Identificador de conexión indica a cuál conexión pertenece esta trama. Por último, el campo CRC de encabezado es la suma de verificación sólo del encabezado, que utiliza el polinomio $x^8 + x^2 + x + 1$.

En la figura 2.10 (b) se muestra un segundo tipo de encabezado, para tramas que solicitan ancho de banda. Comienza con un bit 1 en lugar de uno 0 y es similar al encabezado genérico, excepto que el segundo y tercer bytes forman un número de 16 bits, lo que indica la cantidad de ancho de banda necesaria para transmitir

el número de bytes especificados. Las tramas de solicitud de ancho de banda no transmiten datos útiles o un CRC de la trama completa.

2.1.4.3 Capa De Control De Acceso Al Medio (MAC) [7]

Esta capa es la encargada de validar las tramas que se reciben, comprobando errores de transmisión y verificando el destinatario, es decir si está o no dirigida al propio elemento que las recibe (maestro o esclavo).

La capa de control de acceso al medio (MAC) es capaz de funcionar con diferentes especificaciones de capa física (PHY) optimizadas para diferentes bandas de frecuencia, además de ser orientada a conexión. Esta capa se divide en subcapas con servicios específicos hacia las capas superiores.

Estas subcapas son: La Subcapa de convergencia Específica de Servicio CS (Service Specific Convergente Sublayer CS), la Subcapa Común MAC CPS (MAC Common Part Sublayer) y Subcapa de Seguridad (Security Sublayer).

La primera tarea de la subcapa es la clasificación de unidades de datos de servicios (SDUs) hacia una conexión Mac apropiada, configurando QoS y asignación de ancho de banda.

La subcapa de convergencia de servicios específicos acepta los protocolos de Unidades de Datos (PDUs) de las capas superiores, ejecuta la clasificación de estos, entrega la PDU de servicio específico al punto de acceso al servicio.

Existen dos servicios específicos: el Modo de Transferencia Asíncrona (ATM) y los Paquetes CS.

Y la subcapa común MAC (CPS) provee un mecanismo de comparación eficiente para redes que utilicen medios compartidos, considera las topologías Punto - Multipunto y en Malla.

La Subcapa de Seguridad tiene la función de autenticación, encriptación e intercambio seguro de claves.

Para disminuir el overhead²⁷, múltiples SDUs (Service Data Unit) pueden concatenarse en un único PDU y múltiples PDUs en una única ráfaga (burst).

Figura 2.11 se muestra la estructura que tiene la capa MAC

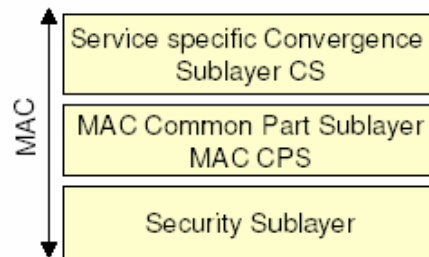


Figura 2.11: Capa Mac.

2.1.4.3.1 Características de la Capa MAC

- TDM / TDMA tramas programadas para enlaces de subida y bajada: Uso eficiente del ancho de banda.
- Orientado a Conexión: Calidad de Servicio (QoS) por conexión, envío y ruteo rápido de paquetes.
- La Calidad de Servicio soporta tasa de bit variable continua en tiempo real y en tiempo no real de mejor esfuerzo: Baja latencia para servicios que son sensibles al retardo (TDM Voz, VoIP), transporte óptimo para Tráfico con Tasa de Transmisión Variable (VBR²⁸) con soporte de prioridad de información.

²⁷ Overhead: Desperdicio de ancho de banda, causado por la información adicional (de control, de secuencia, etc.) que debe viajar además de los datos, en los paquetes de un medio de comunicación.

²⁸ VBR: Variable Bit Rate.

- Solicitud Automática de Transmisión (ARQ): Rendimiento mejorado de extremo a extremo ocultando errores inducidos en la capa de física a los protocolos de capas superiores.
- Soporte de Modulación Adaptable: Permite alcanzar altas tasas de información permitidas por las condiciones del canal, mejoran la capacidad del sistema.
- Seguridad y Encriptación (Triple DES²⁹): Protege la privacidad del usuario.
- Permite el desarrollo celular minimizando la propia interferencia ya que permite un control automático de potencia.

2.1.4.4 Calidad De Servicio (QoS)

Calidad de Servicio se refiere a la capacidad de una red para proporcionar prioridad incluyendo ancho de banda dedicado, estado latente (requerido por un cierto tráfico en tiempo real e interactivo) y las características mejoradas de pérdida.

Una red debe garantizar que puede ofrecer un cierto nivel de calidad de servicio para un nivel de tráfico que sigue un conjunto especificado de parámetros.

Los parámetros de calidad de servicio son: control de la velocidad de transmisión, específicamente la velocidad mínima, control de latencia, control de la variación del retardo (jitter) y control de pérdida de paquetes o tasa de bits errados.

WiMAX en su capa Mac tiene como filosofía la Petición / Asignación de ancho de banda, con distintas variantes (asignación por conexión, asignación por terminación de cliente CPE), pudiendo ser esta asignación vía polling en tiempo real, polling no en tiempo real o en régimen del mejor esfuerzo (best-effort).

²⁹ Triple DES: Estándar de cifrado de datos usado tres veces.

También existe la asignación de banda no solicitada, si el sistema entiende que es necesaria. Todos estos mecanismos ofrecen Calidad de Servicio y Clases de Servicio (CoS) garantizadas, en ancho de banda y latencia, para acomodar todo tipo de servicios y aplicaciones (vídeo, voz, emulación de líneas alquiladas de datos, etc.), sin merma de disponibilidad y con total garantía.

Otro aspecto de proveer Calidad de Servicio en WiMAX es la flexibilidad de la velocidad de transmisión del enlace. La fuerza de la señal entre la estación base y las estaciones del suscriptor afecta la velocidad de transmisión del enlace inalámbrico y la capacidad para utilizar varios esquemas de modulación dentro del esquema 256 OFDM.

WiMAX ofrece Calidad de Servicio ya que califica la operación sin línea de vista (NLOS) sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios, por las condiciones climáticas y el movimiento vehicular.

WiMAX puede soportar cuatro tipos principales de servicio:

Tiempo Concesión-Verdadero No Solicitado: servicio con retardo constante para voz y video en tiempo real.

Poleo en Tiempo Real: otro servicio en tiempo real donde la estación base censa a cada dispositivo de usuario a la vez.

Velocidad de Transmisión Variable en Tiempo No Real: servicio de datos con retardo variable con capacidad garantizada para usuarios comerciales de alta prioridad.

Velocidad de Transmisión Variable - Mejor Esfuerzo: como en IP el servicio de datos del mejor esfuerzo para usuarios residenciales del Internet.

2.1.4.4.1 Niveles de Servicio [5]

Uno de los aspectos más atractivos para los proveedores de servicio y los usuarios es la capacidad de WiMAX de proporcionar diferentes niveles de servicio. Por ejemplo, una estación base puede proporcionar hasta 75 Mbps (IEEE 802.16a). Con esta capacidad se puede comprometer diferentes niveles de servicio, como por ejemplo 1 Mbps garantizado para los clientes del segmento empresarial, así como 128 Kbps en modalidad “best effort” para los clientes del segmento residencial.

También es posible adaptar las estaciones base al tipo de demanda. En zonas rurales donde existe gran dispersión geográfica de los clientes, se puede utilizar modulación adaptativa que permite aumentar el alcance de la comunicación cuando es necesario, a costa de una reducción de la velocidad de transmisión.

Modulaciones de alto nivel (64 niveles en QAM) proporcionan una velocidad elevada en un alcance “cercano”, mientras que niveles de modulación bajos (16 niveles, en QAM), permiten un mayor alcance a costa de una reducción de velocidad de transmisión, todo dentro de la misma estación base.

El esquema de modulación se asigna dinámicamente en la estación base, dependiendo de la distancia al cliente, la meteorología, la interferencia existente con otras señales, así como otros factores transitorios. Esta flexibilidad permite a los proveedores de servicio adaptarse a las necesidades de las áreas de distribución específicas, haciendo que WiMAX sea rentable en una gran variedad de áreas geográficas.

WiMAX permite diferenciar calidad de servicio sobre latencia y tasa de errores. Esta capacidad permite adecuar dichos parámetros al tipo de transmisión. La mayoría de las comunicaciones pueden tolerar un nivel razonable de latencia, pero no admiten los errores de comunicación. Comunicaciones de tiempo real en audio y vídeo son, sin embargo, muy exigentes en cuanto a la latencia y más tolerantes en cuanto a errores. El poder diferenciar estos niveles de calidad de servicio permite manejar diversos servicios de comunicaciones de forma eficiente.

2.1.4.5 Seguridad [8]

WiMAX ha sido creado con una solución robusta en materia de seguridad. Proporciona un nivel de control de acceso al medio (MAC) que utiliza un mecanismo de concesión por demanda (grant-request) para autorizar el intercambio de datos, el mecanismo permite un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, la utilización de antenas de menor tamaño, así como el control individual del tráfico de cada usuario. Esto simplifica el soporte de servicios que requieran comunicaciones en tiempo real o aplicaciones de comunicaciones de voz.

La seguridad ha sido uno de los mayores problemas encontrados por los usuarios en las redes de área local inalámbricas. Las versiones iniciales disponían de mecanismos de seguridad poco elaborados y era relativamente sencillo que personas no autorizadas consiguieran el acceso a las redes. WiMAX propone una serie de características muy completas en materia de seguridad:

- Autenticación de usuario en base a protocolo EAP³⁰.
- Autenticación del terminal por intercambio de certificados digitales que impiden la conexión de terminales no autorizados.
- Cifrado de las comunicaciones utilizando algoritmos como el DES³¹ o el AES³², mucho más robustos que el Wireless Equivalent Privacy (WEP) utilizado inicialmente en las WLAN.

2.1.5 APLICACIONES Y BENEFICIOS DE WiMAX [1]

Las aplicaciones de WiMAX se centran en oportunidades que proporciona su ancho de banda y la distancia de cobertura.

³⁰ EAP: Extensible Authentication Protocol.

³¹ DES: Data Encryption Standard.

³² AES: Advanced Encryption Standard

Los primeros productos de WiMAX que salieron al mercado se diseñaron para enlaces punto - punto y punto - multipunto para la conexión de redes fijas ya existentes.

WiMAX se puede utilizar para unir hot spots Wi-Fi a las redes de los operadores sin necesidad de establecer un enlace fijo.

El acceso a la banda ancha está condicionado al alcance de las tecnologías de cable y ADSL. En algunas áreas el servicio no está disponible (especialmente en zonas rurales), es de una calidad baja o tiene un precio elevado. WiMAX permite ofrecer a los operadores una alternativa económica para estos entornos, permitiendo igualar los servicios que ofrece en las zonas de cobertura.

WiMAX es una opción para el establecimiento de radio enlaces punto a punto, permitiendo aprovechar la ventaja de disponer de un ancho de banda elevado y la posibilidad de funcionar sin visión directa. Es una solución para redes troncales de operadores o de hot-spots inalámbricos.

WiMAX es una opción muy ventajosa para el acceso a la banda ancha por parte de empresas en localizaciones con dificultades para acceder a las tecnologías de acceso convencionales. Además es una alternativa competitiva en costes en zonas urbanas, permitiendo ofrecer un mayor ancho de banda que la ADSL³³.

WiMAX puede ofrecer una solución de conectividad global para el conjunto de una empresa, permitiendo tener conectividad en toda la planta. Así, con una o varias estaciones base, es posible evitar complicados cableados y evitar las restricciones de cobertura de la tecnología Wi-Fi.

Esta tecnología permite ofrecer por parte de los operadores de telecomunicaciones, una tecnología complementaria de acceso, que les permite ampliar la cobertura de sus sistemas a un coste muy reducido. Las características de WiMAX permiten ofrecer servicios adecuados a particulares y empresas.

³³ ADSL: Línea de Abonado Digital Asimétrica.

Además, es posible utilizar los sistemas WiMAX para establecer la conexión troncal de sistemas de acceso de esta tecnología u otras.

WiMAX ofrece más beneficios además de la comodidad y la velocidad esta tecnología busca romper las barreras físicas y de costos, permitiendo llevar Internet hasta aquellos lugares que no la tienen.

Todo sin complicaciones de cableado, sin altos costos de implementación y con un gran ancho de banda.

Quienes ya tienen Internet, con WiMAX tendrán una nueva forma de vida, más simple y cómoda.

Complementándose además con las redes inalámbricas Wi-Fi, que día a día ganan más terreno en las empresas y lugares públicos, que cada día tienen más equipos disponibles, haciendo bajar los precios, satisfaciendo las necesidades de todos en compañías y hogares como se muestra en la figura 2.12.



Figura 2.12: entornos de aplicación WIMAX.

Contando con el respaldo de grandes compañías como Intel, quien sostiene que el auge de WiMAX será tan grande como el que se ha visto globalmente con Wi-Fi.

Menor costo y mayor eficiencia; pues instalar las bases fijas y las antenas cuesta mucho menos de lo que se requiere para brindar el mismo servicio y la misma cobertura usando la vieja tecnología de los cables.

Permite enlazar usuarios de empresas y residencias en zonas urbanas y suburbanas donde es difícil el acceso a redes xDSL (ADSL, cable, RDSI³⁴) tradicionales.

Es una solución al problema de la exclusión digital, particularmente de Internet de alta velocidad, en zonas de baja densidad de población.

Su instalación es mucho más barata que la del UMTS: una estación base es capaz de dar servicio a 200 conexiones equivalentes a las actuales ADSL

2.2 Wi-Fi

2.2.1 INTRODUCCION [9]

Wi-Fi (Wireless Fidelity), es una marca registrada por la Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11. Wi-Fi se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, pero es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet.

Los estándares IEEE 802.11b e IEEE 802.11g, disfrutaron de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente, con una velocidad de hasta 11 Mbps y 54 Mbps, respectivamente. Existe también el estándar IEEE 802.11n que trabaja a 2.4 GHz a una velocidad de 108 Mbps, aunque estas velocidades de 108 Mbps son

³⁴ RDSI: Red Digital de Servicios Integrados

capaces de alcanzarse ya con el estándar 802.11g gracias a técnicas de aceleramiento que consiguen duplicar la transferencia teórica. Actualmente existen ciertos dispositivos que permiten utilizar esta tecnología, denominados *Pre-n*, sin embargo, no son del todo seguros ya que el estándar no está completamente revisado y aprobado.

2.2.2 WECA [10]

La WECA tiene como misión certificar la interoperatividad y compatibilidad entre diferentes fabricantes de productos inalámbricos bajo los estándares IEEE 802.11.

La WECA fue fundada por 3Com, Cisco, Intersil, Agere, Nokia y Symbol en Agosto de 1999, con el compromiso de impulsar el desarrollo a nivel mundial de la tecnología de área local inalámbrica (WLAN) bajo los estándares IEEE 802.11. La lista de miembros se ha incrementado hasta los 250 y desde entonces, Intermec, Microsoft e Intel han formado parte del comité de dirección de WECA.

WECA establece un procedimiento de certificación para garantizar la interoperatividad de los dispositivos entre fabricantes, en la actualidad se ha certificado la interoperabilidad de más de 2800 productos. Aquellos dispositivos con el logo Wi-Fi gozan de esa garantía de interoperatividad.

2.2.3 ESTANDARES IEEE 802.11

2.2.3.1 IEEE 802.11-1999 [11]

Este estándar es una revisión del estándar IEEE 802.11-1997, el alcance de este es el desarrollo del control de acceso al medio (MAC) y la especificación de la capa física (PHY) para conectividad inalámbrica de estaciones fijas, portables y móviles dentro de un área local.

2.2.3.2 IEEE 802.11b

Dispone de un nivel físico que opera en la banda de los 2.4 GHz, proporciona velocidades de datos de 5.5 y 11 Mbps, utiliza modulación de espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS³⁵). El mayor caudal disponible por usuario es aproximadamente la mitad de ese valor, puesto que la capacidad se comparte entre todos los usuarios que utilizan un mismo canal de radio, cuya tasa de transferencia decrece proporcionalmente según aumenta la distancia entre el usuario y el punto de acceso.

2.2.3.3 IEEE 802.11a

Este estándar funciona en la banda de 5 GHz, teóricamente funciona hasta 54 Mbps utilizando modulación OFDM, también conocido como modulación multiportadora. Las velocidades de retransmisión posibles son 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps.

2.2.3.4 IEEE 802.11g

Es una extensión de IEEE 802.11b a mayor velocidad, combina varias técnicas de codificación del medio físico utilizadas en IEEE 802.11a y IEEE 802.11b. Trabaja en la banda de 2.4 GHz pero permite una transferencia de datos teórica de 54 Mbps. Utiliza la multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM), pero para mantener compatibilidad hacia atrás, también puede operar con dispositivos 802.11b de uso más frecuente, mediante soporte de clave por código complementario (CCK³⁶) y la modulación de codificación por convolución binaria de paquetes (PBCC³⁷).

En temas de seguridad, este estándar propone un protocolo de seguridad denominado WPA³⁸.

³⁵ DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum.

³⁶ CCK: Complementary Code Keying.

³⁷ PBCC: Paquet Binary Convolutional Coding.

³⁸ WPA: Wi-Fi Protected Access.

2.2.3.5 IEEE 802.11d

El estándar IEEE 802.11 no puede utilizarse legalmente en algunos países, sin embargo, IEEE 802.11d añade funcionalidades y restricciones extra que permitan a las redes inalámbricas funcionar dentro de las normativas de algunos territorios extranjeros.

Es un suplemento al nivel de control de acceso de medios (MAC) del estándar IEEE 802.11 para favorecer el uso global de las redes de área local inalámbricas. Su objetivo principal es el de dotar a los puntos de acceso de la capacidad de llevar información por los canales de radio disponibles, con el nivel de energía suficiente, desde el dispositivo del usuario, para mantener buena calidad de señal, pero al mismo tiempo manteniendo el consumo lo más bajo posible.

2.2.3.6 IEEE 802.11e

Define mecanismos que proporcionan calidad de servicio en el nivel MAC, para las aplicaciones de WLAN. Se ofrece esto para servicios con niveles de calidad de servicio (QoS) gestionados en aplicaciones de voz, datos y video.

2.2.3.7 IEEE 802.11f

Su objetivo es conseguir la interoperabilidad entre distintos fabricantes y proveedores de redes de área local inalámbricas WLAN. Determina el registro de un punto de acceso en una red. También cubre el intercambio de información de un punto de acceso a otro cuando un usuario migra de una celda a otra (como en la telefonía celular).

2.2.3.8 IEEE 802.11h

IEEE 802.11h, intenta satisfacer a la regulación europea del espectro para la transmisión en la banda de los 5 GHz. Estos productos deberán tener control de

potencia de transmisión (TPC³⁹), así como selección dinámica de frecuencia (DFS⁴⁰).

TPC restringe la potencia de transmisión al menor valor necesario para alcanzar al usuario más lejano. Entonces DFS escoge el canal de radio en el punto de acceso para reducir la interferencia con otros sistemas de la red que estén funcionando en la misma franja del espectro.

2.2.3.9 IEEE 802.11i

Su objetivo es la mejora de la seguridad del nivel MAC y se puede aplicar como alternativa a las aplicaciones WEP. Especifica una parte de las medidas de seguridad que deberían tener las instalaciones.

En la tabla 2.3 se realiza una comparación entre los principales estándares de la IEEE 802.11

Característica	Definición	802.11b	802.11g	802.11a
Canales RF disponibles	Cantidad de enlaces de comunicación	3 sin superposición	3 sin superposición	8 o más que no se solapan (varía según el país)
Máxima velocidad de datos por canal	Desempeño máximo por canal RF	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Banda de frecuencia	Intervalo de frecuencia de difusión	2,4 GHz	2,4 GHz	5 GHz
Intervalo habitual	Distancia que recorren los datos a dicha velocidad	100 pies a 11 Mbps 300 pies a 1 Mbps	50 pies a 54 Mbps 150 pies a 11 Mbps	40 pies a 54 Mbps 300 pies a 6 Mbps

Tabla 2.3: Comparación de estándares inalámbricos IEEE 802.11.

³⁹ TCP: Transmission Power Control.

⁴⁰ DFS: Dynamic Frequency Selection.

2.2.4 CARACTERISTICAS TECNICAS

2.2.4.1 Definiciones Básicas Del Estándar IEEE 802.11

2.2.4.1.1 Área Básica de Servicio (BSA⁴¹)

Área conceptual en la cual miembros de un conjunto básico de servicios (BSS) pueden comunicarse.

2.2.4.1.2 Conjunto Extendido de Servicios (ESS⁴²)

Conjunto de uno o más conjuntos básicos de servicio (BSS) interconectados y redes de área local (LAN) integradas que aparece como un único conjunto básico de servicios (BSS) en la capa LLC de cualquier estación asociada con uno de tales BSS.

2.2.4.1.3 Conjunto Independiente de Servicios Básicos (IBSS⁴³)

Un conjunto básico de servicios que forma una red independiente y en la cual no está disponible un sistema de distribución (DS).

2.2.4.1.4 Conjunto Básico de Servicios (BSS⁴⁴)

Conjunto de estaciones controladas por una sola función de coordinación.

2.2.4.1.5 Estación

Cualquier dispositivo que contenga capas físicas y de control de acceso al medio (MAC) compatibles con el estándar IEEE 802.11.

⁴¹ BSA: Basic Service Area.

⁴² ESS: Extended Service Set.

⁴³ IBSS: Independent Basic Service Set.

⁴⁴ BSS: Basic Service Set.

2.2.4.1.6 Función de Coordinación

Función lógica que determina cuándo una estación funcionando dentro de un conjunto básico de servicios (BSS) tiene permiso para transmitir y puede recibir PDU.

2.2.4.1.7 Infraestructura

La infraestructura incluye el medio de sistema de distribución (DSM), punto de acceso (AP) y entidades de portal. También es la situación lógica de distribución y funciones de servicio de integración de un conjunto de servicios extendidos (ESS). Una infraestructura contiene uno o más puntos de acceso y cero o más portales además del sistema de distribución (DS).

2.2.4.1.8 Medio del Sistema de Distribución (DSM⁴⁵)

El medio o conjunto de medios usados por el sistema de distribución (DS) para la comunicación entre puntos de acceso y portales en un conjunto de servicios extendido (BSS).

2.2.4.1.9 Portal

Punto lógico en el cual el control de acceso al medio (MAC), entrega unidades de datos (MSDU) desde una red de área local (LAN) que no es IEEE 802.11 entrando al sistema de distribución (DS) en un conjunto extendido de servicios (ESS).

2.2.4.1.10 Privacidad Equivalente al Cableado (WEP)

Algoritmo de confidencialidad criptográfico optativo, especificado por el estándar IEEE 802.11. Proporciona confidencialidad de datos que es subjetivamente equivalente a la confidencialidad en la red de área local cableada (LAN), medio que no emplea las técnicas criptográficas para reforzar la privacidad.

⁴⁵ DSM: Distribution System Medium.

2.2.4.1.11 Punto de Acceso (AP⁴⁶)

Cualquier entidad que tenga la funcionalidad de una estación y proporcione acceso al sistema de distribución a través del medio inalámbrico a las estaciones asociadas.

2.2.4.1.12 Red Ad Hoc

Red compuesta solamente por estaciones dentro de un rango de comunicación mutuo, es creada de manera espontánea, la principal característica que la distingue es su tiempo limitado y espacio de cobertura. El termino *ad hoc* es también usado para referirse a un conjunto independiente de servicios básicos (IBSS).

2.2.4.1.13 Sistema de Distribución (DS⁴⁷)

Sistema utilizado para interconectar varios conjuntos básicos de servicios (BSS) y redes de área local para crear un ESS.

2.2.4.1.14 Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU⁴⁸)

Unidad de datos intercambiada entre entidades MAC paritarias usando los servicios de la capa física.

2.2.4.1.15 Unidad de Datos del Servicio MAC (MSDU⁴⁹)

Información entregada como una unidad entre usuarios MAC.

2.2.4.2 Arquitectura Del Estándar IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11, cumple con la arquitectura IEEE 802 establecida para redes LAN, en la cual la capa enlace se divide en las subcapas LLC y MAC. El

⁴⁶ AP: Access Point.

⁴⁷ DS: Distribution System.

⁴⁸ MPDU: Medium Access Control Protocol Data Unit.

⁴⁹ MSDU: Medium Access Control Service Data Unit.

estándar IEEE 802.11 define las especificaciones de la capa física y de la subcapa MAC, utilizando la subcapa definida en el estándar IEEE 802.2.

En el estándar IEEE 802.11, la subcapa MAC determina la forma en que se asigna el canal, arriba de dicha subcapa se encuentra la subcapa LLC, cuyo trabajo es ocultar las diferencias entre las variantes de 802 con el propósito de que sean imperceptibles para la capa de red.

El componente fundamental de una red LAN inalámbrica es un conjunto básico de servicios (BSS), consiste en un número de estaciones ejecutando el mismo protocolo MAC y compitiendo por el acceso al mismo medio inalámbrico como se muestra en la figura 2.13

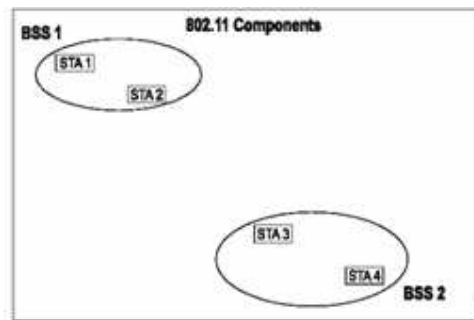


Figura 2.13: Conjunto Básico de Servicios (BSS).

Un BSS puede funcionar aisladamente o puede estar conectado a un sistema troncal de distribución (DS) a través de un punto de un punto de acceso (AP⁵⁰) que efectúa la función de puente. El protocolo MAC puede ser completamente distribuido o bien estar controlado por una función central de coordinación ubicada en el punto de acceso.

En la figura 2.14 se indica un sistema de distribución controlado por un función central.

⁵⁰ AP: Access Point.

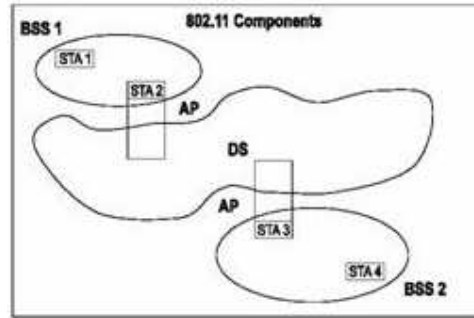


Figura 2.14: Sistema de distribución (DS) y Puntos de Acceso (AP).

Un conjunto extendido de servicios (ESS), consiste en dos o más conjuntos básicos de servicios (BSS) interconectados mediante un sistema de distribución, este último es por lo general una red LAN cableada troncal, aunque puede ser cualquier red de comunicaciones. Este conjunto extendido de servicios aparece a nivel de control de enlace lógico (LLC) como una única red de área local lógica como se muestra en la figura 2.15.

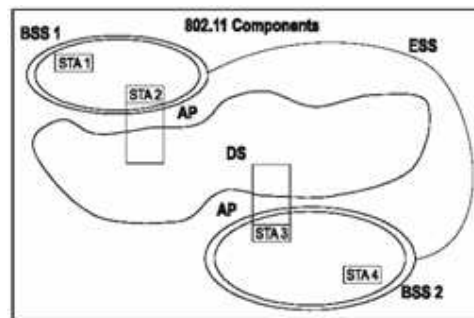


Figura 2.15: Conjunto Extendido de Servicios (ESS).

En las figuras 2.16 y 2.17 se indica La integración de una arquitectura IEEE 802.11 con una red LAN cableada tradicional se realiza a través de un portal.

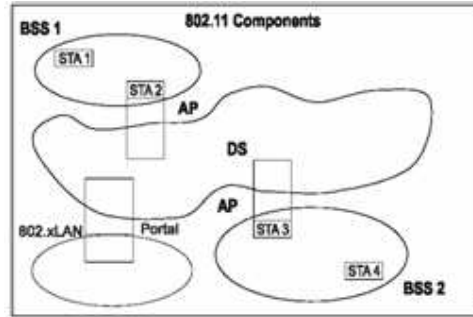


Figura 2.16: Conexión con otra red LAN 802.

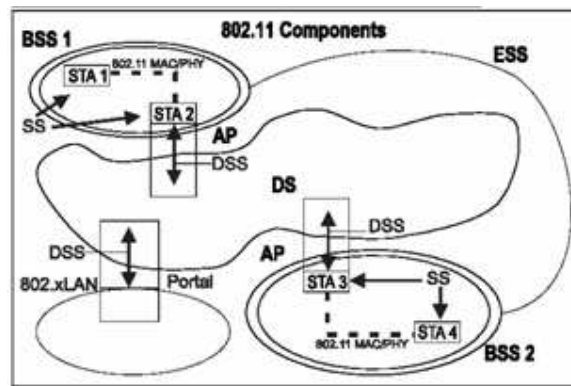


Figura 2.17: Arquitectura completa del estándar IEEE 802.11.

2.2.4.3 Topología Del Estándar IEEE 802.11 [12]

En cuanto a la topología de red, se dispone de dos métodos de funcionamiento:

2.2.4.3.1 Modo Infraestructura

En esta configuración el Punto de Acceso es el elemento centralizado encargado de canalizar las comunicaciones desde y hacia una red cableada, así como de controlar los accesos de los diferentes dispositivos. El Punto de Acceso físicamente esta conectado una red cableada.

La limitación, en cuanto al número máximo de clientes inalámbricos esta dada por las limitaciones del canal, pues este es compartido, así la versión g comparte 54 Mbps entre el número de clientes.

En la figura 2.18 se muestra el modo de infraestructura que puede ser utilizado en redes inalámbricas

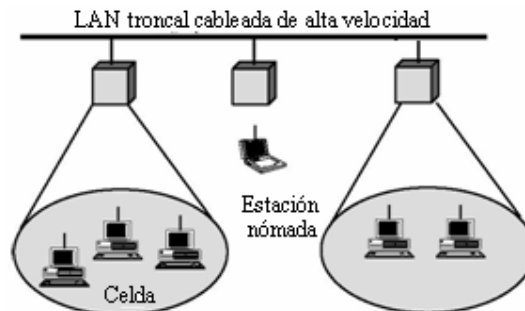


Figura 2.18: Modo Infraestructura.

Un Punto de Acceso proporciona alcances limitados, con distancias entre 20 y 100 m., en exterior los alcances son muy superiores pudiéndose alcanzar distancias entre los 200 m y 50 Km. dependiendo del tipo de antenas utilizadas.

Se puede conseguir mayor cobertura utilizando diversos puntos de acceso, interconectados entre sí y donde cada uno de ellos nos proporciona una celda de cobertura. Solapando celdas conseguimos aumentar la cobertura.

Entre diversas celdas es posible disponer de una capacidad de "hand over", de esta forma un terminal puede moverse de una célula a otra sin perder la conexión, consiguiéndose el efecto de una cobertura celular.

El estándar IEEE 802.11b dispone de tres frecuencias distintas a la hora de realizar este solapamiento de las celdas. Las frecuencias son reutilizadas en otras celdas, siempre que no se produzcan interferencias. Esta limitación a un máximo de tres frecuencias tiene como consecuencia que este tipo de infraestructuras se aplique en coberturas dentro de edificios, siendo más compleja su utilización en

exteriores, donde las interferencias entre células con la misma frecuencia pueden ser más probables.

La figura 2.19 indica las bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas.

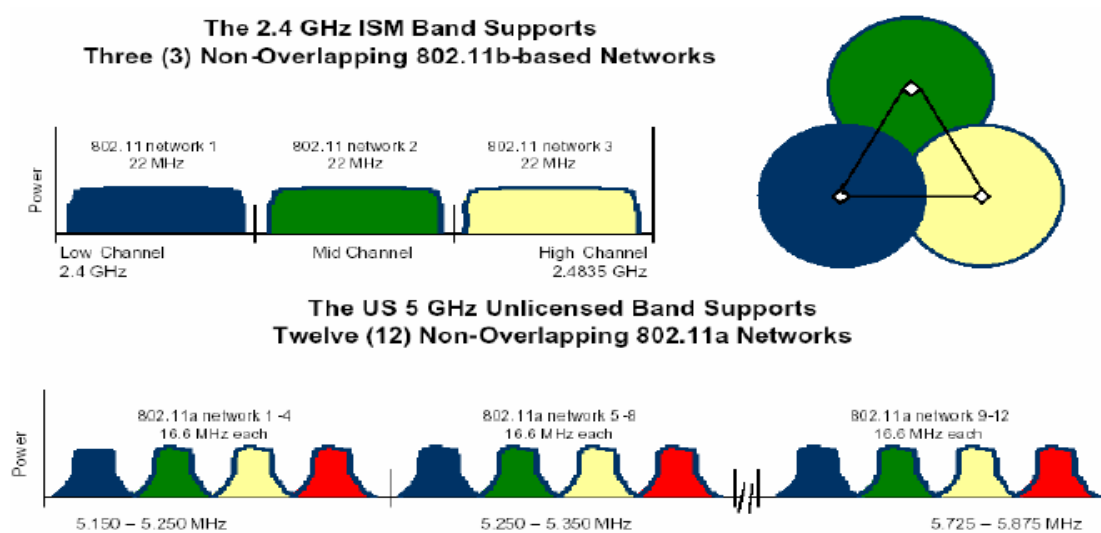


Figura 2.19: Canales disponibles en las bandas de 2.4 y 5 GHz.

2.2.4.3.2 Modo Ad Hoc

En este modo de funcionamiento, los dispositivos interactúan unos con otros, permitiéndose una comunicación directa entre dispositivos sin la utilización de un punto de acceso ni otro dispositivo central que canalice las comunicaciones lo cual se indica en la figura 2.20.

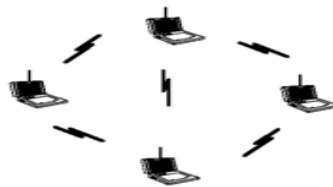


Figura 2.20: Modo Ad Hoc

Es una alternativa sencilla a la construcción de redes de área local inalámbricas (WLAN) económicas y que por su topología no dependen de ningún elemento central para su funcionamiento. La red puede ir creciendo a medida que se incorporan nuevos elementos, dentro del mismo espacio de cobertura y con la misma identificación de red.

2.2.4.3.3 Otras Topologías

La tecnología Wi-Fi permite la conexión entre segmentos de red remotos, estos segmentos pueden pertenecer a edificios diferentes. Para conseguir estas conexiones se utilizan los denominados Puentes Inalámbricos (Wireless Bridges". Estos dispositivos pueden ser utilizados en configuraciones punto a punto así como punto multipunto, consiguiéndose alcances de pocos kilómetros mediante antenas direccionales, en campo abierto y con línea de vista.

2.2.4.4 Servicios Del Estándar IEEE 802.11 [13]

El estándar IEEE 802.11, proporciona Servicios de Distribución y Servicios de estación. Los servicios de distribución se relacionan con la administración de membresías dentro de la celda y con la interacción con estaciones que están fuera de la celda. En contraste, los servicios de estación se relacionan con la actividad dentro de una sola celda.

Los servicios de distribución son proporcionados por las estaciones base y tienen que ver con la movilidad de las estaciones conforme entran y salen de las celdas, conectándose ellos mismos a las estaciones base y separándose ellos mismos de dichas estaciones. IEEE 802.11 define servicios como:

2.2.4.4.1 Asociación

Servicio utilizado por estaciones móviles para conectarse a las estaciones base. La estación base puede aceptar o rechazar a la estación móvil. Si se acepta, dicha estación debe autenticarse.

2.2.4.4.2 Disociación

La estación o una estación base puede disociarse, así se utiliza este servicio antes de apagarse o salir.

2.2.4.4.3 Reasociación

Una estación podría cambiar su estación base mediante este servicio, útil para estaciones móviles que se mueven de una celda a otra. Utilizado correctamente, no se perderán datos como consecuencia del cambio de estación base (*handover*).

2.2.4.4.4 Distribución

Este servicio determina cómo enrutar tramas enviadas a la estación base. Si el destino es local para la estación base, las tramas pueden enviarse directamente a través del aire, caso contrario, tendrán que reenviarse a través de la red cableada.

2.2.4.4.5 Integración

Este servicio maneja la traducción de la trama de una red IEEE 802.11 a otro tipo de direccionamiento o formato.

2.2.4.4.6 Autenticación

Una estación debe autenticarse antes de que se le permita enviar datos. La estación base asocia una estación móvil y envía una trama especial para comprobar si la estación móvil sabe la clave secreta (contraseña) que se le ha asignado, la estación móvil codifica la trama de desafío y la regresa a la estación base. Si el resultado es correcto, la estación móvil se vuelve miembro de la celda.

2.2.4.4.7 Desautenticación

Cuando una estación previamente autenticada desea abandonar la red se

desautentica.

2.2.4.4.8 Privacidad

La información que se enviará por la red inalámbrica se codifica para mantener la confidencialidad, así este servicio utiliza el algoritmo de codificación RC4.

IEEE 802.11, especifica opcionalmente un algoritmo de privacidad WEP, el cual ha sido diseñado para obtener la privacidad equivalente a la red LAN cableada.

2.2.4.5 Capa Física

Las técnicas de transmisión posibles permiten el envío de una trama MAC de una estación a otra, pero estas difieren en la tecnología y en las velocidades alcanzables.

El estándar IEEE 802.11 de 1997 especifica tres técnicas de transmisión permitidas en la capa física, como es el método de infrarrojos y otras dos técnicas conocidas como Espectro Expandido por Salto de frecuencia (FHSS) y Espectro Expandido de Secuencia Directa (DSSS). Estas utilizan parte del espectro que no requiere licencia (banda de 2.4 GHz). En 1999 se introdujo una técnica para aumentar el ancho de banda como lo es la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), que funciona hasta 54 Mbps.

2.2.4.5.1 Infrarrojos

Utiliza transmisión difusa a 0.85 o 0.95 micras, permite velocidades de transmisión de 1 y 2 Mbps.

Las señales de infrarrojos no pueden penetrar paredes, suelos o techos por lo que están restringidos a operar dentro de una misma habitación lo que dificulta enormemente construir soluciones prácticas para la implementación de redes WLAN corporativas y si se considera su bajo ancho de banda, converge en una opción no muy utilizada.

2.2.4.5.2 Espectro Expandido De Secuencia Directa (DSSS)

Este tipo de modulación permite el uso de siete canales, cada uno con velocidades de 1 Mbps o 2 Mbps. Cada canal tiene un ancho de banda de 5 MHz, el esquema de codificación utilizado es DBPSK para velocidades de 1 Mbps y DQPSK para 2 Mbps.

DSSS añade un patrón de bits redundante a cada bit que se transfiere. Los bits interceptados se denominan chips o código de chip. Incluyendo el código de chip, un receptor es capaz de llevar a cabo una serie de rutinas de recuperación de datos sobre las señales, basadas en técnicas de análisis estadístico. Al utilizar un mayor número de bits en el código de chip, se obtiene una señal que es menos probable que se vea afectada de forma negativa por las interferencias. Debido a que se incrementa la cantidad de información a transmitir, DSSS requiere un mayor ancho de banda para operar, utilizando regularmente tres frecuencias no solapadas para comunicarse.

2.2.4.5.3 Espectro Expandido Por Salto De Frecuencia (FHSS)

Esta modulación utiliza varios canales, en donde la señal salta de un canal a otro de acuerdo con una secuencia pseudoaleatoria, esto permite mitigar con éxito los efectos de las interferencias. El estándar IEEE 802.11 utiliza canales de 1 MHz y el número de canales disponibles es de 79. El tiempo de permanencia en cada frecuencia es un parámetro ajustable pero debe ser menor a 400 ms. Este esquema proporciona algo de seguridad pues un intruso que no sepa la secuencia de saltos o el tiempo de permanencia no podrá intervenir las transmisiones. Cada transductor está programado con un código de salto que define el orden y el rango de las frecuencias utilizadas. Para una comunicación apropiada, cada dispositivo debe estar configurado con el mismo código de salto, para garantizar que las señales se envíen y se reciban en el momento correcto y a la frecuencia adecuada

2.2.4.5.4 Multiplexación Por División De Frecuencias Ortogonales (OFDM)

Utiliza frecuencias diferentes, 52 en total, 48 para datos y 4 para sincronización, debido a que las transmisiones están presentes en múltiples frecuencias al mismo tiempo, esta técnica se considera como una forma de espectro disperso. Utiliza un sistema de codificación complejo, con base en la modulación por desplazamiento de fase para velocidades de hasta 18 Mbps y en QAM para velocidades mayores.

2.2.4.6 Estructura De La Trama IEEE 802.11 [13]

El estándar define tres clases de tramas: de datos, control y de administración. Cada una de ellas tiene un encabezado con una variedad de campos dentro de la subcapa MAC.

En la figura 2.21 se indica la estructura de la trama 802.11.

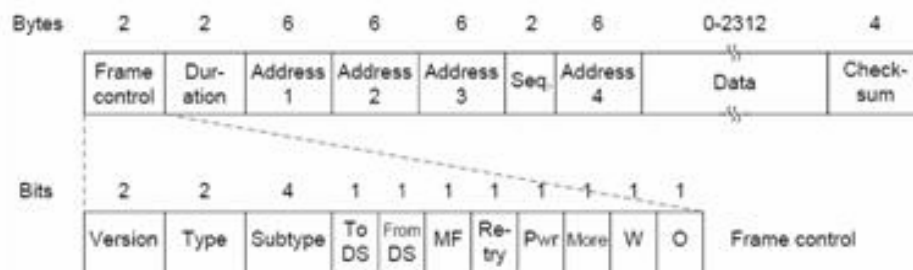


Figura 2.21: trama IEEE 802.11.

Primero está el campo de Control de Trama, este tiene 11 subcampos. El primero es la Versión de Protocolo, que permite que dos versiones del protocolo funcionen al mismo tiempo en la misma celda. Después están los campos de Tipo (de datos, control o de administración) y de Subtipo (por ejemplo, RTS o CTS). Los bits A DS y De DS indican que la trama va hacia o viene del sistema de distribución entre celdas. El bit MF indica que siguen más fragmentos. El bit rate marca una retransmisión de una trama que se envió anteriormente. El bit de Administración de Energía es utilizado por la estación base para poner al receptor en estado de hibernación o sacarlo de tal estado. El bit Más (More) indica que el emisor tiene

tramas adicionales para el receptor, El bit W especifica que el cuerpo de la trama se ha codificado utilizando el algoritmo WEP. Por último, el bit O indica al receptor que una secuencia de tramas que tenga este bit encendido debe procesarse en orden estricto.

El segundo campo de la trama de datos, el de Duración, indica cuánto tiempo ocuparán el canal la trama y su confirmación de recepción, este campo también está presente en las tramas de control y es la forma mediante la cual otras estaciones manejan el mecanismo NAV. El encabezado de trama contiene cuatro direcciones, todas en formato estándar IEEE 802., estas son origen, destino y otras dos direcciones que se utilizan para las estaciones base de origen y destino para el tráfico entre celdas (las tramas podrían entrar o dejar una celda a través de una estación base).

El campo de Secuencia permite que se numeren los fragmentos. De los 16 bits disponibles, 12 identifican la trama y 4 el fragmento. El campo de Datos contiene la carga útil, hasta 2312 bytes, y le sigue el campo común de Suma de Verificación.

Las tramas de administración tienen un formato similar al de las tramas de datos, excepto que no tienen una de las direcciones de la estación base, debido a que las tramas de administración se restringen a una sola celda. Las tramas de control son más cortas, tienen una o dos direcciones y no tienen ni campo de Datos ni de Secuencia. La información clave aquí se encuentra en el campo de Subtipo, que por lo general es RTS, CTS o ACK.

2.2.4.7 Bandas de Frecuencias [14]

Wi-Fi ocupa la Banda de frecuencias IMS (Industry, Scientific and Medical) considerada como de uso libre, es decir que, en general, no requiere licencia específica para su utilización. Esta banda de frecuencia ha sido normada por la ITU-R⁵¹ y el estándar IEEE 802.11b en su capa física, tanto DSS como FHSS se

⁵¹ Unión Internacional de Telecomunicaciones.

diseño para operar en la banda de 2.4 GHz. Esta parte del espectro está asignada de forma distinta en cada sitio del mundo.

En la siguiente tabla 2.4 se muestra las diferentes bandas de frecuencia que pueden utilizar Wi-Fi

Banda	Alcance De Frecuencia (GHz)	Ancho De Banda	Número De Canales	Uso Típico
2.4 GHz	2.4 — 2.4835	83.5 MHz	11 (3 Sin Sobre-Posición) (3 sin sobre- posición)	Redes LANs Inalámbricas, Teléfonos Sin Hilos, Bluetooth, etc.
UNII ¹ — Banda 1	5.15 — 5.25	100 MHz	8 (Sin Sobre-Posición En 200 MHz)	Redes LANs Inalámbricas Internas
UNII ¹ — Banda 2	5.25 — 5.35	100 MHz		Puentes Y Redes LANs Inalámbricas Externas Y De Internas
UNII ¹ — Banda 3	5.725 — 5.825	100 MHz	4 (Sin Sobre-Posición)	Puentes Inalámbricos Externos De Larga Distancia

¹UNII Es Una Infraestructura De Información Nacional Sin Licencia

Tabla 2.4: bandas de frecuencia utilizadas por Wi-Fi.

En cuanto a la banda de 5 GHz en Europa, la Conferencia Europea de Administración de Postales y de Telecomunicación (CEPT) asignó en 1999 las bandas A y B para uso de las redes WLAN, limitando el uso en la banda A, que se comparte con el Servicio Fijo por Satélite al interior de edificios. Asimismo, estableció el uso de mecanismos de selección dinámica de frecuencia (DFS) y de mecanismos de control de potencia transmitida (TCP). La CEPT asignó la banda de 5725-5875 para aplicaciones industriales, científicas y médicas como ocurre con la banda de 2.5 GHz.

En la figura 2.22 se muestra las frecuencias que se encuentran en banda licenciada y no licenciada.



Figura 2.22: Distribución de bandas ISM

2.2.4.8 Seguridad En Wi-Fi [15]

Debido a que las WLAN utilizan el aire como un medio para enviar y recibir información, la seguridad de la transmisión es importante para la seguridad de todo el sistema, pues sin una protección adecuada para la confidencialidad y la integridad de la información a medida que está viajando entre estaciones de trabajo y puntos de acceso, no puede existir una confianza plena en que la información no haya sido comprometida o reemplazada por un intruso. Entre los mecanismos utilizados en seguridad por Wi-Fi tenemos:

2.2.4.8.1 Dirección MAC

Algunos puntos de acceso, permiten que las direcciones MAC de estaciones de trabajo autorizadas sean utilizadas para propósitos de autenticación, así el punto de acceso permite solamente la comunicación con direcciones MAC que conoce, esta característica de seguridad no está normada en el estándar.

2.2.4.8.2 WEP

El estándar IEEE 802.11 especifica una capacidad opcional de cifrado denominada WEP⁵² (confidencialidad equivalente a la de los sistemas cableados), su función es la de establecer un nivel de seguridad similar al de las redes

⁵² WEP: Wired Equivalent Privacy.

cableadas. WEP emplea el algoritmo RC4 para cifrar las transmisiones realizadas a través del aire.

2.2.4.8.3 WPA v1

Elimina alguna de las vulnerabilidades de WEP. Esta tecnología puede ser instalada en el hardware existente a través de una actualización del software residente (firmware). Incorpora TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), y la autenticación de usuarios IEEE 802.1x.

2.2.4.8.4 Estándar IEEE 802.1x

El protocolo 802.1x fue desarrollado como un agregado para todos los protocolos de acceso de red de capa 2. Está destinado a proporcionar un mecanismo de autenticación generalizado para el acceso a la red y proporciona un conjunto generalizados de términos:

2.2.4.8.4.1 Autenticador

Este es el dispositivo de red que trata de autenticar otra entidad, en una red inalámbrica es el Punto de Acceso.

2.2.4.8.4.2 Peticionario

Es la entidad que busca acceso, en una red inalámbrica es una estación de trabajo.

2.2.4.8.4.3 Servidor De Autenticación

Es la fuente de los servicios de autenticación, el estándar IEEE 802.1x permite que esta función sea centralizada.

2.2.4.8.4.4 Punto De Acceso A La Red

Es el punto de unión de la estación de trabajo con la red (es la asociación entre el punto de acceso y la estación de trabajo).

2.2.4.8.4.5 Protocolo Extensible De Autenticación (EAP⁵³)

Definido en RFC 2284, es el protocolo utilizado en el intercambio de autenticación, varios protocolos de autenticación de niveles superiores son utilizados sobre este.

2.2.4.8.5 Estándar IEEE 802.11i

Conocido como WPA v2, proporciona nuevos protocolos de encriptación que añaden niveles de seguridad elevados.

Describe la transmisión encriptada de datos entre los sistemas IEEE 802.11a y IEEE 802.11b. Define igualmente nuevos protocolos de encriptación incluyendo el protocolo TKIP así como el Advanced Encryption Standard (AES).

2.1.5 APLICACIONES Y BENEFICIOS DE Wi-Fi

El estándar IEEE 802.11 ha evolucionado considerablemente, se sigue mejorando y es el estándar de red inalámbrica más comúnmente utilizado hoy en día. Existen vastas varias áreas de aplicación para las redes inalámbricas, así estas pueden ser utilizadas para la ampliación de una red LAN cableada en lugares que es complicado llegar con un cable par trenzado como plantas de fabricación extensas, locales comerciales, en edificios con insuficiente cableado o en redes pequeñas en las que la instalación y el mantenimiento de una LAN cableada puede no ser rentable.

La solución mixta wireless-cableado parece la más adecuada para una empresa, dado que parte de la LAN se despliega de forma cableada y la WLAN es un

⁵³ Extensible Authentication Protocol.

complemento a la red existente. En general las empresas han instalado una red cableada con anterioridad, presentando movilidad de equipos, ausencia de cableado, libertad en los cambios organizativos y acceso a la red independientemente del puesto de trabajo.

Otra aplicación de esta tecnología inalámbrica es la interconexión de redes LAN ubicadas en edificios distintos, en este caso se utiliza un enlace punto a punto según lo normado en el estándar.

La WECA garantiza la compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes y los precios de este tipo de equipamientos se han reducido drásticamente, siendo en muchos casos la solución WLAN más interesante que una solución cableada

Wi-Fi aparece en el hogar como una alternativa para el Home Networking, es decir su utilización permite la interconexión de diferentes dispositivos de forma inalámbrica bajo un mismo estándar y de una forma sencilla y económica.

2.3 COMPARACION ENTRE WiMAX Y Wi-Fi [16]

WiMAX es una tecnología que permite el acceso inalámbrico a Internet de Banda Ancha con conexiones de hasta 70 Mbps a una distancia de hasta de 50 Km. en campo abierto frente a los 600 m. que ofrece Wi-Fi.

La señal de Radio Wi-Fi comienza a degradarse cuando trabajan más de 20 personas de forma concurrente; por el contrario WiMAX permite que una misma estación tenga cientos e incluso miles de personas trabajando a la vez.

WiMAX no compite con Wi-Fi sino que ambas son tecnologías complementarias la que WiMAX permitirá conectar los hotspots de Wi-Fi con el consiguiente aumento de la cobertura.

WiMAX es la generación siguiente a Wi-Fi. Con la introducción masiva de Wi-Fi en nuestras vidas, están empezando a aparecer algunas deficiencias del protocolo que restringen la aplicación del mismo a entornos muy concretos y

limitan su funcionalidad práctica. Y es que Wi-Fi fue diseñado para Redes de Área Local, como alternativa al cableado estructurado para aquellos edificios que, o no poseían, o no podían hacer frente a la instalación del mismo por motivos económicos o de cualquier otra índole. Como tecnología Ethernet inalámbrica, Wi-Fi presenta las mismas deficiencias que podemos encontrarnos en las redes ethernet tradicionales, como son la encriptación del protocolo, el uso de VLANs, el soporte QoS, etc. Por otro lado, se ha pretendido ampliar el uso de Wi-Fi desde su ámbito natural de uso en redes locales por parte de ISPs que deseaban ahorrar en una infraestructura de acceso para el abonado utilizando Wi-Fi como tecnología de "última milla". Esto se está viendo irremediablemente conducido al fracaso por las características de diseño del protocolo, entre ellas el no estar diseñado para permitir interactuar a una gran cantidad de usuario por el mecanismo de detección de colisiones implementado. Otra de las grandes falacias bajo las que se presenta la tecnología Wi-Fi, que es la capacidad de servir como enlace MAN o WAN. Además de tener que contar con una gran potencia para la transmisión a grandes distancias, Wi-Fi tiene bastantes dificultades cuando encuentra algún obstáculo óptico en su camino, tantas que la conexión se hace imposible.

La señal de Wi-Fi se ve afectada por el hormigón, WiMAX puede atravesar nubes, árboles y hasta muros otorgando así mayor confiabilidad que Wi-Fi.

WiMAX proporciona calidad de servicio multimedia, no hay contienda por el uso del canal, provee de mayores tasas efectivas de transmisión, mejor eficiencia espectral a comparación con Wi-Fi.

Wi-Fi define una velocidad máxima de 54 Mbps, tiene un número de Sub carriers (FFT) igual a 64, en su capa Mac utiliza CSMA/CA mientras que WiMAX alcanza velocidades de hasta 100 Mbps, Sub carriers (FFT) igual a 256, en su capa Mac utiliza TDM/TDMA y provee de Calidad de Servicio lo que hace que esta tecnología se la utilice para enlaces de grandes distancias ya sea en ambientes con o sin línea de vista.

Una de las diferencias más importantes entre Wi-Fi y WiMAX radica precisamente en que la primera no soporta calidades de servicio (QoS), no fue ideada para la transmisión de voz. WiMAX, por el contrario, contempla esta posibilidad desde su origen. Es una tecnología pensada desde cero para entornos `todo IP`. Incorpora QoS y además al implementar una modulación mucho más compleja que Wi-Fi (Scalable OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiplexing), hace virtualmente impracticables las temidas escuchas. Puede decirse que ofrece niveles de seguridad equivalentes a GSM y a UMTS.

WiMAX y Wi-Fi tendrán una especie de coexistencia, cada una de las tecnologías con sus respectivas aplicaciones: el WiMAX por ejemplo para la entrega de la señal desde la estación base hacia el cliente y Wi-Fi para la redistribución de la señal (Internet) en la casa del cliente. También se va a utilizar el WiMAX para la cobertura de grandes zonas ("Hot-Zones"), mientras Wi-Fi solo está preparado en cobertura de puntos con un radio muy limitado ("Hot-Spots").

En la tabla 2.5 se indica las diferencias principales que se tiene entre WiMAX y Wi-Fi.

	WiFi	WiMAX
Cobertura Aproximada	Inferior a 100 m	15 ~ 30 km (LOS), 3~5 km (NLOS)
Optimización	Para cortos rangos de espacios de interiores.	For NLOS environments (2-11 GHz band). Supports advanced antenna techniques, adaptive modulation, error detection techniques
Escalabilidad	Aplicación LAN. El número de usuarios puede variar con un suscriptor por CPE.	Soporte eficiente de cientos de estaciones de suscriptores con un número limitado de usuarios por estación Canales flexibles de ancho de banda, en el rango de 1.5-20 MHz.
Tasa de Bit	Máxima eficiencia espectral de 2,7 b/s/Hz. 54 Mb/s en canales de 20 MHz	Máxima eficiencia espectral de 5 b/s/Hz. 75-100 Mb/s en canales de 20 MHz
QoS	Sin soporte de QoS	Soporte nativo de QoS en la MAC Niveles de diferenciación de servicios

Tabla 2.5: Comparación entre WiMAX y Wi-Fi.

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

3.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo se realizará el diseño de la red comunitaria inalámbrica utilizando la tecnología WiMAX que permitirá la compartición de recursos y servicios como el acceso a Internet, correo electrónico y video conferencia, dando cobertura a las diferentes facultades, laboratorios, áreas abiertas tanto en el campus principal de la universidad como en el colegio universitario, que servirá para uso de estudiantes, profesores y personal administrativo que son parte de la comunidad universitaria perteneciente a la Universidad Técnica del Norte.

Las consideraciones que se tomarán en cuenta para el diseño de la red inalámbrica son:

- Características del campus universitario y del colegio universitario.
- Número de usuarios.
- Integración e interoperabilidad con otras redes.

Con este diseño, se pretende satisfacer necesidades actuales, así como también se prevee un crecimiento futuro acorde a las necesidades de los usuarios de la red.

3.2 ANTECEDENTES^[1]

La UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE es una Institución de Educación Superior pública, creada mediante la Ley No. 43 publicada en el Registro Oficial No. 482 el 18 de julio de 1986. Sus funciones básicas están orientadas a

^[1] Información obtenida en el Departamento Administrativo de la Universidad Técnica del Norte.

contribuir al estudio y comprensión de los problemas socioeconómicos y culturales de la región norte del Ecuador, así como a la búsqueda de alternativas de solución para dichos problemas.



Figura 3.1: Universidad Técnica del Norte.

El Campus abarca 10 hectáreas de terreno, se lo aprecia en la figura 3.1, alberga cinco edificios de las Facultades de Ingeniería Textil y de Sistemas, de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de Ciencias Administrativas y Económicas, de Ciencias de la Salud y de Educación, Ciencias y Tecnologías. Que dan albergue a más de 6.000 estudiantes de Ibarra y del norte del país. Junto a las facultades se encuentra el edificio de la Administración Central.

En el edificio de la Administración Central, a más de las principales dependencias de las autoridades y administrativos, funcionan la Radio Universitaria 101.1 FM y el Canal de Televisión UTV canal 24.

Además del Campus Universitario existe una propiedad de tres hectáreas donde funciona el Colegio Anexo UTN y varios laboratorios como de Física, Química, Biología, Peletería, Biotecnología, Carpintería, Artes Industriales, Pintura, Escultura y Laboratorio Textil, en el que las autoridades y docentes impulsan una educación alternativa para alrededor de 500 jóvenes que se educan en sus aulas.

En el anexo A se detalla el plan estratégico de la Universidad Técnica del Norte, así como las diferentes carreras que ofrece.

3.3 CARACTERISTICAS DEL CAMPUS UNIVERSITARIO Y DEL COLEGIO ANEXO

Para el diseño se realiza un reconocimiento del lugar considerando edificaciones, características arquitectónicas y áreas abiertas.

3.3.1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR

3.3.1.1 Edificio De La Facultad De Ingeniería En Ciencias Agropecuarias Y Ambientales (FICAYA)



Figura 3.2: Edificio FICAYA.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	DECANATO	1	2
	SUBDECANATO	1	1
	SECRETARIA	1	2
	SECRETARIA SUBDECANATO	1	1
	DIRECTOR ESCUELA DE FORESTAL	1	2
	DIRECTOR ESCUELA DE AGROINDUSTRIAS	1	2

	SECRETARIO ABOGADO	1	2
	SALA DE PROFESORES	1	20
	COORDINADORES	1	2
	BIOMETRIA	1	1
	DIRECTOR DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES	1	1
2	AULAS	9	45
	ASOCIACION DE ESCUELA FORESTAL	1	1
	LABORATORIO DE COMPUTACION	1	25
3	AULAS	9	45
	ASOCIACION ESCUELA DE AGROINDUSTRIAS	1	1
4	AULAS	7	45
	AUDIOVISUALES	1	20
	ASOCIACION ESCUELA RECURSOS NATURALES RENOVABLES	1	1

Tabla 3.1: Características Físicas del edificio FICAYA.

3.3.1.2 Edificio De La Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas (FICA)



Figura 3.3: Edificio FICA.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	DECANATO	1	1
	SUBDECANATO	1	1
	SECRETARIA DECANATO	1	1
	SECRETARIA SUBDECANATO	1	1
	SECRETARIO ABOGADO	1	1
	SECRETARIAS DE ESCUELAS	1	2
	SALA DE PROFESORES	1	20
	COORDINACION Y PLANEAMIENTO	1	1
	COORDINACION DE INVESTIGACION Y EXTENSIÓN	1	1
	DIRECCIÓN EISIC	1	1
	DIRECCIÓN EITEX	1	1
	SALA DE REUNIONES	1	20
2	AUDIOVISUALES	2	20
	LABORATORIO DE COMPUTACION	3	20
	AREA DE SEVIDORES	1	10
	ASOCIACION ESTUDIANTIL	1	1
3	AULAS	6	40
4	AULAS	6	40

Tabla 3.2: Características Físicas del edificio FICA.

3.3.1.3 Edificio De La Facultad De Educación Ciencia Y Tecnología (FECYT)



Figura 3.4: Edificio FECYT.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	SECRETARIO ABOGADO	1	2
	DECANATO	1	2
	CENTRO DE INTERNET	1	20
	DIRECCION ESCUELA DE PEDAGOGÍA	1	2
	SUBDECANATO	1	2
	AUDIOVISUALES	1	15
	DIRECCION PRACTICA DOCENTE	1	2
	DIRECCION DE INVESTIGACION	1	2
	DIRECCION DE PLANEAMIENTO	1	2
	EDUCACION TECNICA	1	1
	PROGRAMAS ESPECIALES	1	1
	SALAS DE CONFERENCIAS	1	20
	LABORATORIO DE COMPUTACION	1	20
2	CONTABILIDAD PEDAGOGICA	1	1
	AULAS	7	40
3	ASOCIACION ESCUELA DE PEDAGOGIA	1	1
	AULAS	7	40
4	ASOCIACION DE ESCUELA DE EDUCACION TECNICA	1	1
	AULAS	7	40

Tabla 3.3: Características Físicas del edificio FECYT.

3.3.1.4 Edificio De La Facultad De Ciencias Administrativas Y Económicas (FACAE)



Figura 3.5: Edificio FACAE.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	DECANATO	1	2
	SUBDECANATO	1	2
	DIRECCION ESCUELA DE ADMINISTRACION DE EMPRESAS	1	2
	DIRECCION ESCUELA DE CONTABILIDAD Y AUDITORIA	1	2
	DIRECCION ESCUELA DE MERCADOTECNIA	1	1
	SALON AUDITORIO	1	2
	SECRETARIA	1	1
	SECRETARIO ABOGADO	1	1
	COORDINACION PLANEAMIENTO	1	1
	AUDIOVISUALES 1	1	15
	CENTRO DE COMPUTO 1	3	20
	SECRETARIA DE COORDINACIONES	1	1
	COORDINACION EXTENSION	1	1
	COORDINACION DE INVESTIGACION	1	1

	ASOCIACION DE PROFESORES	1	1
2	AULAS	9	40
	ASOCIACION DE ESCUELA DE ADMINISTRACION DE EMPRESAS	1	1
3	AULAS	9	40
	ASOCIACION ESCUELA DE CONTABILIDAD SUPERIOR Y AUDITORIA	1	1
4	AULAS	7	40
	AUDIOVISUALES 2	2	15
	ASOCIACION ESCUELA DE MERCADOTECNIA	1	1

Tabla 3.4: Características Físicas del edificio FACAE.

3.3.1.5 Edificio De La Facultad De Ciencias De La Salud



Figura 3.6: Edificio Ciencias de la Salud.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	DECANATO	1	2
	SUBDECANATO	1	2
	SECRETARIA	1	2
	SALA DE SESIONES	1	20
	MANTENIMIENTO	1	2
	SALA DE GRADOS	1	10
	DIRECCION ESCUELA DE NUTRICION	1	2
	SALA DE PROFESORES	1	0
	SECRETARIO ABOGADO	1	1
	COORDINACIONES	1	1
	DIRECTOR DE ESCUELA DE ENFERMERIA	1	2
2	AULAS	5	40
	SALA DE INTERNET	1	20
	LABORATORIO DE NUTRICION	1	20
	LABORATORIO TECNICA DE DIETETICA	1	20
	LABORATORIO INFORMATICA Y MULTIMEDIA	1	20
3	AULAS	6	40
	LABORATORIOS DE ENFERMERIA	4	0
	AULA DE DEMOSTRACION	1	5
	LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA	1	0
4	AULAS	7	40
	AUDIO VISUALES	1	20

Tabla 3.5: Características Físicas del edificio Ciencias de la Salud.

3.3.1.6 Edificio Central



Figura 3.7: Edificio Central.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	CENTRO DE COMPUTO	1	15
	CENTRO DE COPIADO	1	2
	OFICINA DE PERSONAL	1	2
	DIRECCION DE PERSONAL	1	2
	ARCHIVO	1	4
	JEFE DE ARCHIVO	1	1
	CONTABILIDAD	1	2
	TESORERIA	1	2
	DIRECTOR FINANCIERO	1	1
	SECRETARIA DEL DIRECTOR FINANCIERO	1	1
	PRESUPUESTO	1	3
	RECAUDACION	1	3
	DIRECTOR DE BIENESTAR ESTUDIANTIL	1	1
	SECRETARIA DEL DIRECTOR	1	1
	PSICOLOGO	1	1
	TRABAJO SOCIAL	1	2
	FARMACIA	1	2
	ODONTOLOGO	1	2
	RAYOS X	1	1
	BODEGA	1	2
MEDICOS	1	2	
SECCION ADQUISICIONES	1	2	

	GUARDA ALMACEN	1	2
	AUXILIAR ALMACEN	1	1
	JEFE ALMACEN	1	1
	BODEGA ALMACEN	1	3
	BIBLIOTECOLOGIA	1	15
	SECRETARIA GENERAL	1	2
	SALA DE REUNIONES DEL HONORABLE CONSEJO UNIVERSITARIO	1	15
	RECTORADO	1	1
	SALA DE ESPERA	1	5
	SECRETARIA DE RECTORADO	1	1
	DIRECTOR POSGRADO	1	1
	SECRETARIA POSGRADO	1	1
	PROCURADOR GENERAL	1	1
	SECRETARIA PROCUARDOR	1	1
	RECTOR ADMINISTRATIVO	1	1
	SECRETARIA RECTOR ADMINISTRATIVO	1	1
	VICERECTOR ACADEMICO	1	1
2	SECRETARIA VICERECTOR	1	1
	SALA JOSE MARTI	1	20
	SECRETARIA PLANEAMIENTO ECONOMICO	1	1
	AUXILIAR PLANEAMIENTO	1	1
	JEFE DE PLANEAMIENTO ACADEMICO	1	1
	DIRECTOR DE PLANEAMIENTO	1	1
	SECRETARIA	1	1
	DIRECTOR CONSTRUCCION FISCALIZACION	1	1
	FISCALIZADORES	1	1
	DIBUJANTE	1	1
	SECRETARIA FISCALIZACION	1	1
	BODEGA	1	2
	ASOCIACION DE EMPLEADOS Y TRABAJADORES	1	4
	INVESTIGACION 1	1	10
	INVESTIGACION 2	1	10
	DIRECTOR CUICYT	1	1
3	SECRETARIA DE CUICYT	1	1

	SECRETARIA RADIO UNIVERSITARIA	1	1
	DIRECTOR UCPE	1	1
	SECRETARIA UCPE	1	1
	COORDINADORES	1	4
	RADIO UNIVERSITARIA	1	8
	DIRECTOR CAI	1	1
	LABORATORIO CAI	1	10
	SECRETARIA CAI	1	1
	LABORATORIO CAI 2	1	10
	ASOCIACION GENERAL DE PROFESORES	1	4
	AUDITORIA INTERNA	1	1
	DIRECTOR CUDICE	1	1
	ARCHIVO	1	2
	SECRETARIA CUDICE	1	1
	DIAGRAMACION	1	1
4	TELEVISION UTN	1	8

Tabla 3.6: Características Físicas del Edificio Central.

3.3.1.7 Biblioteca Central

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	Sala de Lectura	1	100
	Copiadora	1	2
	Entrega y recepción de libros	1	4
2	Dirección Biblioteca	1	2
	Hermoteca	1	10
	Copiadora	1	2
3	Sala de Audiovisuales	1	20
	Sala de Consulta	1	20
	Copiadora	1	2
4	Sala de Audiovisuales	1	20
	Sala de Reuniones	1	20

Tabla 3.7: Características Físicas de la Biblioteca Central.

3.3.1.8 Auditorio Agustín Cueva

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	Auditorio	1	1000

Tabla 3.8: Características Físicas del Auditorio.

3.3.1.9 Coliseo Cerrado

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	Vestidores	2	20
	Gimnasio	1	15
	Graderíos	1	400
	Hall	1	20

Tabla 3.9: Características Físicas del Coliseo Cerrado.

3.3.1.10 Colegio Universitario



Figura 3.8: Colegio Universitario.

PISO	DESCRIPCION	NUMERO	NUMERO DE USUARIOS POR CADA OFICINA
1	Inspector General	1	2
	Sala de Profesores	1	10
	Tesorería	1	4
	Aulas	16	30
	Laboratorio de Informática	1	20
	Laboratorio de Física	1	30
	Laboratorio de Química	1	30
	Laboratorio de Biología	1	30
	Laboratorio de Biotecnología	1	30
	Laboratorio Textil	1	20
	Taller de Carpintería	1	20
Taller de Arte	1	20	
2	Rectorado	1	2
	Vicerrectorado	1	2
	Secretaría General	1	4

Tabla 3.10: Características Físicas del Colegio Universitario.

3.4 IDENTIFICACION DE LA RED EXISTENTE

La Universidad Técnica del Norte tiene diseñadas redes LAN para los diferentes edificios o facultades en las cuales se tienen oficinas, asociaciones de estudiantes y laboratorios que utilizan los servicios que brinda la red. Estas redes existentes se conectan al Edificio Central que es el que reparte el servicio hacia los diferentes edificios donde se encuentran las facultades.

Estas redes existentes son solo utilizadas por las diferentes facultades que forman parte del Campus Principal, quedando fuera de esta conectividad el Auditorio, el Colegio Universitario que tiene su propia red LAN y los laboratorios existentes en los alrededores del Colegio ya que se encuentran a una distancia de aproximadamente 2 km.

Las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte y del Colegio Universitario cuentan con una red de cableado estructurado que facilita la conectividad entre los distintos edificios, la figura 3.9 muestra un diagrama del cableado

estructurado existente.

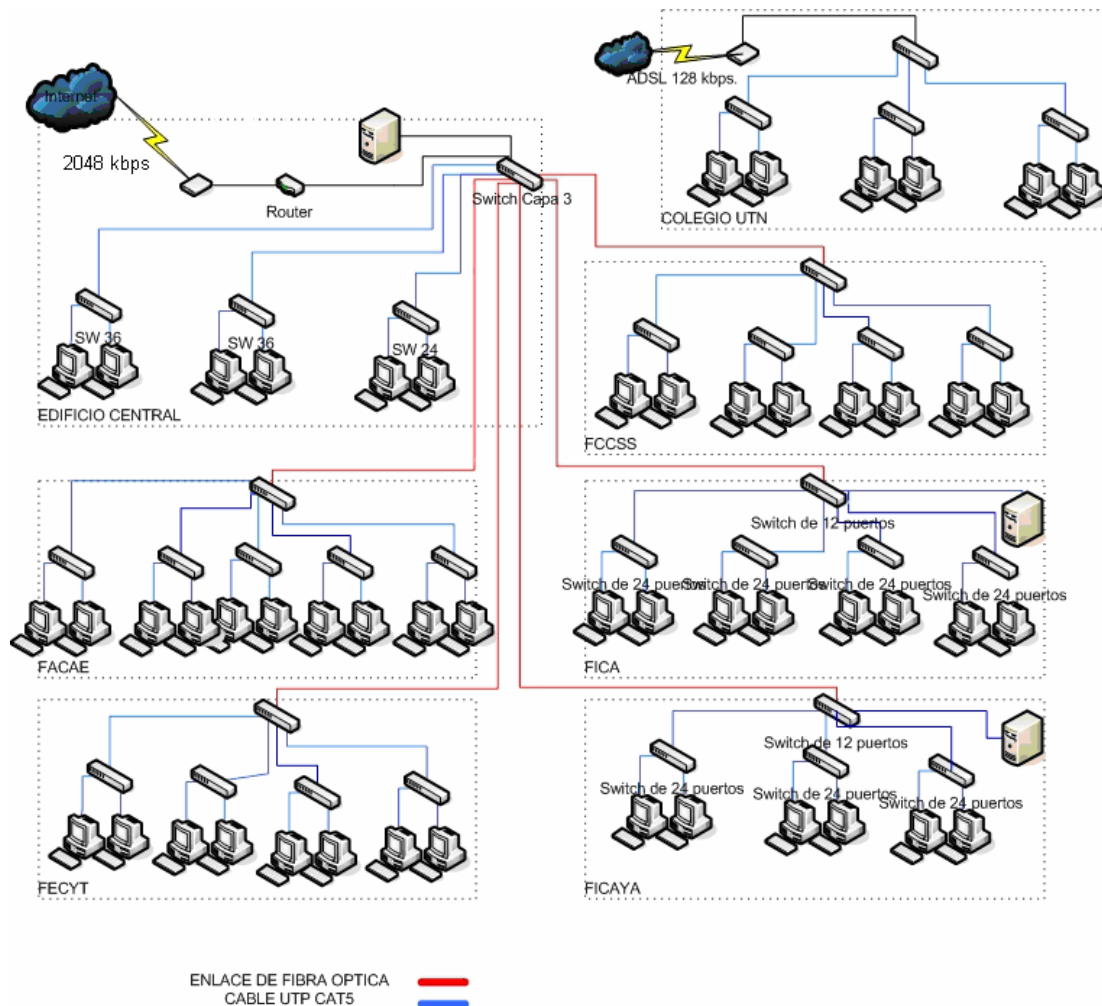


Figura 3.9: Red de la Universidad Técnica del Norte.

La universidad cuenta con una red Gigabit Ethernet, la cual enlaza las diferentes edificaciones con el Edificio Central mediante un switch con funcionalidades de capa 3 conectado a switches de acceso en cada edificio de la universidad. La conectividad a Internet se lo realiza mediante un enlace de 2048 kbps ubicado en el Edificio Central.

3.4.1 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES (FICAYA)

Existen tres switches de 24 puertos, uno de estos administrable, utilizado para ofrecer conectividad hacia el Edificio Central. Estos equipos se encuentran ubicados en el laboratorio de computación del segundo piso.

3.4.2 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS (FICA)

En el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, actualmente existen cinco switches de 24 puertos, de los cuales uno es utilizado para la conectividad de las diferentes dependencias del edificio, tres para los diferentes laboratorios y un último para conectividad hacia el Edificio Central.

3.4.3 FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA (FECYT)

Existen cuatro switches ubicados en la planta baja. Uno es utilizado para el Centro de Internet ubicado en la planta baja, el segundo por el laboratorio ubicado en la misma planta y un último que brinda conectividad a las restantes dependencias del edificio.

3.4.4 FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS (FACAE)

El edificio cuenta con cinco switches ubicados en la planta baja, tres de los cuales son utilizados por cada laboratorio de computación, uno por las dependencias del edificio y un último para conectividad al Edificio Central.

3.4.5 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD (FCCSS)

El edificio de la Facultad de Ciencias de la Salud, cuenta con cuatro switches utilizados para las dependencias del edificio, la sala de Internet y el laboratorio de Informática y Multimedia ubicados en el primer piso del edificio.

3.4.6 EDIFICIO CENTRAL

En la edificación del Edificio Central se encuentran los servidores de las aplicaciones internas y externas utilizadas por la Universidad Técnica del Norte, así en el primer piso, en el centro de computo se encuentra el rack de equipos con un switch marca 3Com con funcionalidades de capa 3, dos switches que dan servicio a las dependencias del edificio y un router para salida a Internet.

3.4.7 BIBLIOTECA CENTRAL

La Biblioteca Central posee un switch de 48 puertos. Al estar rodeada de los edificios FICAYA, FICA y FCCSS se conecta al switch de acceso ubicado en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) para brindar acceso a la red a las 25 computadoras de la hemeroteca⁵⁴ y sala de consultas en la planta baja.

3.4.8 COLEGIO UNIVERSITARIO

Las instalaciones tienen una red independiente a la existente en la Universidad Técnica del Norte, en esta se utiliza para el acceso a Internet un servicio ADSL de 128 Kbps. Este acceso es utilizado por medio de un switch de 24 puertos que brinda conectividad a las oficinas del colegio así como al laboratorio de computación.

3.4.9 RESULTADOS DE LA IDENTIFICACION DE LA RED EXISTENTE

Del reconocimiento realizado anteriormente, se puede concluir que la Universidad Técnica del Norte cuenta con un backbone de fibra óptica entre las facultades y sin embargo hay dependencias que aún no tienen comunicación interna y externa como es el caso del Auditorio Agustín Cueva, el Colegio Anexo UTN, el Instituto de Educación Física y el área de laboratorios ubicados tras el Colegio Anexo.

⁵⁴ Una hemeroteca es la colección de material impreso de publicación diaria o periódica. Esto corresponde a diarios, revistas y otros medios de prensa escrita, por lo general corresponden a una sección de una biblioteca, pero también son las colecciones o fondos de los propios medios que los editan.

Las conexiones de datos existentes tienen ya obsolescencia en su tecnología por lo que es necesario mejorar las instalaciones para lograr un buen desempeño de conectividad en la red de la universidad

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño de una red inalámbrica con tecnología WiMAX que brinde cobertura al campus principal de la Universidad Técnica del Norte, al Colegio Anexo "UTN" y a los laboratorios ubicados tras el colegio Anexo, pero vistas las deficiencias de conectividad encontradas en las instalaciones, el diseño a realizar puede solventar la gran mayoría de inconvenientes gracias a las múltiples características de la tecnología WiMAX detalladas en el capítulo precedente.

3.5 POBLACION ESTUDIANTIL Y ADMINISTRATIVA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE Y EL COLEGIO ANEXO UTN

Se va a realizar una distribución de los alumnos matriculados en el año 2006 por facultades, para determinar el porcentaje de alumnos que tiene cada facultad, esto nos servirá de guía para analizar que facultad es la que más utiliza los servicios que brinda la universidad. La información presentada a continuación se obtuvo gracias a las facilidades que brindó el Departamento Administrativo de la Universidad Técnica del Norte.

3.5.1 POBLACION ESTUDIANTIL

En la tabla 3.11 se indica el número de estudiantes matriculados en el año 2006 distribuidos en las diferentes facultades que tiene la Universidad y también el número de estudiantes existentes en el Colegio Anexo.

FACULTAD	NUMERO
EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA (FECYT)	2005
CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS (FACAE)	1711
CIENCIAS AGROPECUARIAS (FICAYA)	626
CIENCIAS DE LA SALUD (CCSS)	590
CIENCIAS APLICADAS (FICA)	737
POSGRADO	238
COLEGIO ANEXO	476
TOTAL	6383

Tabla 3.11: Número de Alumnos de la UTN.

La figura 3.10 muestra el porcentaje de estudiantes en las diferentes facultades de la Universidad Técnica del Norte matriculados en el año 2006.

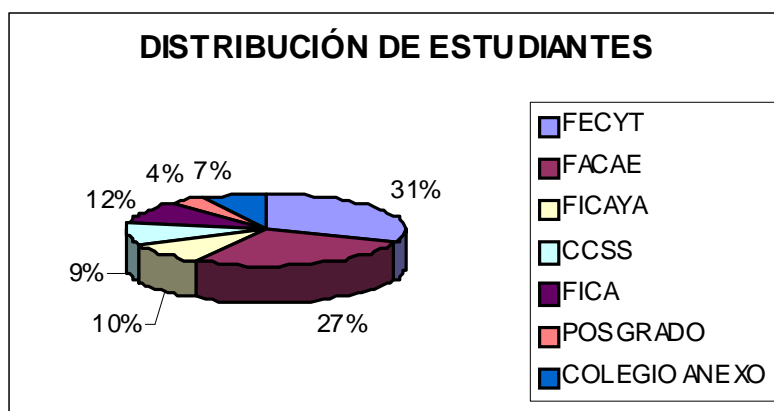


Figura 3.10: Porcentajes de Estudiantes.

3.5.2 PERSONAL DOCENTE Y ADMINISTRATIVO.

En la tabla 3.12 se indica el número total de profesores y personal administrativo tanto en la Universidad Técnica del Norte como en el Colegio Universitario.

FACULTADES	PROFESORES	EMPLEADOS
CIENCIAS APLICADAS (FICA)	43	13
CIENCIAS AGROPECUARIAS (FICAYA)	67	18
EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA (FECYT)	93	25
CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y ECONÓMICAS (FACAE)	51	10
CIENCIAS DE LA SALUD (CCSS)	49	18
PLANTA CENTRAL	0	167
COLEGIO	25	15
TOTAL	328	266

Tabla 3.12: Distribución Profesores y Empleados.

De igual manera se va a realizar una distribución de profesores y empleados por facultades para determinar que porcentaje de profesores y empleados tiene cada facultad. Las distribuciones se muestran en las figuras 3.11 y 3.12.

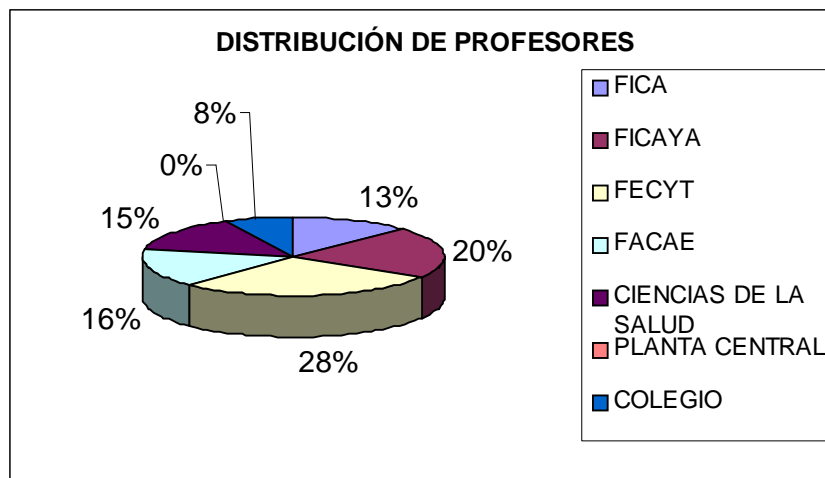


Figura 3.11: Porcentaje de Profesores.

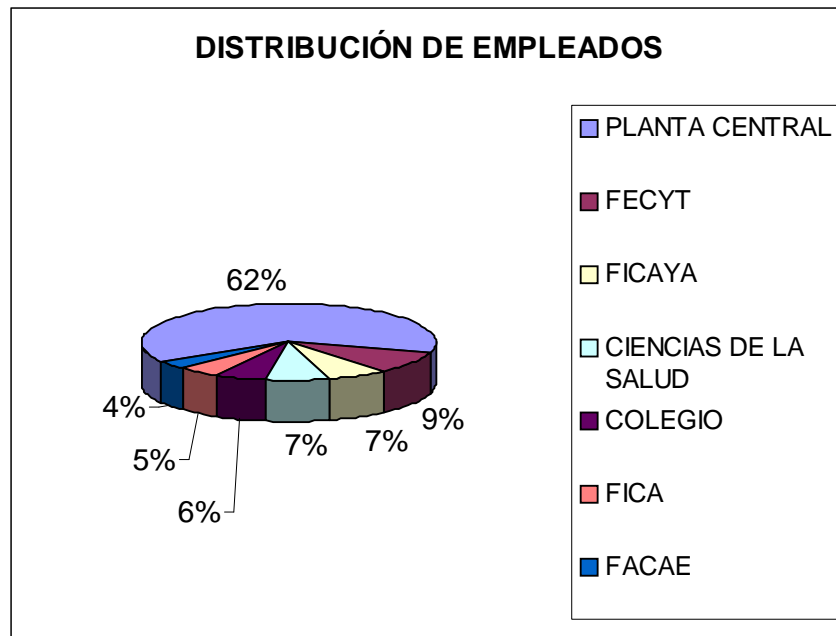


Figura 3.12: Porcentaje Empleados.

3.6 ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

Se ha considerado utilizar la tecnología WiMAX que está basada en el estándar 802.16 del IEEE, que define funcionalidades que deben cumplir los equipos para crear redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN). Estas redes están pensadas para crear redes de alta capacidad y fiabilidad en distancias máximas de varias decenas de kilómetros.

Los requerimientos de la Universidad Técnica del Norte que se presentan a continuación reflejan los propósitos que se pueden cumplir con la red inalámbrica y servirán de base para la selección de los equipos. Son definidos de acuerdo a conceptos generales, en base a las encuestas realizadas y se detallan de la siguiente manera:

- Requerimientos de usuarios.
- Requerimientos de aplicaciones.

- Requerimientos de arquitectura.

3.6.1 REQUERIMIENTOS DE USUARIOS

Desde el punto de vista del usuario, se define a los requerimientos como los responsables para que una tarea encomendada a la red, se la pueda catalogar como cumplida, básicamente se propone los siguientes:

3.6.1.1 Tiempo de Respuesta

Implica que el usuario pueda tener acceso, transferir o modificar información dentro de un rango de tiempo tolerable. La red inalámbrica con tecnología WiMAX tiene que ser rápida, sin retardos considerables y principalmente sin interrupciones en las aplicaciones interactivas de audio y video.

3.6.1.2 Confiabilidad

La red inalámbrica para la comunidad de la Universidad Técnica del Norte será confiable si es permanente en la entrega de sus servicios. La confiabilidad involucra mecanismos de redundancia y de consistencia en la configuración de dispositivos, para que de esta forma los servicios definidos teóricamente, cumplan en la práctica su objetivo funcional. Los usuarios requieren que servicios tales como videoconferencia, navegación Web y descarga de archivos sean totalmente confiables.

3.6.1.3 Adaptabilidad

Es la habilidad que debe tener red inalámbrica para adaptarse con facilidad a nuevos requerimientos. En este punto, se destaca que la red debe adaptarse a los objetivos de la institución, a las necesidades cambiantes de sus usuarios, a las eliminaciones y adiciones de equipos y de terminales.

3.6.1.4 Ubicuidad

Hace referencia a la movilidad de los usuarios, es decir que los mismos puedan movilizarse dentro del campus universitario y del colegio anexo para que tengan acceso a servicios de la red en cualquier edificación, áreas verdes y estacionamientos.

3.6.1.5 Seguridad

Es la garantía que debe presentar la red para entregar con integridad y autenticidad la información que transmite. También tiene que ver con establecer políticas para el acceso por parte de entes externos e internos a los recursos de información de los usuarios. En la red, datos administrativos restringidos y bases de datos de notas, tienen que estar reservados solo para uso de los funcionarios internos correspondientes.

3.6.1.6 Crecimiento de los usuarios

Define la cantidad de posibles usuarios de la red inalámbrica con tecnología WiMAX de la UTN y la futura expansión de los mismos. Para determinar el número de usuarios se toma en cuenta varios resultados de la encuesta realizada.

A 3 y 5 años, se estima una presencia de usuarios de la red basado en el porcentaje de crecimiento que presentan los estudiantes, trabajadores y profesores de la UTN.

3.6.2 REQUERIMIENTOS DE APLICACIONES

Se determinan los grupos de aplicaciones para la red inalámbrica, basándose en las características de los distintos servicios consultados en las encuestas realizadas en la Universidad Técnica del Norte y el Colegio Anexo UTN. Las respuestas obtenidas de los encuestados ayudaron a establecer las actuales aplicaciones, su grado de utilización y la satisfacción de los usuarios por los servicios prestados.

3.6.2.1 Aplicaciones para Videoconferencia

Se caracterizan por exigir un retardo de extremo a extremo muy reducido, con el objetivo de que los usuarios mantengan interactividad en su comunicación.

3.6.2.2 Aplicaciones de navegación Web

Involucra el acceso hacia un equipo remoto, esperando que éste le devuelva las respuestas en un tiempo razonablemente reducido y aceptable, mediante la utilización de un navegador Web como el Microsoft Internet Explorer. El tráfico desde el usuario hacia el servidor es bidireccional y asimétrico.

3.6.2.3 Aplicaciones de correo electrónico

Son aplicaciones que no exigen una respuesta inmediata por parte de la red, admitiendo retardos incluso de varios minutos.

3.6.2.4 Aplicaciones de voz

Es una aplicación que será de gran ayuda pues las señales de voz se digitalizan y son enviadas como datos mediante paquetes IP a través de la red y son convertidos a señal analógica en los terminales telefónicos.

3.6.3 REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA

3.6.3.1 Requerimientos de Cobertura

Se debe desarrollar una infraestructura de red que brinde cobertura no solo a los diferentes edificios existentes en el Campus Principal sino también al Colegio Anexo y los laboratorios, que permita aprovechar los diferentes beneficios que brinda la tecnología WiMAX.

3.6.3.2 Requerimientos de Interoperabilidad

La red inalámbrica WiMAX deberá facilitar la conexión a la red LAN troncal de la Universidad Técnica del Norte, debido a que en varias aplicaciones será necesaria la interconexión con estaciones y servidores ubicados en la red LAN cableada, por lo que en los equipos seleccionados es imprescindible una interfaz de comunicación 100Base TX.

3.6.3.3 Requerimientos de Gestión

El software de gestión deberá ser compatible con los sistemas operativos LINUX, Windows NT, Windows 2000, Windows XP o posteriores.

La herramienta de gestión debe permitir realizar funciones tales como operar, mantener, configurar y administrar los recursos de red y los servicios soportados por ellos. La interfaz gráfica de usuario del sistema de gestión debe permitir al administrador visualizar el estado de operación o funcionamiento, eventos y alarmas de los elementos de red que se encuentran instalados tales como estaciones base, antenas y estaciones suscriptoras.

El sistema de gestión deberá permitir la configuración de las frecuencias y de la potencia de transmisión, tanto de la estación base como de las estaciones suscriptoras (CPEs).

3.6.3.4 Requerimientos Regulatorios

Deberá cumplir con las regulaciones establecidas por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en lo referente a la implementación y operación de sistemas de modulación de banda ancha.

3.7 ANALISIS DE LA DEMANDA

Para el análisis de la demanda se tomará como fuente los resultados obtenidos de la encuesta realizada a una muestra de estudiantes, profesores y personal

administrativo de la Universidad Técnica del Norte y del Colegio Anexo UTN, determinando los tipos de servicios y áreas de cobertura en las que se necesita conectividad. En el anexo B se presenta la encuesta realizada así como la tabulación de resultados.

3.7.1 ESTUDIANTES

3.7.1.1 Información sobre servicios existentes

La figura 3.13 muestra el porcentaje de utilización de los servicios existentes en la institución, siendo el más utilizado por los estudiantes el servicio de navegación WEB.

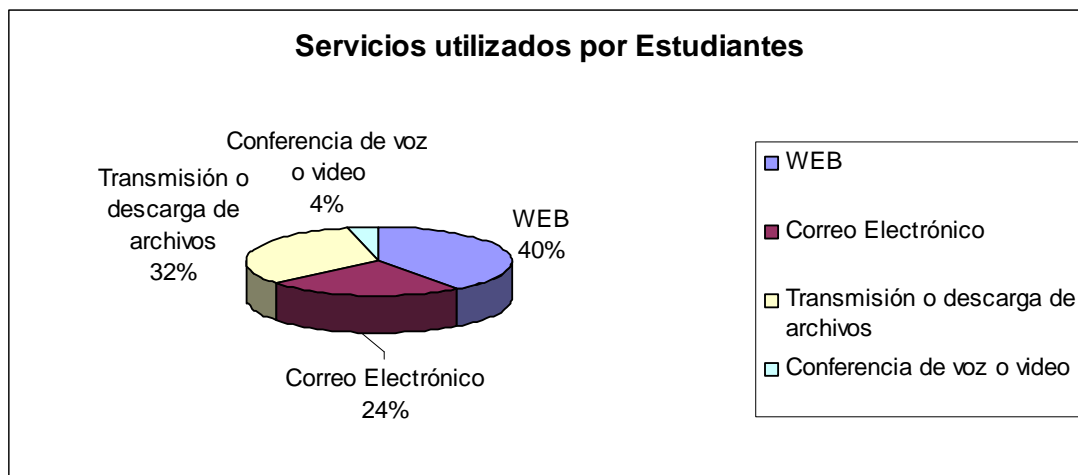


Figura 3.13: Tipo de servicios utilizados por estudiantes.

Las encuestas realizadas proporcionan información sobre los lugares donde los estudiantes utilizan los servicios existentes, esta información se muestra en la figura 3.14.

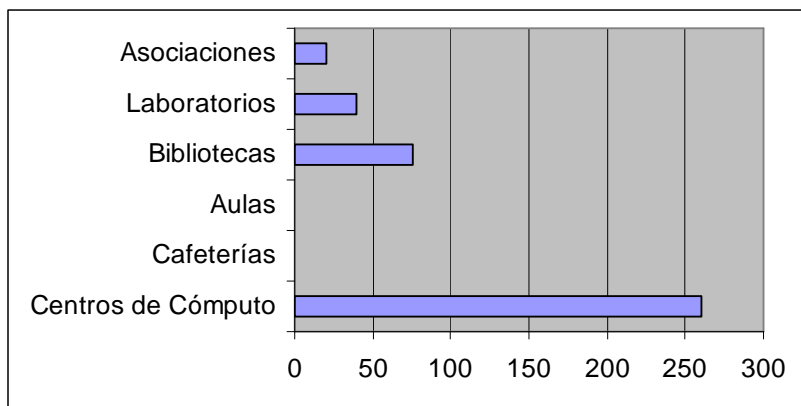


Figura 3.14: Lugares donde Estudiantes acceden a los servicios.

3.7.2 PROFESORES Y PERSONAL ADMINISTRATIVO

3.7.2.1 Información sobre servicios existentes

En la figura 3.15 se indica el porcentaje de utilización por parte de Profesores y Personal Administrativo de los servicios existentes.

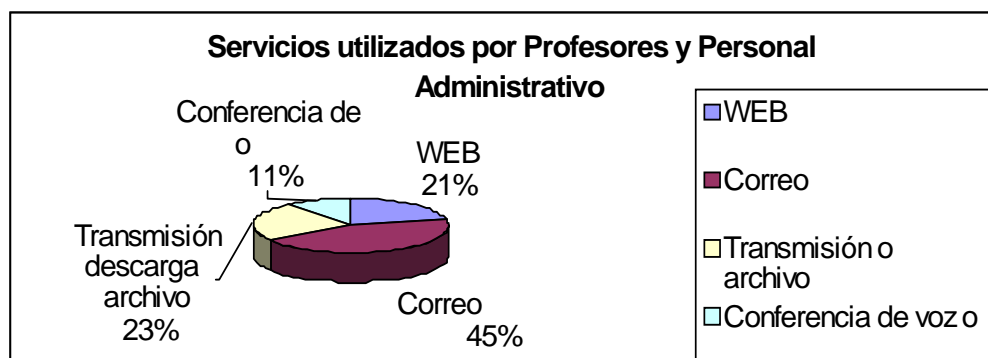


Figura 3.15: Servicios utilizados por Personal Docente y Administrativo de la UTN.

En la figura 3.16 muestra los lugares donde Personal Administrativo y Profesores acceden a los servicios que presta la red existente.

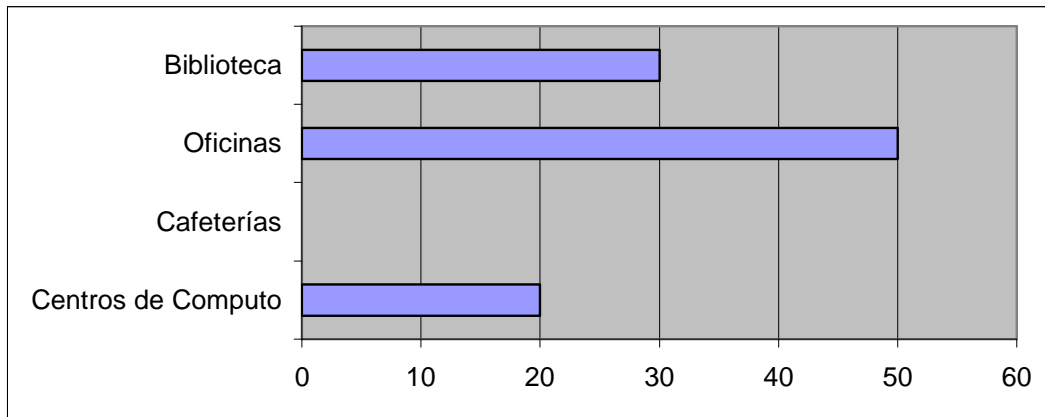


Figura 3.16: Lugares donde Profesores y Personal Administrativo acceden a los servicios existentes.

3.7.3 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA DEMANDA

De lo expuesto anteriormente se tiene como resultado que el servicio de navegación Web es el más utilizado a nivel de estudiantes y personal administrativo en la Universidad Técnica del Norte, por lo que la red inalámbrica con tecnología WiMAX deberá brindar prioridad a este servicio.

Como reflejan las encuestas actualmente la comunidad de la Universidad Técnica del Norte accede a los servicios que brinda la red actual con mayor frecuencia en los centros de computo a nivel estudiantil y en las oficinas el personal administrativo, pero exponen un gran interés en acceder a los servicios en lugares distintos como lo son las áreas verdes y las cafeterías, como se muestra en la figura 3.17.

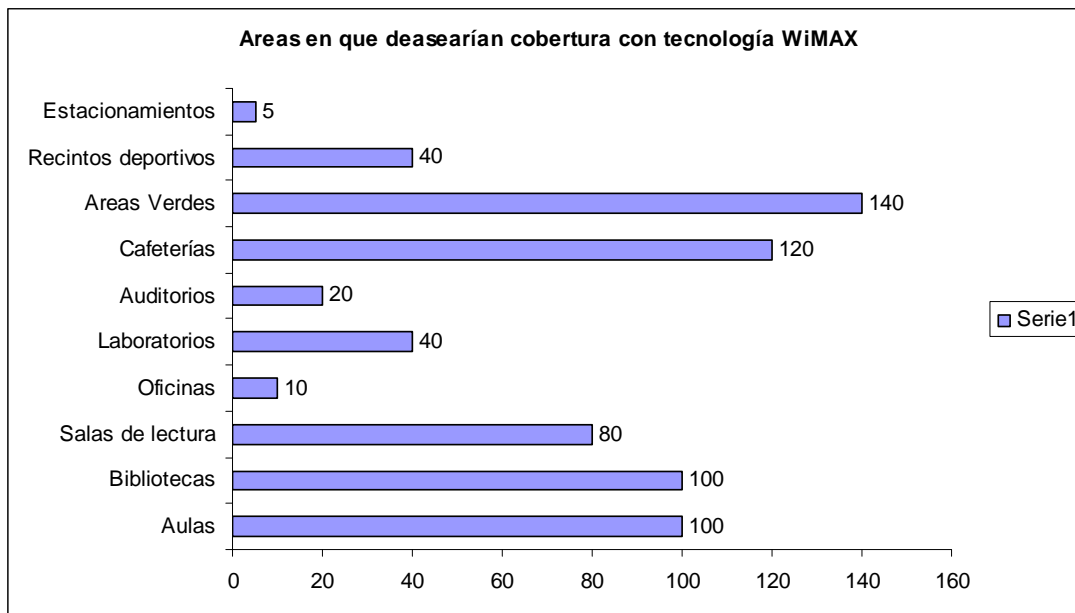


Figura 3.17: Áreas en la que los usuarios desearían conectividad.

3.8 ESTIMACION DEL NÚMERO DE USUARIOS

Tomando en consideración el número de estudiantes matriculados, los profesores y personal administrativo tanto de la Universidad Técnica del Norte y del Colegio Anexo UTN que es de 6977 personas y de acuerdo a la encuesta realizada, el 89% está de acuerdo con la idea de contar con una red inalámbrica con tecnología WiMAX. De las personas encuestadas, el 15% tienen acceso a un computador portátil, por lo que se deduce que los usuarios potenciales de la red inalámbrica a implementar serán aproximadamente 1046 personas.

En la práctica no necesariamente los 1046 usuarios se suscribirían al servicio pues dada la encuesta un 83% de encuestados que tienen acceso a un computador portátil estaría interesado en suscribirse al servicio, porcentaje con el que se tendría realmente 868 usuarios potenciales.

Un factor que se debe considerar es que no todos los 868 posibles usuarios se conectarán simultáneamente a la red pues regularmente según la actividad que realice el usuario tendría un período regular de conexión, así de la encuesta

realizada se deduce que el pico máximo de utilización de la red inalámbrica estaría entre las 10:00 y las 14:00, período en el que aproximadamente el 37% de los encuestados utilizan los servicios ofrecidos por la red. Considerando una situación crítica en el que el 70% de los usuarios se conectarán simultáneamente, de los 868 usuarios potenciales de la red, en el período pico de utilización, 607 usuarios serían los que ocupasen los servicios.

Otro factor fundamental en la estimación del número de usuarios de la red es el tipo de hardware utilizado pues un limitante en la conexión de los computadores inalámbricos es el tiempo de duración de las baterías, así esta conectividad a la red inalámbrica con tecnología WiMAX en las áreas verdes dependerá de la carga de batería que aproximadamente está limitada a un máximo de 150 min. por lo que el número de usuarios efectivos de la red debería decrecer en relación a los 607 usuarios mencionados anteriormente.

El dimensionamiento de la red a futuro se lo hace en base a datos del número de estudiantes matriculados en el año 2005 que es de 6121, que en relación al número de estudiantes matriculados en el año 2006 (6383 estudiantes) supone un incremento del 4.2%.

Para estimar el crecimiento de la demanda de la red se ha considerado el crecimiento anual de Abonados a Internet en el Ecuador⁵⁵ en tres periodos correspondientes a los años 2003, 2004 y 2005. El total de abonados en el año 2003 es de 107350 que es un incremento del 6.64%; En el año 2004 existieron 119768 abonados, lo que corresponde a un incremento del 11.57% en relación al 2003 y finalmente en el año 2005 se tuvo un total de 137326 abonados que en comparación a cifras del año 2004, es un incremento de 14.67%. Al tomar el promedio de crecimiento de los tres períodos analizados, el porcentaje que se obtiene es del 10.96%, porcentaje que asumiremos como datos referenciales para el aumento de la demanda en redes inalámbricas debido a que no se tiene información detallada del crecimiento de este tipo de redes. En la tabla 3.13 y en la figura 3.18 se muestra el número de abonados a Internet a nivel nacional.

⁵⁵ Fuente: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

CUENTAS DE INTERNET A NIVEL NACIONAL (ABONADOS)			
Año	DIAL-UP	LÍNEAS DEDICADAS	TOTAL DE ABONADOS
2001	83.007	2.623	85.630
2002	94.164	6.499	100.663
2003	102.787	4.563	107.350
2004	108.169	11.599	119.768
2005	110.540	26.786	137.326

Tabla 3.13: Abonados a Internet a nivel nacional.

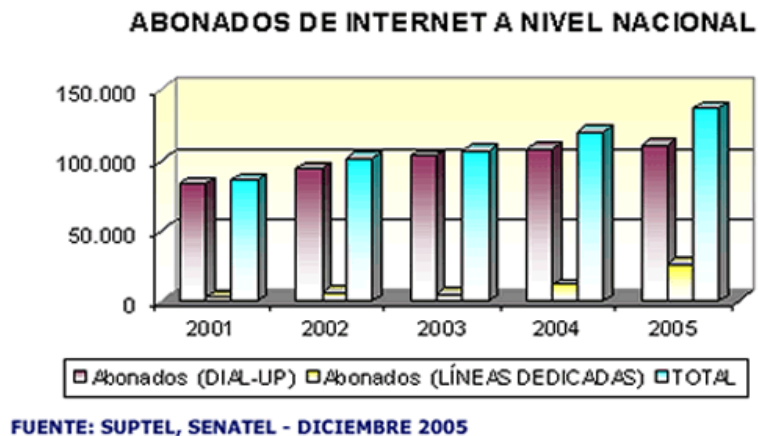


Figura 3.18: Abonados a Internet a nivel nacional.

3.9 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED [9] [22]

Para la estimación de las necesidades de ancho de banda en la Universidad Técnica del Norte se debe considerar proveer un soporte suficiente para las redes en tiempos de uso pico. Adicionalmente para la estimación del ancho de banda requerido en la red se debe también considerar los servicios a prestar.

Según las recomendaciones de los ISP, se necesita 28.8 Kbps de ancho de banda efectivo por cada usuario para que este pueda utilizar los servicios tales como navegación Web, correo electrónico y transferencia de archivos (FTP).

De acuerdo al reconocimiento de las instalaciones del Colegio Anexo UTN realizado anteriormente, se tiene 23 computadores las cuales van a utilizar el servicio que presta la red inalámbrica, el ancho de banda que ocupará el Colegio a través de su red LAN se lo calcula a continuación:

Ancho de Banda = 23×28.8 Kbps

Ancho de Banda = 662.4 Kbps

Para los usuarios de las tarjetas PCMCIA se va asignar también un ancho de banda de 28.8 Kbps por tarjeta, teniendo en caso crítico un total de 607 tarjetas, las cuales van a utilizar 17.481 Mbps.

Entre la estación base ubicada en el Edificio Central del Campus Universitario de la UTN y la estación suscriptora ubicada en el Colegio Anexo UTN se va a tener la opción de utilizar el servicio de voz sobre IP. De acuerdo a estudios realizados entorno a la codificación G711 utilizada en VoIP, es necesario un ancho de banda óptimo de 64 Kbps por cada canal de voz.

La red inalámbrica va a tener la opción de brindar el servicio de video conferencia para usuarios que realmente lo necesiten como por ejemplo autoridades y profesores de la Universidad, para esto se va asignar un ancho de banda de 256 Kbps, en base a que la videoconferencia envía y recibe paquetes de datos con el protocolo TCP/IP y que es codificada mediante un CODEC H.320 que tiene mejor rendimiento sobre este tipo de redes, sin embargo esta norma no define los elementos que permiten garantizar la calidad de servicio (QoS) de la aplicación de videoconferencia, estos asumen que el enlace empleado para intercambiar audio y video tiene alguna forma de garantizar que la información llegue íntegra y a tiempo.

De lo analizado anteriormente, para el enlace entre el Edificio Central y el Colegio Anexo UTN se asignará 960 Kbps en donde se está considerando 256 Kbps para cuatro canales de voz.

En la tabla 3.14 se va a indicar el ancho de banda total de la red inalámbrica.

TIPO	Ancho de Banda (Kbps)
Tarjetas PCMCIA	17481
Colegio Anexo UTN	662.4
Voz sobre IP	256
Video Conferencia	256
Total	18655.4

Tabla 3.14: Ancho de Banda Red Inalámbrica.

De la tabla anterior se tiene como resultado que el total que se necesita para la red inalámbrica es de 18,527 Mbps, como esta red esta diseñada con la tecnología WiMAX en la cual especifica un ancho de banda de 75 Mbps de los cuales se tiene que restar los 18.655 Mbps se tiene 56.344 Mbps para utilizarlos en otras aplicaciones según los requerimientos a futuro o para expansión de la red de esta institución.

Para realizar los cálculos de ancho de banda se utilizaron los bits por segundo por cuestiones comerciales, recalcando que el ancho de banda se mide en hertzios y la velocidad de transmisión en bits por segundo.

3.10 DISEÑO LA RED INALAMBRICA

Las razones para usar WiMAX en el diseño de la red inalámbrica, se basan por un lado en sus buenas características técnicas de gran ancho de banda y cobertura de largas distancias incluso sin línea de vista, que se adapta perfectamente a la orografía de la universidad y por otro que aunque se trata de una tecnología aun no regulada en Ecuador, ya es ampliamente usada en Estados Unidos y en otros países de la Unión Europea con muy buenos resultados.

Se analizará los diferentes aspectos que son necesarios para el diseño de la red

inalámbrica:

- Componentes de la red WiMAX.
- Ubicación de los puntos que se van a interconectar.
- Estudio Topográfico.
- Topología de red a utilizarse.
- Cálculo del Enlace.
- Estructura de la red diseñada.
- Seguridades.

3.10.1 COMPONENTES DE LA RED WiMAX.

La red inalámbrica con tecnología WiMAX para la comunidad de la universidad Técnica del Norte estará conformada por los siguientes elementos:

- Estación Base.
- Estaciones Suscriptoras.
- Antenas.

3.10.1.1 Estación Base

Es un dispositivo encargado de transmitir y recibir información hacia los suscriptores que se encuentran dentro de su zona de cobertura, la estación base es la encargada de asignar y controlar el ancho de banda a los diferentes suscriptores.

Normalmente, está compuesta por un mástil al cual están unidas tres grupos de una o varias antenas equidistantes. El uso de varias antenas produce una diversidad de caminos radioeléctricos que permite mejorar la recepción de la información.

3.10.1.2 Estaciones Suscriptoras

3.10.1.2.1 CPE

El CPE es un equipo de telecomunicaciones usado en interiores como en exteriores para originar, encaminar o terminar una comunicación.

Son unidades terminales asociadas a equipamientos de telecomunicaciones, localizadas en el lado del suscriptor y que se encuentran conectadas con el canal de comunicaciones del proveedor o portador de información, sean estos datos, voz o video.

3.10.1.2.2 Tarjetas PCMCIA [10]

Una tarjeta PCMCIA es un dispositivo normalmente utilizado en computadoras portátiles para expandir las capacidades de esta.

Estas tarjetas reciben su nombre del estándar PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association, asociación de la industria de fabricantes de hardware para computadoras u ordenadores portátiles encargada de la elaboración de estándares). Se usan para ampliar capacidades en cuanto a: memoria, disco duro, tarjeta de red, capturadora de radio y TV, puerto paralelo, puerto serial, puerto USB, etc.

Las tarjetas PCMCIA de 16 bits pueden recibir el nombre de PC Card y las de 32 bits el de CARD BUS. Hoy día existe una evolución de dichas tarjetas, son las llamadas Express Card, son más finas pero mantienen las mismas funciones.

3.10.1.3 Antenas

Una antena es un dispositivo capaz de emitir o recibir ondas de radio. Está constituida por un conjunto de conductores diseñados para radiar (transmitir) un campo electromagnético cuando se le aplica una fuerza electromotriz alterna.

De manera inversa, en recepción, si una antena se coloca en un campo electromagnético, genera como respuesta a éste una fuerza electromotriz alterna.

El tamaño de las antenas está relacionado con la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, debiendo ser en general un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda. Por eso a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño. Las antenas son utilizadas generalmente en la estación base.

3.10.1 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS.

El diseño contempla la interconexión del Colegio Anexo UTN y el Edificio Central ubicado en el Campus Principal de la Universidad.

Las coordenadas de cada uno de los sitios mencionados anteriormente son los que se presentan en la siguiente tabla 3.15.

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	a.s.n.m.
Universidad Campus Principal	0° 21' 29" N	78° 6' 37" W	2215
Colegio Universitario	0° 21' 58" N	78° 7' 28" W	2213

Tabla 3.15 Ubicación de los diferentes Puntos.



Figura 3.19: Ubicación de la UTN y el Colegio Universitario en la ciudad de Ibarra.

3.10.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA.

La Universidad Técnica del Norte y el Colegio Universitario se encuentran ubicados en la región norte de la Sierra Ecuatoriana donde se tiene un clima variable y un terreno bastante irregular.

Las gráficas fueron tomadas del Software Radio Móvil y el Software Google Eart Plus que presentan imágenes tomadas desde satélite. En la gráfica 3.20 se visualiza la ubicación de los puntos.

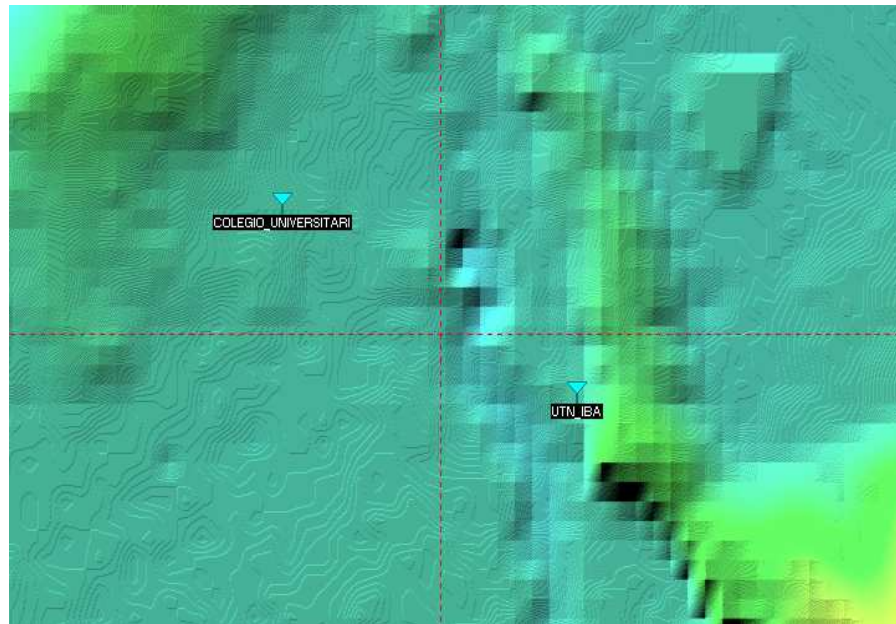


Figura 3.20: Ubicación Geográfica de la UTN y el Colegio Universitario.

3.10.2.1 Perfil Topográfico

En la figura 3.21 nos indica el perfil topográfico entre los dos puntos, ya que es de gran ayuda para saber a que altura se encuentra una en relación de la otra y para tener información de la distancia que existe entre estos puntos, se lo pudo realizar gracias a la ayuda del programa Radio Móvil.

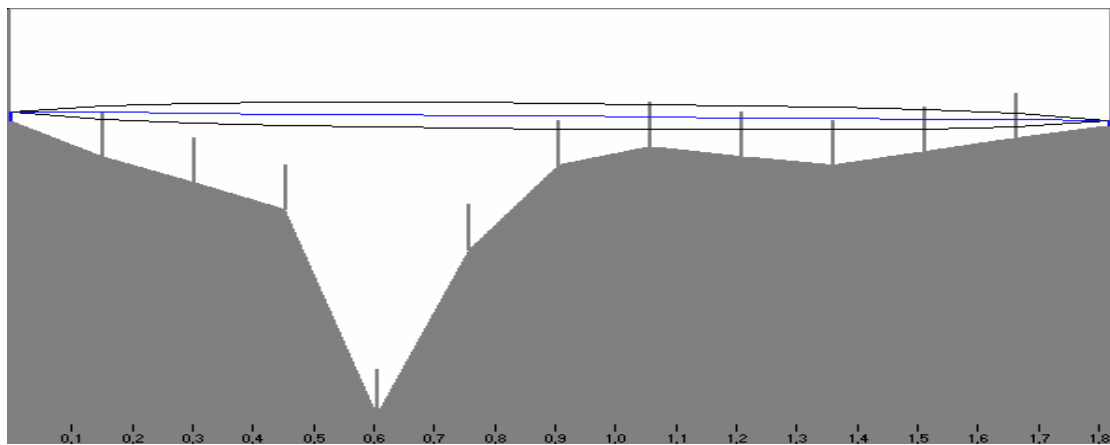


Figura 3.21: Perfil Topográfico.

En la tabla 3.16 tenemos la relación de la distancia y la altura entre la Universidad y el Colegio.

DISTANCIA	ALTURA
0	2214
0,1512	2206
0,3025	2200
0,4537	2194
0,605	2148
0,7562	2185
0,9074	2204
1,0587	2208
1,2099	2206
1,3611	2204
1,5124	2207
1,6636	2210
1,8149	2213

Tabla 3.16: Distancia vs. Altura.

3.10.3 TOPOLOGÍA DE RED [5]

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

Las estaciones base son capaces de soportar su propia interconexión, dividiendo el ancho de banda disponible entre el dedicado a las comunicaciones de usuarios y el dedicado a la interconexión de las diferentes estaciones base.

A continuación se presentan diferentes ejemplos de topología de red:

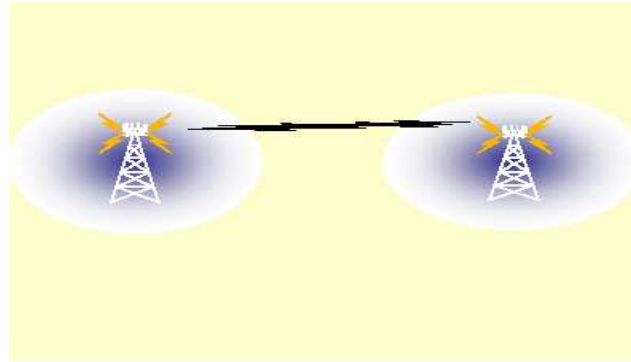


Figura 3.22: Conexiones Punto – Punto.

En la configuración de la figura 3.22 podemos unir diferentes edificios o estaciones base mediante circuitos radioeléctricos dedicados a cada una de las conexiones.

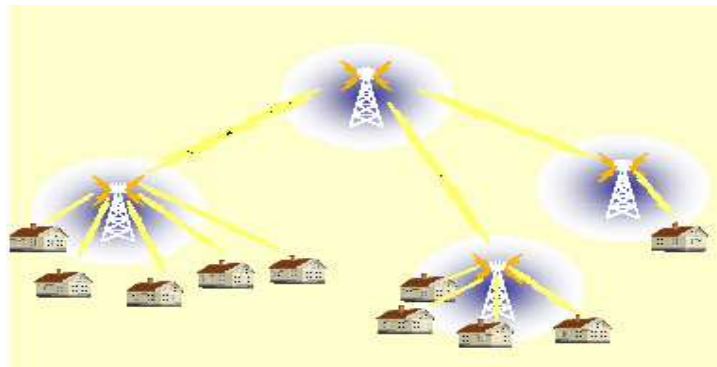


Figura 3.23: Conexiones Punto – Multipunto.

En la figura 3.23, se muestra una arquitectura Punto - Multipunto, en la que cada una de las estaciones base establece conexiones con varias estaciones remotas (para redes que trabajan en la banda inferior de las frecuencias de microondas).

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

La topología Punto - Multipunto ha sido recomendada en ocasiones también para su uso en bandas milimétricas. El problema radica en la topografía de la mayor parte de las ciudades, que podrían ser los principales mercados para este tipo de servicios. Las redes Punto – Multipunto generalmente precisan del empleo de antenas sectoriales, que consisten en un conjunto de antenas direccionales distribuidas alrededor de un mástil central.

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

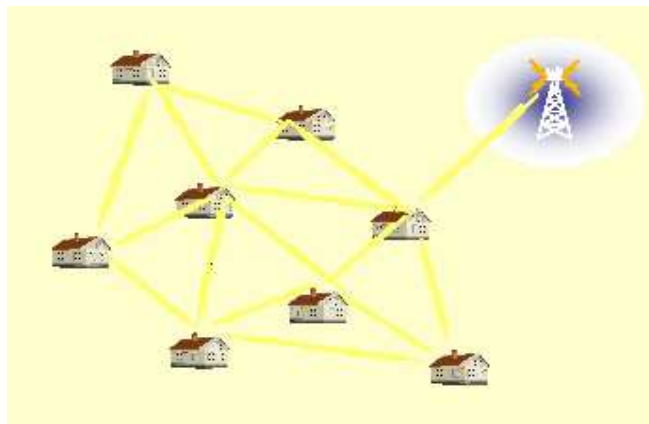


Figura 3.24: Red Mallada.

La figura 3.24 representa una arquitectura de red mallada (red mesh). En una red mesh cada terminal de usuario es capaz de establecer varios enlaces con usuarios adyacentes. De esta forma, existen una serie de alternativas antes de llegar al punto origen de la red. Algoritmos especiales de encaminamiento son capaces de direccionar las comunicaciones por el camino mas adecuado en cada

momento; si un equipo de cliente deja de funcionar, la red sigue funcionando por caminos alternativos.

3.10.4 ANÁLISIS DEL RADIO ENLACE [6]

El cálculo del balance de potencias es el procedimiento que se utiliza normalmente para estimar de una manera rápida si un radio enlace funcionará correctamente. No obstante, debe tenerse en cuenta que se trata de un cálculo teórico, y que por lo tanto está sujeto a variaciones debidas a múltiples factores: apuntamiento de las antenas, reflexiones, interferencias no deseadas, etc. Así pues, se puede utilizar durante la fase inicial de diseño del radio enlace, pero en cualquier caso habrá que realizar las oportunas comprobaciones, medidas y ajustes durante la posterior fase de instalación para asegurar el buen funcionamiento del sistema.

3.10.4.1 Potencia Transmitida

La potencia del transmisor se expresa habitualmente en unidades lineales (mW, W) o logarítmicas (dBm, dBW). Para la conversión entre magnitudes lineales y logarítmicas se utiliza la siguiente fórmula:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log_{10} P(\text{W})/0,001$$

3.10.4.2 Ganancias De Las Antenas Transmisora Y Receptora

La ganancia de la antena se proporciona habitualmente en dB isotrópicos (dBi), es decir, la ganancia de potencia con respecto a un modelo teórico de antena isotrópica que radía la misma energía en todas las direcciones del espacio. En algunos casos, la ganancia se expresa en dBd con respecto a una antena de tipo dipolo. En este caso, se tiene la siguiente fórmula de conversión:

$$G(\text{dBi}) = G(\text{dBd}) + 2,14$$

3.10.4.3 Pérdidas Básicas De Propagación En Espacio Libre

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

$$L_{bas}(dB) = 92,44 + 20 \log_{10} f(\text{GHz}) + 20 \log_{10} d(\text{Km.}) \quad (\text{Fórmula de Friis})$$

3.10.4.4 Pérdidas Adicionales De Propagación¹

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

3.10.4.5 Sensibilidad Del Receptor

El equipo receptor necesita un mínimo nivel de señal para conseguir un funcionamiento aceptable (nivel de calidad), lo que se conoce habitualmente como sensibilidad. Ésta suele expresarse en términos de potencia o tensión de acuerdo con la siguiente fórmula de conversión:

$$S(dBm) = S(dBmV) - 10 \log_{10} R(\Omega) - 30$$

3.10.4.6 Atenuación Específica Debida A La Lluvia

Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente. La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838. La atenuación específica a (dB/Km.) se obtiene a partir de la intensidad de lluvia R (mm/h) mediante la ley exponencial:

$$a = kR^\alpha$$

donde k y α son unas constantes que dependen de la frecuencia y de la polarización de la onda electromagnética.

3.10.4.7 Potencia Isotrópica Efectiva Radiada [7]

El P.I.R.E (potencia isotrópica radiada equivalente) es la potencia equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en un determinado punto, que otra antena.

3.10.4.8 Zonas De Fresnel [7]

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. Así en un punto específico del trayecto, el radio del elipsoide de la n ésima región viene dado por la expresión:

$$R_n = \sqrt{\frac{n * L_A * L_B * \lambda}{L}}$$

Donde:

Rn: Radio de la enésima región del elipsoide Fresnel.

n: Número de la elipsoide.

LA: Distancia desde el punto en estudio al terminal A [m]

LB: Distancia desde el punto en estudio al terminal B [m]

L: Longitud total del trayecto [m]

λ : Longitud de onda = c/f .

c: Velocidad de la luz (3×10^8 [m/s])

f: Frecuencia de trabajo [Hz].

Para el diseño del radio enlace se debe procurar que los posibles obstáculos del trayecto entre los dos puntos no obstaculicen a la zona de Fresnel, pues si esto pasa se producirán atenuaciones por difracción o sombra, las cuales si son elevadas pueden llevar a la inviabilidad del enlace.

3.10.5 CÁLCULO DEL ENLACE

Considerando parámetros promedio de potencia, ganancia y sensibilidad de equipos disponibles en el mercado, se va a realizar el cálculo del enlace entre el Edificio Central de la Universidad Técnica del Norte y el Colegio Anexo UTN ya que entre estos dos puntos se tiene una distancia de aproximadamente 2 Km., no será necesario realizar lo mismo con los otros edificios que forman parte del Campus Principal ya que se encuentran a distancias menores.

El cálculo del enlace se lo realizó con la ayuda del programa Radio Móvil que es un programa que permite el análisis y simulación del área de cobertura de un sistema de radio frecuencia (RF), ya que este programa traza el perfil de las

posibles trayectorias, automáticamente construye el perfil de un enlace de radio entre dos puntos conocidos de forma digital, emplea una extensa base de datos de elevaciones para determinar la existencia de LOS⁵⁶ o línea de vista entre dos puntos, ejecuta los cálculos que permiten automatizar cualquier enlace en cualquier banda de frecuencia, desde HF hasta SHF, permite observar el efecto de cambiar la ganancia de las antenas, altura de las mismas, atenuación de los cables, etc., calcula la pérdida en el espacio libre y la debida a obstrucciones, calcula el área cobertura de una radio base (útil para sistemas PMP punto – multipunto).

En la figura 3.25 se muestra el resultado del calculo del Radio Enlace donde se puede observar que se tienen los valores como distancia, azimut, ángulo de elevación, espacio libre, nivel de recepción y la zona de Fresnel que tiene como valor de 1.2 F1 que indica que el enlace no tiene ningún problema para operar ya que el valor mínimo para la zona de Fresnel es de 0.6 F1.

En este cálculo se consideró una altura de las antenas tanto en la estación base como la estación suscriptora de 2 metros; una potencia de 27 dBm en la estación, base, ganancia de antena omnidireccional de 11 dBi, una potencia de 23 dBm en la estación suscriptora y una sensibilidad de -98 dBm.

⁵⁶ LOS: Line Of Sight

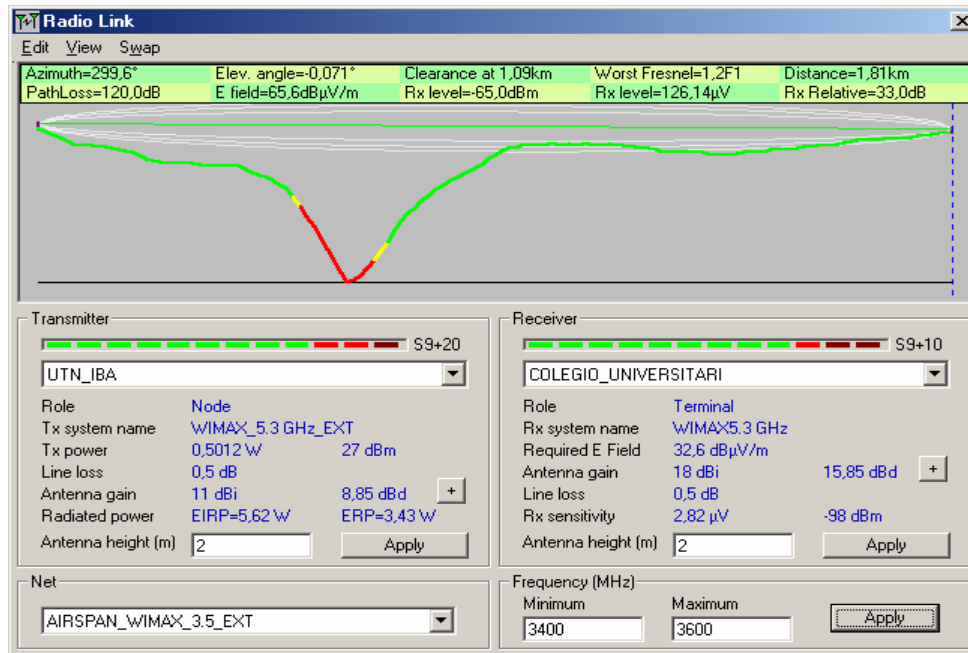


Figura 3.25: Cálculo del Enlace.

En la figura 3.26 se indica el cálculo del enlace desde la Estación Base hacia una tarjeta ubicada en el Colegio Universitario.

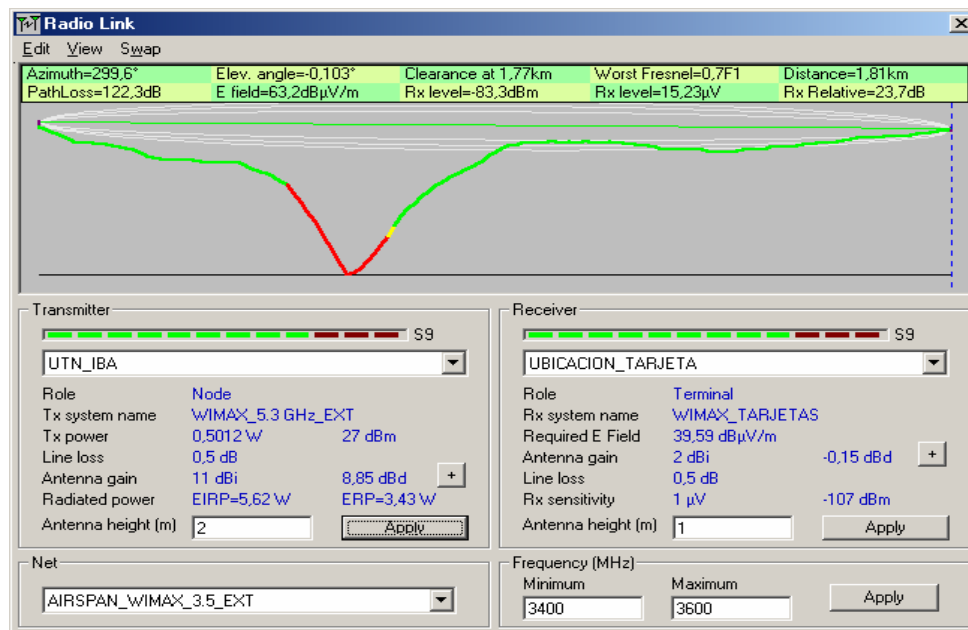


Figura 3.26: Cálculo del Enlace de las Tarjetas.

También se realizó el cálculo del enlace y de los parámetros que intervienen en el diseño del radio enlace tomando las fórmulas expuestas en el subcapítulo 3.9.4 del capítulo anterior cuyos resultados se muestran en el Anexo C.

3.10.6 ÁREA DE COBERTURA

El área de cobertura que va a tener la red inalámbrica dependerá directamente de la potencia de los equipos y las ganancias de las antenas a utilizarse.

Para realizar el cálculo de la cobertura se utilizó el programa radio móvil en el cual se tiene la opción de ir variando la potencia y ganancia de los equipos, gracias a este programa se podrá obtener una distancia máxima a la cual los usuarios pondrán acceder a los servicios que brindará la red inalámbrica, todo usuario que se encuentre dentro de esta área podrá acceder sin ningún problema a los servicios que brinda la red inalámbrica con tecnología WiMAX.

En la figura 3.27 se muestra el lóbulo de radiación de la antena omnidireccional utilizada en la estación base.

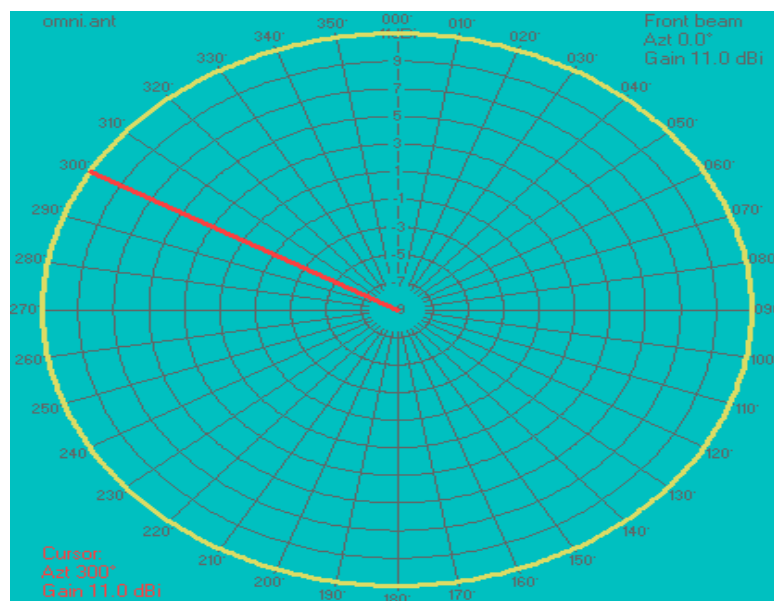


Figura 3.27: Lóbulo de Radiación.

Para que un usuario pueda tener el servicio dentro de la cobertura que brinda la red depende del tipo de modulación empleada que se utilizan diversas relaciones señal a ruido. Los usuarios más lejanos se atienden con modulación BPSK y los más próximos a la estación base con 64 QAM. A continuación en la figura 3.28 se puede ver las diversas relaciones de protección de WiMAX con modulación adaptiva.

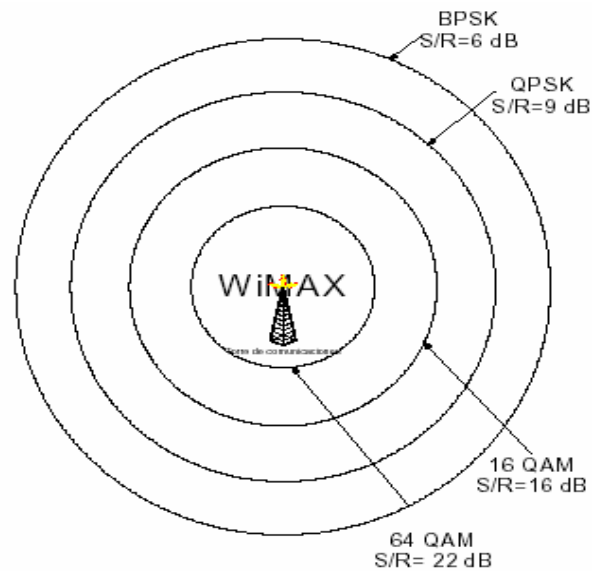


Figura 3.28: Relaciones de protección para las diversas modulaciones.

En la tabla 3.17 se indican los caudales de datos para las distintas modulaciones y ancho del canal en MHz.

Ancho de Banda del Canal	QPSK	16QAM	64QAM
	Caudal máximo de datos (Mbps)	Caudal máximo de datos (Mbps)	Caudal máximo de datos (Mbps)
20	32	64	96
25	40	80	120
28	44.8	89.6	134.4

Tabla 3.17: Caudal máximo de datos de WiMAX.

3.10.7 ESTRUCTURA DE LA RED INALÁMBRICA

La red inalámbrica estará compuesta por una estación base, una estación suscriptora fija (CPE) y varios terminales móviles a través de tarjetas inalámbricas WiMAX PCMCIA.

La red Inalámbrica utilizará una topología punto-multipunto y contará con una estación base ubicada en el Edificio Central del Campus Principal que va a tener una antena externa tipo omnidireccional con lo cual se va a cubrir toda el área que corresponde al Campus Universitario y al Colegio Universitario.

En el Colegio Anexo UTN se va a colocar una estación suscriptora (CPE) que se comunicará con la estación base permitiendo la conexión entre el Colegio y la Universidad, esta estación suscriptora se va a acoplar a la red LAN existente en el Colegio.

La red del Colegio Universitario es independiente a la red que hay en la Universidad por lo que se debería asignar una dirección IP que pertenezca a la red del Campus Universitario, se deben cambiar las configuraciones de las IP en la red LAN del Colegio para que todos los usuarios de esta red puedan acceder a los servicios que proporciona la red de la Universidad.

En las figuras 3.29 y 3.30 se muestran la ubicación de la estación base y de la estación suscriptora tanto en la Universidad Técnica del Norte y el Colegio Universitario.



Figura 3.29 Ubicación de la estación base en la Universidad Técnica del Norte.

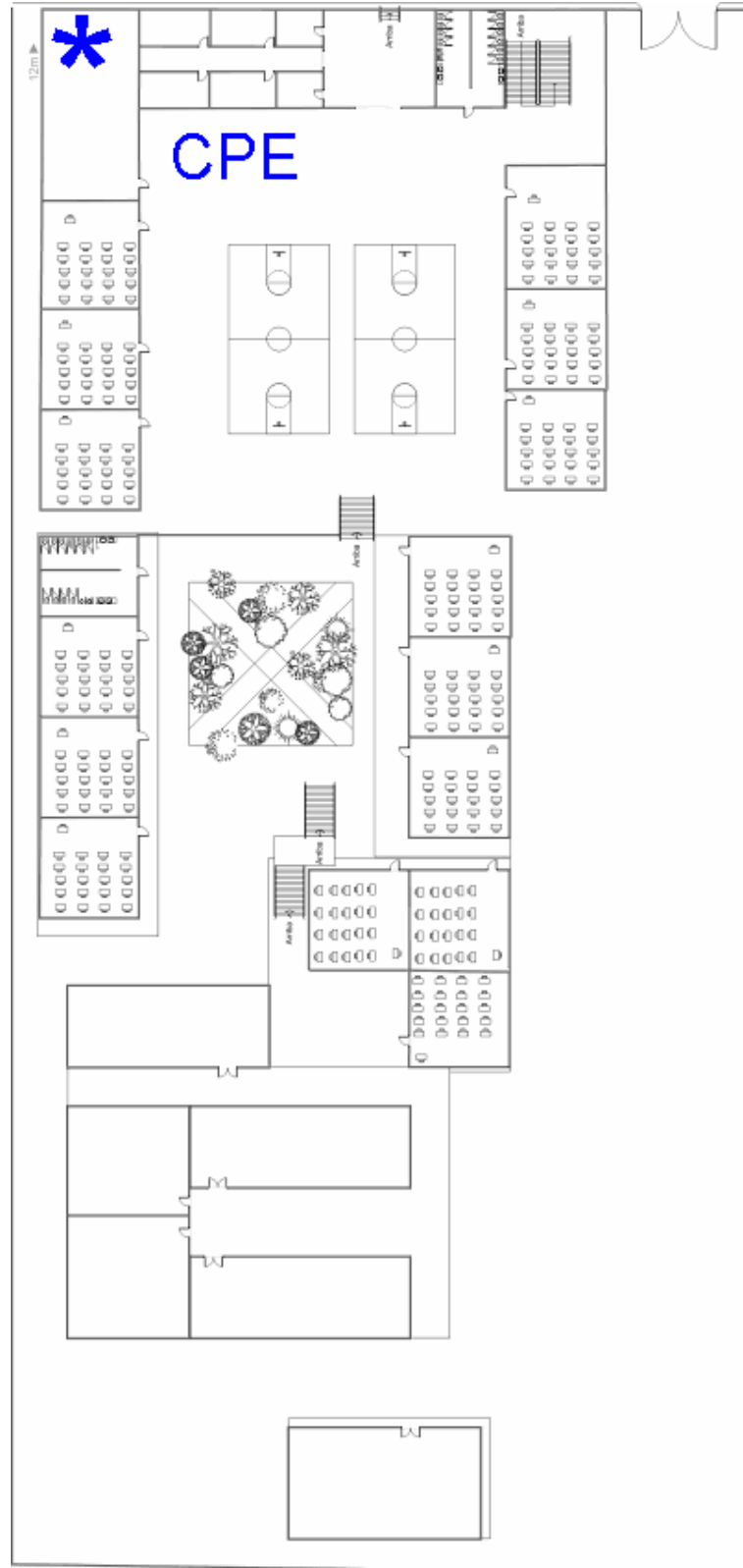


Figura 3.30: Ubicación del CPE en el Colegio Universitario.

Las tarjetas PCMCIA trabajan con el estándar 802.16e para que las personas que tengan computadores portátiles puedan conectarse desde cualquier lugar en los alrededores del colegio y la universidad, sean estas cafeterías, laboratorios, parqueaderos, aulas, auditorio y todos los lugares que se encuentren dentro de la cobertura que otorgará la estación base.

La red inalámbrica garantiza que los usuarios van a tener el servicio siempre que se encuentren dentro del área de cobertura sin necesidad de tener línea de vista con la estación base, pueden utilizar todos los servicios que presta la red existente en la universidad, la diferencia es que se va a poder utilizar en cualquier lugar sin necesidad de tener que dirigirse a los lugares como los centros de cómputo para poder acceder al Internet.

La estación base es configurable al estándar 802.16e para que se pueda comunicar con todas las tarjetas asignadas a los diferentes usuarios que requieran utilizar este servicio.

Las especificaciones y características generales de los equipos a utilizarse en este diseño se los va a analizar en el capítulo siguiente.

La implementación de la red WiMAX debe ser independiente a la red LAN cableada existente en el campus de la Universidad Técnica del Norte, esto es una ventaja pues proporcionará independencia a la hora de asignar direcciones IP a los usuarios, evitando problemas de direcciones IP repetidas y permitiendo el uso de un servidor DHCP para la asignación de direcciones IP tanto a los usuarios inalámbricos dentro de la cobertura de la red, así como a las estaciones fijas ubicadas en el Colegio Anexo.

El servidor DHCP será implementado en la estación base, de esta forma en la estación base se configurará:

- Servicio de asignación de direcciones (DHCP) y el rango de direcciones IP a otorgar.
- Dirección IP de la estación base.

- Mascara de red.
- Gatee ay de la red inalámbrica WiMAX.
- Seguridad de red a través de filtrado MAC (ACR MAC Adres).

En el Colegio Anexo se empleará una estación suscriptora, la cual deberá funcionar en modo bridge para conectar la red del colegio a la estación base ubicada en el campus de la universidad.

Para la conectividad de la red inalámbrica WiMAX, se debe realizar la configuración de una interfaz ethernet en el router principal ubicado en la sala de computo del Edificio Central, además se deberá actualizar la tabla de ruta existente en el mismo para permitir la integración de la red WiMAX con la red LAN cableada de la universidad.

En la figura 3.31 se muestra un esquema de la topología utilizada para el diseño de la red inalámbrica utilizando tecnología WiMAX.

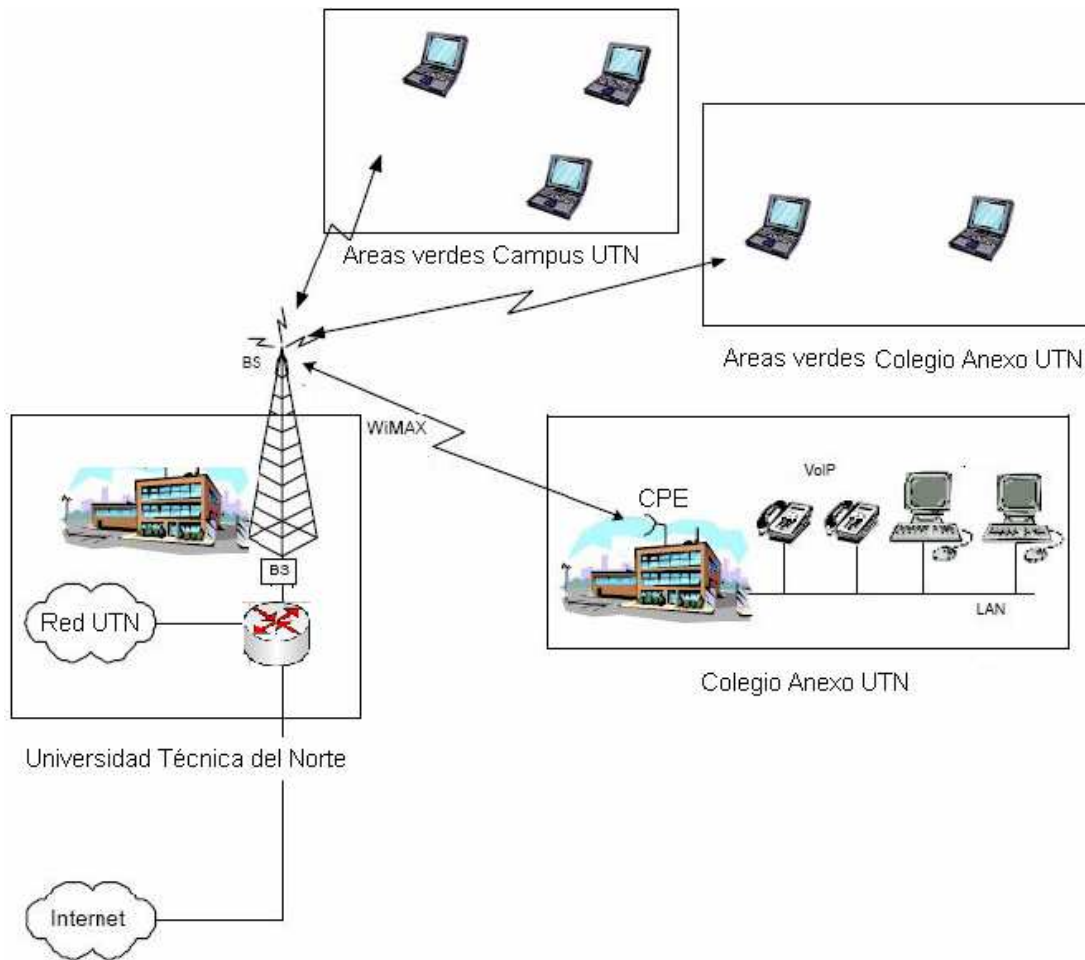


Figura 3.31 Esquema de la Red Inalámbrica.

3.10.8 VIDEOCONFERENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

3.10.8.1 Video Conferencia

Se denomina Videoconferencia al sistema que permite a un grupo de personas ubicadas en lugares distantes establecer una conversación como si estuvieran todas reunidas en una misma sala, así los participantes pueden escucharse y verse unos a otros.

El desarrollo de algoritmos de compresión de voz y video, los avances en tecnologías de telecomunicaciones hacen hoy en día que la videoconferencia sea un servicio asequible para la mayoría de empresas e instituciones.

La videoconferencia es una herramienta que permitirá a la comunidad de la Universidad Técnica del norte la posibilidad de realizar sesiones creativas, de capacitación y educación, visitas virtuales o juntas de directorio.

Los sistemas de videoconferencia vienen en dos presentaciones de acuerdo al tipo de aplicación: personal y para reuniones.

3.10.8.2 Videoconferencia Personal

Llamados desktop system, se basan en computadores personales dotados de cámara web, tarjeta de audio y software destinado a la codificación y decodificación de señales. Este sistema es el ideal para uso individual o de grupos pequeños.

3.10.8.3 Videoconferencia para Reuniones

Los sistemas de videoconferencia para reunión denominados Room Systems son los más comunes en la actualidad y realizan la videoconferencia a través de grandes monitores de televisión, cámaras, sistemas de amplificación y un codec.

3.10.8.4 Videoconferencia a través de WiMAX

Para brindar este servicio en la Universidad Técnica del Norte se ha considerado la utilización del software Toomeeting, elaborado por Toomeeting Factory pues dados los potenciales de ancho de banda en los enlaces inalámbricos de WiMAX, con el software en mención únicamente hace falta la conectividad y la interoperabilidad que proporciona la red inalámbrica motivo del Presente Proyecto de Titulación.

Toomeeting proporciona dos modalidades de videoconferencia:

- Sala Moderada, en la que existe un moderador quien controla a los participantes, cediendo los turnos de participación y uso de las diferentes herramientas.
- Sala libre, donde todos los participantes de la sala tienen los mismos permisos pudiendo utilizar las diferentes herramientas a su criterio.

Las herramientas que Toomeeting ofrece son:

- Chat Público entre los diferentes usuarios.
- Chat Privado entre usuarios, o entre moderador y usuarios.
- Voz, multidireccional y Full duplex.
- Videoconferencia Multidireccional, Ve al usuario que habla. Sistema inteligente de detección y configuración WebCam.
- Full Desk. Multidireccional: Cualquier usuario puede compartir su PC o aplicación.
- con el resto de participantes Control Remoto de Aplicaciones.
- Multidireccional. Cualquier usuario puede ceder el control de su P.D. a otro usuario.
- Envío de ficheros entre usuarios.
- Visualización de Vídeos.
- Realización de Test y Encuestas online.
- Navegación Asistida.
- Blackboard. Para dibujar, anotar y señalar.
- Visualizador de diapositivas de gestión múltiple por los participantes.

Para la puesta en funcionamiento de esta solución de videoconferencia es necesario un computador dotado de características multimedia, tales como tarjeta de sonido, cámara web y tarjeta de video con entradas y salidas de video RCA o s-video que permitan el acople de dispositivos como videocámaras o monitores. Los computadores serían ubicados en las salas destinadas para Audiovisuales de cada facultad y de la Biblioteca Central, la ubicación de las salas se detallan en el reconocimiento del lugar realizado en el capítulo 3.

La figura 3.32, muestra la interfaz de usuario de Toomeeting, en el anexo I se encuentra el catálogo correspondiente a esta herramienta de videoconferencia.



Figura 3.32: 1) Listado de participantes; 2) Controles de Usuario; 3) Chat; 4) Panel de visualización.

3.10.9 SEGURIDAD

En vista de que WiMAX fue diseñado para brindar coberturas extensas incluye medidas para la autenticación de usuarios y encriptación de datos. Un proceso de encriptación de datos conlleva a tiempos mayores de respuesta debido al procesamiento adicional que se le da a la información por esta razón se implementará un sistema de seguridad basado en filtrado MAC pues cada tarjeta PCMCIA tiene una dirección MAC única que será validado por la estación base.

De lo expuesto anteriormente un usuario únicamente podrá utilizar los servicios de la red si tiene una tarjeta PCMCIA que ya esta ingresada en una lista

ingresada a través del software de gestión en la estación base por el administrador de la red.

Un segundo nivel de seguridad es utilizando VLAN ya que los equipos WiMAX tienen la opción de habilitarlas, estas se activan para que la estación Base se pueda comunicar con la estaciones suscriptoras, si una estación suscriptora no tiene la VLAN de gestión no podrá comunicarse y no brindará ningún servicio, este nivel de seguridad permitirá a los usuarios seleccionados a obtener servicios como información de notas acceso a bibliotecas virtuales, descarga de archivos, etc.

También se utilizará un identificador de BSR AIR MAC Address que es un identificador que será asignada por el administrador de la red por medio del software de gestión, este identificador deben tener tanto la estación base como las estaciones suscriptoras para que la comunicación entre estas se pueda realizar.

CAPITULO 4

PRINCIPALES PRODUCTOS INALÁMBRICOS CON TECNOLOGÍA WIMAX

4.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo se va a realizar el análisis de varios equipos con tecnología WiMAX que cumplan con los requerimientos que fueron analizados en el diseño de la red inalámbrica en capítulo anterior.

4.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS EQUIPOS

En el mercado existen algunos fabricantes de equipos WiMAX que poseen diferentes modelos y trabajan en varias bandas de frecuencia, cada fabricante oferta sus equipos de acuerdo a ellas.

A continuación mencionaremos las características técnicas de algunos equipos WiMAX de acuerdo a cada fabricante.

4.2.1 PROXIM

Proxim tiene como objetivo acelerar la introducción de servicios de acceso inalámbrico de banda ancha, de manera eficiente y a bajo costo.

La disponibilidad de tecnología probada, la creación de estándares y grupos de trabajo, así como la necesidad de proporcionar múltiples servicios a zonas no abastecidas, hacen que WiMAX sea no sólo un mecanismo de competencia sino una herramienta que puede implantarse en cualquier parte del mundo.

Por tal motivo Proxim introduce los modelos Tsunami MP.11 Modelo 2454 – R, 5054 – R y Tusami MP. 16 3500 sistema Wireless punto – multipunto.

En la figura 4.1 se muestra el equipo Tsunami MP.11 Modelo 2454 – R.

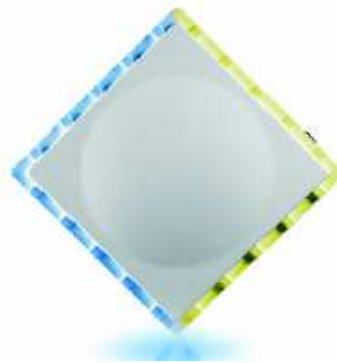


Figura 4.1: Tsunami MP.11 Modelo 2454 - R

En la tabla 4.1 se muestra algunas características técnicas de estos equipos.

CARACTERISTICAS	Tusami MP.11 2454 - R	Tusami MP.11 2454 - R	Tusami MP.16 3500
Banda de Frecuencia	2.4 - 2.4835 GHz (13 canales)	5,25 - 5,35 GHz, 5,47 - 5,725 GHz, 5,725 - 5850 GHz	3,400 - 3,600 GHz
Estándar	802,16 – 2004	802,16 – 2004	802,16 - 2004
Duplexing Mode	TDD	TDD	TDD
Ancho de Canal	2,4 MHz	5,3 MHz	3,5 MHz
PHY	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Tipo de Modulación	OFDM, BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM	OFDM, BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM	OFDM, BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM
Potencia de Transmisión	21 dBm	21 dBm	21 dBm
Ganancia de la Antena	SS Antena Interna 18 dBi BS depende de la antena externa	SS Antena Interna 23 dBi BS depende de la antena externa	SS Antena Interna 18 dBi, Antena externa omnidireccional 8 dBi
Interfaz	10/100 Base T Full Duplex	10/100 Base T Full Duplex	10/100 Base T Full Duplex
Precio	\$1,971.00	\$2,971.00	\$2,720.11

Tabla 4.1: Características de Equipos Proxim

4.2.2 AXXCELERA BROAD BAND WIRELESS [12]

Axxcelera Broad Band Wireless es una compañía que brinda soluciones de tecnología inalámbrica de banda ancha para acceso a Internet. Axxcelera es un miembro principal en el Foro WiMAX.

Esta compañía fabricó varios equipos que trabajan en diferentes bandas de frecuencias como el ExxcelMax y el AB – MAX.

ExxcelMax y el AB – MAX son equipos de banda ancha que podrán ser utilizados no solo por la parte del mercado empresarial si no también en el mercado residencial.

El ExxcelMax es una estación base punto – multipunto que esta diseñada para operar en la banda 3.3 – 3.8 GHz., soporta tres modos de duplexación Full Duplex y Half Duplex en FDD y TDD, mientras que el AB – MAX trabaja en las en la banda 5.25 – 5.35 GHz, 5.47 – 5.725 GHz y 5.725 – 5.850 GHz.

Trabajan con el estándar Wimax 2004 y no necesitan línea de vista (NLOS), brindan QoS para las diferentes aplicaciones lo que permite que un proveedor de servicios pueda ofrecer un servicio diferente para los diferentes usuarios.

En la figura 4.2 y 4.3 se muestran los equipos ExxcelMax. y el AB – MAX respectivamente.



Figura 4.2: ExxcelMax.



Figura 4.3: AB – MAX.

A continuación en la tabla 4.2 enumeramos algunas características técnicas de los dos equipos.

CARACTERISTICAS	ExxcelMax	AB - Max
Banda de Frecuencia	3,3 - 3,8 GHz	5,25 - 5,35 GHz, 5,47 - 5,725 GHz, 5,725 - 5850 GHz
Estándar	802,16 – 2004	802,16 - 2004
PHY	OFDM	OFDM
Duplexing Mode	Full Duplex FDD, Half Duplex FDD, TDD	Full Duplex FDD Half Duplex FDD TDD
Ancho de Canal	14 MHz (opcional), 10 MHz , 7 MHz, 3,5 MHz y 1,75 MHz	5 MHz, 10 MHz, 15 MHz Y 20 MHz
Tipo de Modulación	64 QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Potencia de Transmisión	27 dBm	18 dBm 21 dBm (opcional)
Sensibilidad de Recepción	- 100 dBm	- 92 dBm
Ganancia de la Antena	Antena Externa 16,5 dBi (60°), 14 dBi (90°), 10 dBi (omnidireccional)	18 dBi
Interfaz	10/100 Base T Full Duplex	100 Base T Ethernet
Precio	\$3,021.00	\$3,415.00

Tabla 4.2: Características Técnicas

4.2.3 APERTO [13]

Aperto® Networks es un proveedor líder de soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha de nueva generación. Ofreciendo sus soluciones a mercados globales, Aperto® entrega sistemas de acceso de última milla punto-multipunto y punto a punto de nivel “carrier class” para operar en las bandas de frecuencia de 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5 GHz. La tecnología de Aperto® satisface las necesidades de los proveedores de servicios y operadores, al ofrecer una plataforma que permite desplegar servicios de acceso de banda ancha a escala masiva. La familia de sistemas PacketWave® y PacketMAX® permiten una implementación rápida, escalable, con soporte a servicios múltiples (voz, datos, video), efectivos contra el costo y de fácil instalación. Aperto® Networks participa activamente en la creación de redes de acceso de alto nivel y capacidad en diversos países en el mundo.

El PacketMax esta formado por varios modelos de estaciones base y de estaciones suscritores las cuales enumeramos a continuación:

- Estaciones Bases
 - PacketMax 5000.
 - PacketMax 3000.
 - PacketMax 2000.
- Unidades Suscriptoras
 - PacketMax 100 Series
 - PacketMax 300 Series
 - PacketMax 500 Series

- PacketMax 20

En las figuras 4.4 y 4.5 se muestran los equipos Aperto PacketMax



Figura 4.4: Estaciones Base PacketMax.



Figura 4.5: Estaciones Suscriptoras.

En la tabla 4.3 indicaremos las características técnicas de estos modelos.

CARACTERISTICAS	PacketMax Base Estacion	PacketMax CPE
Modelos	PacketMax 5000 PacketMax 3000 PacketMax 2000	PacketMax 100 PacketMax 300 PacketMax 500
Estándar	802,16d - 2004, 802.16 e – 2005	802,16d - 2004, 802.16 e - 2005
Duplexing Mode, PHY	TDD, OFDM 256 FFT, SOFDMA 512, 1024 FFT	TDD, OFDM 256 FFT, SOFDMA 512, 1024 FFT
Banda de Frecuencias	2.5, 3.5, 5 GHz	2.5, 3.5, 5 GHz
Potencia de Transmisión	17 dBm, 20 dBm, 30 dBm	PM100:19 dBm, PM300/PM500: 19 dBm
Interfaz	2 100/1000 Ethernet PM 5000 10/100 Ethernet PM 3000 y PM 2000	10/100 Ethernet
Acceso Remoto	Telnet, SNMP, HTTP	Telnet, SNMP, HTTP
Precio	N/D	N/D

Tabla 4.3: Características Equipos Aperto.

4.2.4 ALVARION [14]

Alvarion como miembro del Foro Wimax es uno de los principales interesados en el desarrollo de la tecnología WiMAX para producir equipos que manejen este estándar.

Durante una década, Alvarion ha estado desarrollando y ha ofrecido tecnologías inalámbricas de banda ancha para proveedores de servicios, municipalidades y empresas.

Desde el principio de la industria, Alvarion ha sido un líder en el mercado de acceso inalámbrico de banda ancha (BWA), siendo el vendedor más grande del mundo en equipos para diseñar redes inalámbricas.

Por tal motivo Alvarion introduce la familia BreezeMAX, la cual posee una avanzada tecnología OFDM para soportar operaciones sin línea de vista (NLOS), modulación adaptable y eficiencia espectral, permitiendo a operadores empezar a construir su red Wimax.

El sistema BreezeMAX consta de los siguientes componentes:

- Equipos de Estaciones Bases.
 - De alta densidad.
 - Micro estación base.

- Equipo de usuarios CPEs BreezeMAX
 - BreezeMAX CPE IDU
 - BreezeMAX CPE ODU

En la figura 4.3 se indica los modelos y componentes de las Estaciones Bases FreezeMAX

Base Station Equipment Components

Product Type	Product Name	Product Description
High Density Base Station Equipment	BMAX-BST-SH	BreezeMAX base station shelf
	BMAX-BST-NPU	BreezeMAX base station network processor unit
	BMAX-BST-AU-IDU-2CH	BreezeMAX base station access unit interface module
	BMAX-BST-PSU	BreezeMAX base station power supply unit
	BMAX-BST-PIU	BreezeMAX base station power interface unit
Micro Base Station Equipment	BMAX-MBST-IDU-2CH-AC	BreezeMAX micro base station indoor unit, AC power
	BMAX-MBST-IDU-2CH-DC	BreezeMAX micro base station indoor unit, DC power
Base Station Radio Equipment	BMAX-BST-AU-ODU	BreezeMAX base station outdoor radio unit

Figura 4.3: Componentes de Estación Base

En la figura 4.4 se indica los modelos y componentes de las Estaciones Suscriptores FreezeMAX.

Customer Premises Equipment Components

Product Type	Product Name	Product Description
CPE Indoor Equipment	BMAX-CPE-Si	BreezeMAX self install indoor CPE unit with one 10/100 BaseT or USB 1.1/2.0 data port
	BMAX-CPE-IDU-1D	BreezeMAX broadband data CPE indoor module with one 10/100 BaseT data port
	BMAX-CPE-IDU-VG-1D1V	BreezeMAX broadband voice gateway CPE indoor module with one 10/100 BaseT data port + one RJ11 POTS Port
	BMAX-CPE-IDU-VG-1D2V	BreezeMAX broadband voice gateway CPE indoor module with one 10/100 BaseT data ports + two RJ11 POTS Port
	BMAX-CPE-IDU-NG-4D1WLAN	BreezeMAX networking gateway CPE indoor module with four 10/100 BaseT data ports + one 802.11b/g wireless interface
CPE Outdoor Equipment	BMAX-CPE-ODU-PRO-SA	BreezeMAX subscriber outdoor radio unit with integrated vertical antenna
	BMAX-CPE-ODU-PRO-SE	BreezeMAX subscriber outdoor Equipment radio unit with external antenna

Figura 4.4: Componentes de Estación Suscriptor

En la figura 4.6 indica a la Familia FreezeMAX.



Figura 4.6: Equipos FreezeMAX.

En la tabla 4.4 se indica las características de los equipos de la Familia BreezeMAX.

CARACTERISTICAS	BreezeMAX Estación Base	BreezeMAX CPE
Estándar	802,16 - 2004, futuro 802.16 e	802,16 - 2004, futuro 802.16 e
Banda de Frecuencias	1.5GHz; 2.3GHz WCS; 2.5GHz BRS ; 3.3 - 3.8GHz ; 5 GHz	1.5GHz; 2.3GHz WCS; 2.5GHz BRS ; 3.3 - 3.8GHz ; 5 GHz
PHY	OFDM 256 FFT with uplink OFDMA and future support of SOFDMA for mobile WiMAX	OFDM 256 FFT with uplink OFDMA
Duplexing Mode	FDD, TDD	FDD, TDD
Modulación	64QAM to BPSK (8 adaptive levels)	64QAM to BPSK (8 adaptive levels)
Ancho de Canal	1.75MHz, 3.5GHz, 5MHz, 7MHz, 10 MHz	1.75MHz, 3.5GHz, 5MHz, 7MHz, 10 MHz
Potencia de Transmisión	34dBm	20 y 24 dBm
Ganancia Antena	Antena Externa 60°, 90°, 120° Omnidireccional	Antena Interna 18 dBi
Interfaz	10/100/1000 Base-T, E1/T1	10/100 Base-T, 802.11g Wi-Fi, RJ-11 POTS, E1/T1
Precio	\$3,714.00	\$711.00

Tabla 4.4: Características Técnicas Equipos Alvarion.

4.2.5 AIRSPAN [15]

Airspan está enfocado en proporcionar acceso inalámbrico que iguale y supere el desempeño y la funcionalidad de las alternativas de acceso de banda ancha alámbrico con una solución adecuada para los mercados residencial, de la pequeña y mediana empresa (PyME) y con aplicaciones para redes de acceso troncal de banda ancha. Esto significa sistemas de acceso basados en estándares (IEEE, WiMAX, ETSI, FCC) como soporte para instalaciones celulares densas, alta escalabilidad de redes, operaciones con línea de vista o sin línea de vista y gestión de calidad de servicio (Quality of Service, QoS) de extremo a extremo en topologías punto multipunto.

Con esta visión en mente, Airspan desempeña roles importantes en los Grupos de Tareas IEEE 802.16 y en ETSI BRAN para contribuir al desarrollo de estándares de interfaces de aire interoperables. La compañía también es miembro de la junta directiva del foro WiMAX (World Wide Interoperability for Microwave Access) para

asegurar que la certificación de la industria respecto de las normas y la interoperabilidad entre proveedores proceda en forma rápida y eficaz.

Airspan se encuentra orgulloso de introducir AS.MAX a la industria de las telecomunicaciones con un mayor rango de productos Wimax, que consisten de tres diferentes soluciones de estación base y un rango de CPE ya sea para interiores o exteriores.

Airspan ha escogido la tecnología AS.MAX cuidadosamente para proporcionar a operadores el poder operar a futuro con el estándar 802.16 y el servicio WiBRO.

Entre los componentes del AS.MAX se tienen:

- Estaciones Bases
 - HiperMAX
 - MacroMAX
 - MicroMAX
- Equipos de Usuario CPE
 - EasyST
 - ProST
 - PrimeMAX

En las figuras 4.7a, 4.7b y 4.7c se muestran los diferentes modelos de estaciones base de los equipos AS.MAX.



a) MicroMAX



Figure 4: HiperMAX ACTA based indoor rack mounted equipment and outdoor SCRT/MCRT



b) HiperMAX



c) MacroMAX.

Figura 4.7: Modelos de Estaciones Base AS.MAX

En las figuras 4.8a, 4.8b y 4.8c se muestran los Equipos de Usuario AS.MAX



a) EasyST



b) ProST



c) PrimeMAX

Figura: 4.8 CPE AS.MAX

A continuación en la tabla 4.5 se indican características técnicas de las Estaciones Base AS.MAX

CARACTERISTICAS	HiperMAX	MacroMAX	MicroMAX
Estándar	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)
Banda de Frecuencias	3.4-3.6GHz initially + subsequent additional WiMAX bands	3.4-3.6GHz initially + subsequent additional WiMAX bands	3.4-3.6GHz initially + subsequent additional WiMAX bands
PHY	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Duplexing Mode	FDD + TDD	FDD + TDD	FDD + TDD
Modulación	64QAM , 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM , 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM , 16QAM, QPSK, BPSK
Perfiles Wimax que soporta	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T
Potencia de Transmisión	De subida hasta 32 dBm por antena	De subida hasta 37 dBm por antena	27 dBm
Ganancia Antena	Antena Externa 60°, 90°, 120° Omnidireccional	Antena Externa 60°, 90°, 120° Omnidireccional	5.8 T1 de 60° 12 dBi 3.5 T1 y F1 de 15° 18 dBi 3.5 T1 y F1 de 60° 12 dBi

Sensibilidad	-115dBm (1/16), -100dBm (1/1)	-115dBm (1/16), -100dBm (1/1)	-115dBm (1/16), -100dBm (1/1)
Precio	\$35,000.00	\$20,250.00	\$3,078.00

Tabla 4.5: Características de Radio Base marca Airspan

A continuación en la tabla 4.6 se indican características técnicas de los CPEs AS.MAX

CARACTERISTICAS	PriMAX	EasyST	Prosa
Estándar	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)	IEEE 802.16-2004 (Software upgradeable to 802.16e)
Banda de Frecuencias	3.4-3.6GHz, 5.8 GHz initially + subsequent additional WiMAX bands	3.4-3.6GHz, 5.8 GHz initially + subsequent additional WiMAX bands	3.4-3.6GHz, 5.8 GHz initially + subsequent additional WiMAX bands
PHY	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT	OFDM 256 FFT
Duplexing Mode	HFDD + TDD	HFDD + TDD	HFDD + TDD
Modulación	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK
Perfiles Wimax que soporta	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T	3.5F1, 3.5F2, 3.5T1, 3.5T2, 5.8T
Potencia de Transmisión	+24 dBm	De subida hasta 23 dBm	De subida hasta 23 dBm
Ganancia Antena	Antena Externa 60°, 90°, 120° Omnidireccional	6 dBi 4x90 Omnidireccional	15 dBi, 18 dBi
Sensibilidad	-98 dBm	-98 dBm	-98 dBm
Precio	\$789.00	\$412.00	\$523.00

Tabla 4.6: Características CPEs marca Airspan

4.2.6 TELSIMA [16]

Telsima es una empresa innovadora, la cual mediante la tecnología WiMAX pretende presentar ventajas económicas para ofrecer servicios móviles multimedia, usos más efectivos de red y de espectro ofreciendo la posibilidad de más suscriptores. El portafolio de productos de Telsima está basado en el estándar IEEE 802.16e-2005.

Telsima ofrece una variedad de equipos con tecnología WiMAX, tales como estaciones suscriptoras portables StarMAX 3100 WiMAX Mobile Station, mostrada en la figura 4.9, estaciones base móviles StarMAX 6400 Mobile WiMAX mostrada en la figura 4.10.



Figura 4.9: Estación suscriptor StarMAX 3100.



Figura 4.10: Radio base StarMAX 6400 Mobile WiMAX.

Telsima además oferta la línea StarMAX 3200 PCMCIA WiMAX Mobile Station, que permitirá la conectividad inalámbrica a través de una tarjeta PCMCIA tanto a

computadores portátiles y a PDAs, en la figura 4.11 se aprecia la tarjeta PCMCIA correspondiente al modelo descrito.



Figura 4.11: Tarjeta PCMCIA StarMAX 3200.

En la tabla 4.7 se aprecia las características principales de los productos con tecnología WiMAX de Telsima.

CARACTERISTICAS	WiMAX Base Station	WiMAX Mobile Station	WiMAX PCMCIA Card
Modelo	Telsima StarMAX™ 6400	StarMAX™ 3100	StarMAX™ 3200
Standard	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005
PHY	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Frecuencias	2.3 to 2.7 GHz, 3.3 to 3.8GHz	2.3 to 2.7 GHz, 3.3 to 3.8GHz	2.3 to 2.7 GHz, 3.3
Channel Bandwidth	5 MHz, 10 MHz	5 MHz, 10 MHz	5 MHz, 10 MHz
Duplex Method	TDD	TDD	TDD
Antena	No	Inteligente, integrada de 4 elementos; 10 dbi	Integrada, 4 dbi
Precio	\$7,824.00	\$289.00	\$301.00

Tabla 4.7: Características de los equipos Telsima.

4.2.7 ZYXEL [17]

La empresa ZYXEL, actualmente ofrece productos y servicios para acceso a Internet tales como routers, switches, módems ADSL, firewalls, productos relacionados con VoIP y recientemente con una gama de productos basados en la tecnología WiMAX como la estación suscriptora MAX-200M1 mostrada en la figura 4.12, o las tarjetas PCMCIA de las series Max-100, Max-110 y Max-130, mostrada en la figura 4.13.



Figura 4.12: Estación suscriptora MAX-200M.



Figura 4.13: Tarjeta PCMCIA Max-100.

La serie MAX-100 soporta el estándar IEEE 802.16e-2005 también conocido como WiMAX. La MAX-100, provee a los usuarios acceso inalámbrico de banda

ancha permitiendo libertad en la navegación en Internet y acceso a cualquier dato mientras se encuentre bajo la cobertura WiMAX, en el hogar, la oficina o en movimiento. Posee un puerto PCMCIA Tipo II, indicador de poder, estado de conexión y antena giratoria.

Tiene una interface de usuario intuitiva y es de fácil instalación además de su diseño compacto, en la tabla se muestra las características principales de las series MAX-100 y MAX-200 de ZYXEL. En la tabla 4.8 se muestra las características principales de los productos WiMAX de ZYXEL.

Modelo	MAX-200M1	MAX-100
Standard	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005
PHY	TDD SOFDMA	SOFDMA
Frecuencias	2.5GHz(MAX-200M1); 3.5GHz(MAX-210M1); 2.3GHz(MAX-230M1)	2.500-2.700GHz (MAX-100), 3.400-3.600GHz (MAX-110) y 2.300-2.400GHz (MAX-130).
Poder de salida máximo en antena	27 dBm	23dBm+1Db
Método de acceso	TDD	TDD
Ancho de banda del canal		3.5MHz / 512FFT, 5MHz / 512FFT, 7MHz / 1024FFT, 8.75MHz/1024 FFT and 10MHz/1024FFT (seleccionable por software)
Antena		2dBi ovni
Seguridad		EAP-TTLS/CHAP based user authentication, CMAC message authentication
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Precio	N/D	\$255.00

Tabla 4.8: Características de los equipos ZYXEL.

4.2.8 WAVESAT [18]

Wavesat es una empresa privada que en los actuales momentos está destinando sus esfuerzos al desarrollo de chips y herramientas administrativas para la tecnología WiMAX, es un miembro principal del WiMAX FORUM.

La familia de productos Evolutive™ DM256, es una solución que provee las características necesarias para el desarrollo de estaciones base y de suscriptores, que funcionan tanto en bandas de frecuencia sin licencia y licenciadas.

El modelo Evolutive™ WiMAX 3.5 GHz Mini-PCI, es un diseño con certificación del WiMAX Forum, Mini-PCI es una plataforma desarrollada para guiar y soportar esfuerzos en el diseño de sistemas inalámbricos compatibles con WiMAX usando el chip Evolutive WiMAX DM265 de Wavesat. Es una solución que provee compatibilidad total Plug-and-play, solución completa para la capa baja de interfaz aire.

Este kit posee un emulador de estación base mostrado en la figura 4.14 y una estación suscriptora en modulo mini-PCI mostrada en la figura 4.15, además incluyen la capa física, niveles bajos MAC y circuitería de radio frecuencia, soportando el estándar IEEE 802.16-2004 y provee compatibilidad hacia adelante para movilidad básica mediante IEEE 802.16e. En la tabla 4.9 se enumeran algunas de las características de las tarjetas mini-PCI de Wavesat.



Figura 4.14: Emulador de estación base.



Figura 4.15: Estación suscriptora.

Modelo	WiMAX 3.3-3.8GHz Mini-PCI	WiMAX 5.8 GHz Mini-PCI
Standard	IEEE 802.16-2004, HiperMAN/WiMAX Fixed Profile*	IEEE 802.16-2004, HiperMAN/WiMAX Wireless HUMAN Fixed Profile
PHY	OFDM	OFDM
Frecuencias	3.4 to 3.6 GHz (A), 3.3-3.5GHz (B) 3.6-3.8 GHz (C) in steps of	5.150-5.875 GHz by band options of 200MHz in steps of 5Mhz
Poder de salida máximo en antena	20 dBm	17 dBm
Metodo de acceso	TDD and HFDD	TDD
Ancho de banda del canal	Programmable, certified for 3.5 & 7MHz	10 MHz
Antena	incluida	Incluida
Seguridad	privacidad y encriptación de datos	privacidad y encriptación de datos
Modulación	OFDM (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM)	OFDM (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM)
Precio	N/D	N/D

Tabla 4.9: Características de equipos Wavesat.

4.2.9 NAVINI [19]

Navini es una compañía que provee soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha, entre los productos de esta empresa se destacan radio bases, antenas inteligentes, estaciones suscriptoras, módems y tarjetas PCMCIA.

Navini ofrece estaciones base, mostradas en la figura 4.16 que son de fácil instalación en un rack estándar en ambientes internos o externos, integra una antena inteligente diseñada para coexistir en estructuras tales como torres celulares y edificios otorgando una gran área de cobertura, seguridad y actualización.



Figura 4.16: Ripwave Base Station (BTS).

La línea de productos Ripwave MX de Navini provee operación con rendimiento superior a bajo costo, no necesitan línea de vista y operan en las bandas licenciadas de 2.3 GHz, 2.5/2.6 GHz, 3.4/3.5 GHz y en la no licenciada 2.4 GHz (banda ISM).

Entre las características importantes cabe señalar que son de fácil instalación, tienen compatibilidad plug-and-play, soportan operación móvil o portable. En la figura 4.17 se aprecia un modem y la tarjeta PCMCIA correspondiente a la línea de productos Ripwave MX.



Figura 4.17: MODEM y tarjeta PCMCIA de la línea Ripwave™ MX 2.4GHz.

4.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Un enlace de red correctamente seleccionado e instalado proporciona un aumento drástico en la productividad, lo cual a su vez afectará al desarrollo general de la Universidad Técnica del Norte y del Colegio Universitario, sin embargo la selección de componentes inadecuados puede dar como resultado un sistema que no cumpla con las expectativas creadas por la red, con un sistema que ocasione que la red sea terriblemente lenta, insegura o inestable.

Para la selección se consideró un análisis entre diferentes fabricantes tomando en cuenta sus características técnicas, la facilidad de conseguir estos equipos en el mercado nacional o la posibilidad de traerlos desde el exterior, claro está que el aspecto económico es de gran importancia.

Los equipos seleccionados deben cumplir con las siguientes características:

- Trabaje con el protocolo 802.16e.
- La estación base debe tener la opción de utilizar antena externa ya que se necesita una antena omnidireccional.
- Que utilice OFDMA.
- Trabaje en la Banda de Frecuencia de 3.5 GHz.

- Una buena cobertura.
- Compatibilidad con las redes existentes.

Al realizar el análisis de las características técnicas de los equipos se observa que los que los equipos ExxcelMax, AB-Max y Tusami no cumplen con las características que son necesarias para el funcionamiento de la red como que trabajen con el estándar 802.16e, y que utilicen OFDMA, para que puedan comunicarse con las tarjetas PCMCIA que se van a utilizar; por tal motivo se descarta la posibilidad de utilizar estos equipos.

Entre los equipos Aperto, Alvarion y Airspan se observa que cumplen con los requerimientos técnicos mencionados anteriormente, pero la diferencia es que los equipos Airspan, la estación base MicroMAX puede manejar dos antenas lo cual es muy beneficioso pues para una cobertura optima se necesita la implementación de un sistema con antena externa.

MicroMAX es un equipo de fácil configuración y gestión, es una de las estaciones bases más utilizadas en otros países y que se tiene buenos resultados en proyectos similares, otra característica es por que el costo es económico y es de fácil adquisición para una futura implementación de este proyecto.

Como estación de usuario o CPE se ha seleccionado el ProST ya que este cumple con las necesidades que se van a tener en el Colegio Universitario y es de fácil configuración, se la puede gestionar directamente desde la estación base, este equipo se acopla a la red existente en el Colegio Universitario ya que tiene un puerto de 100 MB full duplex que va a ir a la red Lan existente en el Colegio y con esto poder unir al Colegio a la red existente en el Campus Central de la Universidad.

Estos equipos Airspan seleccionados se los puede configurar y gestionar de similar manera que los otros equipos Airspan que existen en el mercado mediante dos programas que el fabricante adjunta a los equipos que son el WipConfig y el

WipManage. En el Anexo D se presenta la descripción y características de los equipos MicroMAX y ProsST de Airspan.

La Antena para la radio base se va a utilizar la marca HyperLink Technologies, así entre los modelos que presenta se ha seleccionado.

- HG3511U – PRO^[6] en la banda 3400 – 3700 MHz. Características principales se pueden observar en el Anexo E.

En la figura 4.18 se muestra a la antena omnidireccional seleccionada.



Figura 4.18: Antena HG3511E-PRO.

En la selección de estaciones suscriptoras móviles se ha seleccionado el modelo MAX-100 del fabricante ZYXEL, debido a que es una tarjeta que se adapta de mejor manera a la estación base seleccionada, trabajando en la misma banda de frecuencia, basadas en estándar similar y es un dispositivo que se encuentra disponible en los actuales momentos. En el Anexo F se muestra las características de la tarjeta PCMCIA seleccionada.

Para la operación de esta red se deben realizar los trámites necesarios dictados en la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (Senatel) para operar en al Banda de 3.5 GHz. ya que esta banda es licenciada y se deben cumplir con todos los requerimientos que dicta la Senatel para este tipo de redes.

Ref^[6] Tomado de www.hiperlinktech.com

En el capítulo 5 se realizará el análisis de los reglamentos y normas que se deben cumplir para que la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (Senatel) pueda otorgar la operación sobre esta banda. Al operar en la banda de 3.5 Ghz, se tiene un mejor rendimiento del enlace ya que no van a existir interferencias con otros equipos que se encuentren operado en las bandas no licenciadas como lo son la banda de 2,4GHz o 5,8 GHz, en las cuales como son bandas libres pueden operar varios equipos sobre estas frecuencias y ocasionar que se tengan interferencias o saturación de la banda ya que no existe un control de número de equipos que podrían operar en esta banda debido a que no hay ninguna restricción de operación por parte de la Senatel, ya que pueden operar en esta banda todos los proveedores de servicios que cumplan con la Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha dictada por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

4.3.1 CONFIGURACIÓN Y GESTION DE LOS EQUIPOS

Los equipos seleccionados se pueden configurar de igual manera a los equipos marca Airspan que trabajan en diferentes bandas de frecuencia mediante el programa WipConfig en el cual se configura:

- IP y máscara del Equipo.
- Default gateway.
- Air Mac Address que es un código en el cual debe tener todos los suscriptores que se pegan a la estación base.
- La frecuencia a la cual va a operar el enlace.
- Potencia de transmisión.
- Se puede configurar la opción en la que se quiere que el equipo trabaje ya sea en modo brige o en modo router, esto depende de cómo quiera que los equipos trabajen el administrador de la red.

- También se tiene la opción de un analizador de espectros donde se puede observar si se tiene interferencias en la frecuencia asignada.

El WipManage es un programa donde el administrador de la red puede gestionar y monitorear el comportamiento de los equipos, donde se pueden realizar y observar las siguientes funciones:

- Asignación de Velocidad para cada estación Suscriptora.
- Se pueden observar la tasa de BER en cada estación.
- El nivel de Recepción por cada Estación.
- Se puede observar la tabla de frecuencias en las cuales puede operar el equipo.
- También se pueden observar si se ingresan errores a nivel de RF.

Estas herramientas son de gran ayuda para que el administrador de la red para que pueda monitorear la red inalámbrica y observar el comportamiento de la misma.

En el Anexo G se adjuntan algunas fotos de cómo se configuran los equipos Airspan, ya que estas herramientas son utilizadas por la empresa Impsat quien dio las facilidades para observar como se realiza la gestión y configuración de equipos Airspan que trabajan en otras bandas de frecuencia y que es muy similar a la manera como se gestionan los equipos AS.MAX.

Se toma como referencia los equipos Airspan Wipll para poder entender como se podrían realizar la configuración y gestión de los equipos AS.MAX, porque los programas de configuración vienen con los equipos al momento de comprarlos.

Para la configuración de las tarjetas PCMCIA en los computadores portátiles, se debe considerar inicialmente los requerimientos mínimos del sistema, para el caso específico de la tarjeta ZYXEL MAX-110 son:

- Computador con slot para tarjeta PCMCIA.
- Sistema operativo Windows 2000, Windows ME o Windows XP.
- Procesador Pentium o superior.
- Memoria RAM 64MB.
- 50MB de espacio libre en el disco duro para el programa de diagnóstico (opcional).
- Monitor de 256 colores con una resolución de 800x600 pixels.

A continuación se detallan los pasos a seguir para la configuración de la tarjeta.

- La Tarjeta se inserta en una ranura estándar para tarjetas de interfaz con la red (NIC) del Tipo II. El conector de 68 contactos en el extremo de la tarjeta se inserta en esa ranura.
- Instalar el hardware mediante el diálogo **“Found New Hardware”** que aparece en las distintas versiones de los sistemas operativos requeridos. Este procedimiento se lo debe realizar con el CD de instalación de la tarjeta, en el cual se encuentran los drivers y el instalador del software de gestión.
- Elevar la antena a la posición vertical.
- Se debe especificar la dirección IP y máscara del Equipo.
- Configurar el Default gateway.

La tarjeta PCMCIA posee un software de diagnóstico, el cual una vez instalado permite la visualización del estado de la conexión, intensidad y calidad de la señal así como la visualización de parámetros como BTS ID, Network ID, Active SW Version y Standby SW Version.

En el Anexo H se muestra en detalle la configuración e instalación de una tarjeta PCMCIA y la utilización de su programa de diagnóstico.

CAPITULO 5

ANÁLISIS REGULATORIO Y DE COSTOS

5.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo, se realizará el análisis regulatorio considerando las normativas vigentes por los órganos reguladores para el funcionamiento de este tipo de redes. También se realizará una determinación referencial de costos para una futura implementación del proyecto, considerando costos de equipos, costos de homologación, operación y concesión de frecuencias.

5.2 ANÁLISIS REGULATORIO [20]

Se debe cumplir con varios requisitos y el Reglamento para otorgar concesiones de los servicios de telecomunicaciones (Resolución No. 469-19-CONATEL¹-2001) que se indica en el Anexo I.

Este reglamento tiene como objetivo establecer los procedimientos, términos y plazos a través de los cuales el Estado podrá delegar, mediante concesión, a otros sectores de la economía la prestación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones en régimen de libre competencia y la concesión del espectro radioeléctrico correspondiente.

A efectos de este reglamento, las definiciones tendrán el significado que consta en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, en el reglamento general a la ley y en el glosario de términos y definiciones de este reglamento.

La concesión es la delegación del Estado para la instalación, prestación y explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones y la asignación de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico correspondiente, mediante la suscripción de un contrato autorizado por el CONATEL y celebrado

¹ CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones

por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, con una persona natural o jurídica domiciliada en el Ecuador y que tenga capacidad legal, técnica y financiera.

Las concesiones para la prestación de servicios de telecomunicaciones se otorgarán a solicitud de parte, mediante:

1. Adjudicación directa.
2. Proceso público competitivo de ofertas,
3. Proceso de subasta pública de frecuencias.

Los contratos de concesión tendrán una duración máxima de quince (15) años.

5.2.1 REQUISITOS DE CONCESIÓN DE FRECUENCIAS [20]

Para obtener la concesión de frecuencias para operar un sistema de radiocomunicación, el solicitante deberá presentar en la SENATEL⁵⁷ los siguientes requisitos:

Información Legal

1. Solicitud dirigida al señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones, detallando el tipo de servicio al que aplica; e incluir el nombre y la dirección del representante legal.
2. Copia de la Cédula de Ciudadanía del Representante Legal.
3. Para ciudadanos ecuatorianos, copia del Certificado de votación del último proceso electoral del Representante Legal.
4. Registro Único de Contribuyentes (RUC).

⁵⁷ SENATEL: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones

5. Nombramiento del Representante Legal, debidamente inscrito en el Registro Mercantil.
6. Copia certificada de la escritura constitutiva de la compañía y reformas en caso de haberlas.
7. Certificado actualizado de cumplimiento de obligaciones otorgado por la Superintendencia de Compañías o Superintendencia de Bancos, según el caso, a excepción de las instituciones estatales.
8. Fe de presentación de la solicitud presentada al Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas para que otorgue el certificado de antecedentes personales del representante legal, a excepción de las instituciones estatales (original).
9. En el caso de Compañías o Cooperativas de transporte, deben presentar el Permiso de Operación emitido por la autoridad de transporte competente (Resol. 632-22-CONATEL-2004).
10. Otros documentos que la SENATEL solicite.

Información Financiera

11. Certificado actualizado de no adeudar a la SENATEL.
12. Certificado de no adeudar a la SUPTEL⁵⁸.

Información Técnica

13. Estudio técnico del sistema elaborado en los formularios disponibles en la página Web del CONATEL, suscritos por un Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, con licencia profesional vigente en una de las filiales del Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador (CIEEE) y

⁵⁸ SUPTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones

registrado para tal efecto en la SENATEL; debe adjuntar copia de la mencionada licencia. En el Anexo J se presenta los formularios técnicos.

14. En caso de necesitar la instalación de estaciones repetidoras, adjuntar copia del Contrato de Arrendamiento del Terreno o Copia de la Escritura del inmueble que acredite el derecho de propiedad del solicitante, e indicar las dimensiones.
15. Recibo de pago de la contribución del 1/1000 del valor del contrato de los servicios profesionales del ingeniero de telecomunicaciones a cargo del sistema de radiocomunicaciones, que exceda el valor de USD 12 conforme lo determina el Artículo 26 de la Ley de Ejercicio Profesional de la Ingeniería

Los formularios técnicos correspondientes a un sistema Fijo – Móvil que se deben llenar para la concesión de las frecuencias que se indican en el Anexo J.

5.2.3 TARIFAS PARA CONCESION Y USO DE FRECUENCIAS [21]

Las tarifas por la concesión y uso de frecuencias se calculan con las fórmulas indicadas en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, el cual se encuentra en el Anexo H.

Para el cálculo de la tarifa mensual por el uso de frecuencias se indica en el artículo 11 del Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico, que por cada estación base del servicio móvil (multiacceso) o por cada estación central fija del servicio fijo punto-multipunto (multiacceso) se utilizará la siguiente ecuación:

$$T(\text{US\$}) = K_a * a_4 * B_4 * A * (D)^2$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América.

Ka = Factor de ajuste por inflación.

a4 = Coeficiente de valoración del espectro para el servicio fijo y móvil (multiacceso)

B4= Coeficiente de corrección para la tarifa por estación de base o estación central fija.

A = Anchura de banda del bloque de frecuencias en MHz concesionado en transmisión y recepción.

D = Radio de cobertura de la estación de base o estación central fija, en Km. (del reglamento del CONATEL).

El radio de cobertura o alcance de la estación de base o estación central fija, así como el Coeficiente de Valoración del Espectro para el Servicio Fijo y Móvil (multiacceso), según la banda de frecuencias autorizada para los servicios especificados.

Para fines de cálculo se considerará que cada estación repetidora opera como una estación de base o estación central fija diferente; entendiéndose por ésta, el punto geográfico determinado por la infraestructura de instalación.

La siguiente fórmula se utiliza para realizar el cálculo del pago por concesión de la frecuencia, la cual se paga por una sola vez por el tiempo de vigencia del título habilitante (5 años).

$$D_c = T(US \$) * T_c * F_{cf}$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico en dólares de los Estados Unidos de América correspondiente al Servicio y al Sistema en consideración.

T_c = Tiempo de concesión. Valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema.

F_{cf} = Factor de concesión de frecuencias (De acuerdo a reglamento del CONATEL).

D_c = Valor Derecho de concesión.

En el Anexo K, se presenta el reglamento para derechos de concesión y tarifas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.

5.3 PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO [22]

En el ámbito presupuestario la Universidad Técnica del Norte ha logrado superar los conflictos derivados de un incremento de remuneraciones, las mediadas de austeridad adoptadas internamente dieron sus frutos positivos, a tal punto que para ejercicio económico del 2006, no solo existe una adecuada correlación entre ingresos y gastos; sino que se ha recuperado conquistas básicas para docentes y empleados.

El presupuesto aprobado por el Honorable Consejo Universitario para el año 2006 asciende a 11,350,144.85 millones de dólares de los cuales \$9,757,865.06 corresponden a operación y \$1,592,279.79 a inversiones.

Los proyectos de desarrollos tecnológicos e infraestructurales justificados ante el gobierno central por el monto anteriormente señalado se resume con sus respectivos costos en la tabla 5.1.

ITEM	DESCRIPCION	VALOR
1	Proyecto de actualización y masificación del Internet.	\$453,500.00
2	Proyecto de video conferencias	\$151,445.00
3	Proyecto de desarrollo informático (sistemas).	\$95,055.00
TOTAL DEL PROYECTO		\$700,000.00

Tabla 5.1: Costo total del Proyecto de Actualización y Desarrollo Tecnológico.

De lo mencionado anteriormente, la Universidad Técnica del Norte tiene asignado de su presupuesto \$700,000.00 para proyectos de desarrollo tecnológico; por lo que para una posible implementación de nuestro diseño, este se incluiría en el presupuesto asignado para proyectos de tecnología.

5.4 ANALISIS DE COSTOS

Finalizado el diseño de la red comunitaria con tecnología WiMAX para la Universidad Técnica del Norte, es necesario realizar un análisis de costos, de manera que se pueda tener un referente económico del proyecto para determinar de mejor manera la viabilidad del mismo, se realiza una presentación del posible costo de toda la red considerando los mejores precios a nivel nacional y en el exterior tomando como fuente el Internet.

5.4.1 COSTOS DE LA RED INALAMBRICA

5.4.1.1 Costos de Equipamiento

La estimación de costos se realiza considerando todos los elementos necesarios para la red inalámbrica como lo son la estación base, estación suscriptora CPE, antena y tarjetas PCMCIA.

En la tabla 5.2 enumeramos los equipos a utilizar y sus respectivos costos.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Estación Base Airspan MacroMAX 3,5 GHZ	1	\$3.078,00	\$3.078,00
2	Estación Suscriptor ProST	1	\$523,00	\$523,00
3	Antena omnidireccional	1	\$420,00	\$420,00
4	Soporte de antena de 2m	2	\$40,00	\$80,00
5	Unidad de energía (SDA)	2	\$120,00	\$240,00
6	Tarjeta PCMCIA ZXYTEL MAX-110	120	\$255,00	\$30.600,00
7	Licencia adicional software NMS	1	\$8,00	\$8,00
8	Cables UTP exterior para ProST (pueden ser suministrados localmente)	50	\$0,35	\$17,50
9	Cable coaxial RG59	3	\$0,82	\$2,46
10	Conectores tipo N macho	2	\$0,80	\$1,60
11	Conector RJ45	4	\$0,82	\$3,28
12	UPS	2	\$120,00	\$240,00
TOTAL				\$35.213,84

Tabla 5.2: Costo de equipos de la red inalámbrica WiMAX.

5.4.1.2 Costos por Homologación de Equipos [21]

Se deberá homologar los equipos seleccionados y la institución encargada de realizar la homologación es la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL).

Para homologar una clase, marca y modelo de equipo, se deberá presentar a la SUPTTEL, los siguientes documentos:

Para equipos de telecomunicaciones fabricados o ensamblados fuera del país:

- Solicitud escrita dirigida al Superintendente de Telecomunicaciones.
- Manuales técnicos.
- Características de funcionamiento y modo de conexión a la red.

- Un certificado de características técnicas de los equipos cuya clase, marca y modelo se quiere homologar, emitido por un organismo internacional reconocido.

En la tabla 5.3 se muestra el costo de la homologación de los equipos Airspan en la banda licenciada 3.5 GHz.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Homologación de estación base y suscriptor	\$2,00	\$170,00	\$340,00
2	Homologación de tarjetas PCMCIA.	\$1,00	\$170,00	\$170,00
TOTAL				\$510,00

Tabla 5.3: Costos de homologación de equipos WiMAX.

5.4.1.3 Costo por Autorización y Uso de Frecuencias [20]

Debido a que el diseño de la red trabaja en la banda licenciada de 3.4 a 3.5 GHz, la misma que corresponde a sistemas fijo móvil, se debe solicitar autorización de uso a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, la cual cobrará una tarifa para su concesión.

En la tabla 5.4 se indica los costos de arrendamiento.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Arrendamiento banda de frecuencia 3.4-3.5 GHz.	1	\$144,00	\$144,00

Tabla 5.4: Costo de concesión de frecuencia.

5.1.4.4 Costos de Operación

Para determinar los costos de implementación se tomará en consideración los costos de ingeniería y los costos de mano de obra.

Para la implementación del proyecto se necesitará la contratación de un ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones cuyas funciones será la supervisión del montaje y configuración de equipos, también se necesitará personal con conocimientos en el campo eléctrico y de montaje de equipo electrónico para cumplir adecuadamente con el funcionamiento de la red. El rubro por servicios profesionales en la implementación del diseño asciende a \$1,800.00.

Para gastos de mantenimiento futuro, se necesitará al menos dos profesionales con conocimientos en la materia, este costo por mantenimiento gira en torno de \$900,00.

5.1.4.5 Costo Total del Sistema

El valor total para la implementación de la red inalámbrica se determina mediante la sumatoria de los costos mencionados anteriormente en este capítulo.

En la tabla 5.5 de detalla los costos totales para la implementación de la red.

ITEM	DESCRIPCION	VALOR
1	Costo de equipos de la red inalámbrica WiMAX.	\$35.213,84
2	Costos de homologación de equipos WiMAX	\$510,00
3	Costo de concesión de frecuencia	\$144,00
4	Costos de operación	\$1.800,00
TOTAL		\$37.667,84

TABLA 5.5: Costos de la implementación de la red comunitaria con tecnología WiMAX en la Universidad Técnica del Norte.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

6.1.1 ASPECTO TECNOLÓGICO

- En el presente proyecto se realizó el diseño de una red Inalámbrica para la Universidad Técnica Norte y el Colegio Universitario con tecnología WiMAX en la estación base, punto de acceso, así como también en los terminales, para permitir que los estudiantes, profesores y personal administrativo que se encuentran en el sector del colegio, laboratorios, bibliotecas y áreas verdes que pertenecen al Campus Central puedan acceder a diferentes servicios que proporciona la conectividad inalámbrica como Internet de banda ancha, acceso a intranet privada, videoconferencia y el servicio de voz.
- La Universidad Técnica del Norte actualmente cuenta con un backbone de fibra óptica entre las facultades y sin embargo hay dependencias que aún no tienen comunicación interna y externa, como es el caso del auditorio, el Colegio Anexo, el Instituto de Educación Física, el área de laboratorios, etc. Las conexiones eléctricas y de datos existentes tienen ya obsolescencia en su tecnología por lo que es necesario mejorar las instalaciones para lograr un buen desempeño de la conectividad en la red.
- La Universidad Técnica del Norte no puede quedarse a la zaga de los avances científicos o técnicos de un mundo globalizado, es por esa causa que una de las acciones prioritarias es la implementación de un centro de información y comunicación informática con tecnología de buena generación, la tecnología WiMAX es una herramienta optima a un precio razonable para la consecución de las acciones institucionales en el campo tecnológico.

- La Universidad Técnica del Norte y el Colegio Universitario al contar con una red que interconecte los diferentes sitios como los edificios de las diferentes facultades, laboratorios, auditorio, aulas del colegio y espacios libres con el edificio central se logrará centralizar y optimizar el manejo de su información. Para este objetivo se ha determinado como tecnología óptima para su interconexión a WiMAX ya que es una alternativa que define características de capa física, utilizando OFDM y OFDMA con organización TDM/TDMA, este aspecto dota al sistema de una flexibilidad máxima, optimizando sus prestaciones en función del número y tipo de usuarios a servir en cada momento, así como de las características de propagación existentes en cada instante; el sistema contempla un juego de modulaciones adaptativas para ser capaz de elegir (vía negociación entre la estación base y el equipo de usuario) la mas eficiente posible en cada circunstancia, este juego se compone de BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM.
- La tecnología WiMAX presenta facilidad de conexión a través de estación base y estaciones de usuarios, esta tecnología presenta un diseño muy elaborado pues trata de eliminar colisiones en transmisión, definen un paquete de datos y es de fácil conexión a la red existente en la Universidad Técnica del Norte.
- WiMAX transmite señales simultáneas de alta velocidad, divide el espectro en varias subportadoras, tiene alta eficiencia espectral y alta velocidad de transmisión, no requiere retransmisión de datos por lo que le hace muy superior al estándar IEEE802.11 conocido como Wi-Fi.
- El uso de la tecnología inalámbrica WiMAX puede ser aplicada en cualquier ambiente, por ejemplo: dentro de una oficina, dentro de un campus universitario, en el exterior de un edificio, en conexiones entre puntos de difícil acceso entre otros, así como en enlaces de radio en los que no se dispone de línea de vista. Además, las aplicaciones de la tecnología

inalámbrica pueden solucionar o añadir flexibilidad en cualquier rama de la industria, salud, educación, etc.

- Un radio WiMAX tiene la capacidad de entregar varios canales de servicio desde la misma conexión física, esto permite que múltiples suscriptores estén conectados al mismo radio (CPE); cada uno con una conexión privada con el protocolo y nivel de servicio que éste requiera, esta solución garantiza tener múltiples suscriptores que se encuentran en un mismo edificio.
- WiMAX contempla los dos métodos de duplexación: FDD y TDD, con lo que ayuda a situaciones variadas de asignación de bloques de frecuencia (dos bandas, solo una banda, etc.), la topología definida mandatoria es punto a multipunto La canalización es muy flexible, desde 1.25 MHz hasta 20 MHz, permitiendo acomodar el espectro disponible de cada operador concreto.
- El control de acceso al medio en WiMAX tiene como filosofía la Petición/Asignación de ancho de banda, con distintas variantes (asignación por conexión, asignación por terminación de usuario), pudiendo ser esta asignación vía polling en tiempo real, polling no en tiempo real o en régimen de mejor esfuerzo (best-effort), también existe la asignación de banda no solicitada, si el sistema entiende que es necesaria; todos estos mecanismos anteriores posibilitan el poder ofrecer Calidad de Servicio (QoS) y Clases de Servicio (CoS) garantizadas, en ancho de banda y latencia, para acomodar todo tipo de servicios y aplicaciones (vídeo, voz, emulación de líneas alquiladas de datos, etc.), sin merma de disponibilidad y con total garantía.
- WiMAX provee la flexibilidad necesaria para operar en diferentes bandas de frecuencia con diferentes variantes y requerimientos del canal por lo que se puede trabajar en la banda de 3.5 GHz.

6.1.2 ASPECTO ACADÉMICO

- WiMAX permite extender la infraestructura de una red existente, concretamente en las bibliotecas y los centros de información dentro del campus de la Universidad Técnica del Norte donde se tienen laboratorios de computadoras para el uso de los estudiantes, pero su uso es limitado por la cantidad de computadoras existentes, una opción sería que los estudiantes tengan sus propias computadoras portátiles conectadas inalámbricamente a los servicios del campus, esto generaría aulas virtuales y proyectos de investigación instantáneos.
- En la Universidad Técnica del Norte existe un deficiente desarrollo de aplicaciones que brinden o cumplan con las necesidades que tiene la parte administrativa y académica dentro de la red existente, al no aprovechar la potencialidad tecnológica que conlleva el poseer una infraestructura de red adecuada.
- En el proyecto se realizó el análisis de las necesidades de los usuarios entre ellas la más importante la movilidad que es una de las razones más comunes que se reflejó en dicho análisis una red inalámbrica que se ajuste a las necesidades de la institución y correctamente seleccionada e implementada puede proporcionar un aumento importante en la productividad a nivel individual, lo cual afecta a su vez al desarrollo general de la institución.
- Con el diseño de la red inalámbrica la Universidad Técnica del Norte puede extender la funcionalidad de su red hacia diferentes sectores donde la universidad tiene cedes, logrando de esta manera conectar a todas las diferentes extensiones que tiene la misma, para que estas puedan acceder a todos los servicios que proporciona la red.
- El proyecto es una excelente alternativa para atender los requerimientos de la Universidad Técnica del Norte y solventar sus problemas de

comunicación para la cual fue diseñado, además de que la red inalámbrica presenta flexibilidad para la implementación de futuras aplicaciones y puede adaptarse al crecimiento de la institución.

- En general los resultados de la encuesta realizada en la Universidad Técnica del Norte y el Colegio Universitario, son un reflejo de la amplia aceptación que presenta el diseño de la red inalámbrica y de utilizar los servicios que brindará la red como poder ingresar a Internet desde un computador portátil utilizando una tarjeta PCMIA desde cualquier sitio de la universidad ya sea este el parqueadero, cafeterías, bibliotecas y espacios abiertos.
- Con la implementación de esta red el Colegio Universitario será el principal beneficiado de la conectividad por lo que puede acceder a todos los servicios que presta la red existente en la Universidad y de esta manera la red del colegio dejaría de ser independiente a la red de la universidad.
- La instalación de una red inalámbrica dentro del campus de la Universidad Técnica del Norte y el Colegio Universitario generará varios beneficios para la comunidad Universitaria. Algunos beneficios que se obtendría son los siguientes:
 - Resolver el problema del insuficiente número de computadoras en los laboratorios por espacio físico. Al tener todo el campus “conectado” usando equipos de redes inalámbricos se implementaría un laboratorio, el que no tendría elevados gastos de adquisición y mantenimiento de computadoras.
 - Los estudiantes podrían acceder a Internet en cualquier parte dentro de la cobertura de la red o laboratorio sin necesidad de estar conectado usando cable.
 - Explotar la nueva infraestructura con aplicaciones móviles. Una tendencia actual del mercado de servicios es obtener información

crítica en cualquier lugar donde se encuentre el usuario. La infraestructura inalámbrica permitiría investigar y desarrollar aplicaciones móviles que pueden ser útiles para los usuarios internos de la UTN.

- Imagen tecnológica: la Universidad Técnica del Norte ganaría prestigio al tener un campus inalámbrico demostrando que esta usando tecnología de punta para beneficio de la comunidad universitaria.

6.1.3 ASPECTO ECONÓMICO

- En el capítulo 5 del presente proyecto, se realizó la estimación de costos, de acuerdo a esto, la inversión que se debe realizar para la ejecución del diseño asciende a un monto de \$37,067.84; motivados en que la universidad tiene un presupuesto asignado de alrededor \$700,000.00 para proyectos de tecnología, es factible que a futuro se realice la implementación del diseño gracias a la inclusión del proyecto en el presupuesto mencionado.
- La implementación de una red inalámbrica con tecnología WiMAX económicamente es mas rentable y barata que una solución similar basada en los estándares IEEE802.11 o Wi-Fi, pues para una misma área de cobertura con Wi-Fi, se necesitaría un número bastante alto de puntos de acceso, la implementación de cableado estructurado para cada punto de acceso y un tiempo considerable para la ejecución total del proyecto, factores que con WiMAX son mínimos.
- Para la implementación de la red inalámbrica se requiere de la aprobación de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) ya que se debe cumplir con todos los requisitos y normas para la concesión de frecuencias debido a que los equipos seleccionados en el diseño trabajan en la banda de 3.5 GHz.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para la administración de la red se deberá considerar aspectos como el monitoreo, atención a fallas, configuración de tarjetas PCMCIA y seguridad por lo que se deberá contar con los servicios de profesionales capacitados para el soporte de usuarios y la administración de la red inalámbrica.
- Dado el potencial de la tecnología WiMAX, para la conectividad de nuevas edificaciones a futuro, se podría utilizar la red inalámbrica como alternativa principal pues únicamente sería necesario la compra de un radio o CPE que enlace la red LAN cableada de la nueva edificación con el Edificio Central, lugar en que se encuentran los servidores de los distintos servicios.
- Sería recomendable la implementación de un servidor de direcciones IP dinámicas (DHCP), pues dado que la gran mayoría de usuarios serán móviles, bastará con la inserción y encendido de la tarjeta PCMCIA en el computador portátil (posterior a la instalación inicial del hardware) para la conectividad del usuario a la red inalámbrica con tecnología WiMAX.
- Para la selección de equipos en la implementación de una red WiMAX, se debe considerar como aspecto básico, que el fabricante sea miembro del WiMAX Forum y que el producto sea certificado por dicha entidad para garantizar una interoperabilidad total de equipos con otros fabricantes.
- Luego de realizar el análisis técnico y de costos del proyecto, se puede recomendar la implementación de la red inalámbrica utilizando tecnología WiMAX en la Universidad Técnica del Norte ya que este proyecto es técnica y económicamente viable.
- En el caso de proceder a futuro con la implementación de la red inalámbrica es recomendable conocer los procedimientos y requerimientos legales necesarios para ser tramitados con los organismos estatales que

rigen las telecomunicaciones en el Ecuador (CONATEL, SENATEL y SUPTEL) ya que en función de estos se podrá definir que requisitos deberá cumplir la red inalámbrica para que pueda entrar en operación.