



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE UNA RED WIMAX MÓVIL
PARA LA CIUDAD DE TRUJILLO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES
PRESENTADO POR

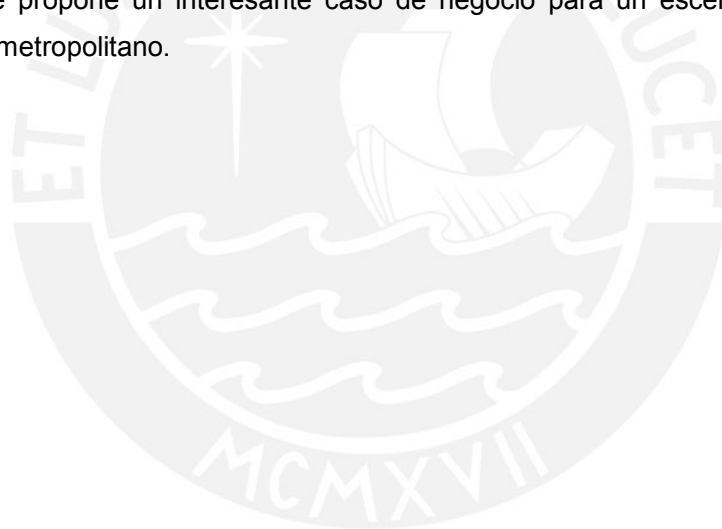
Miguel Andrés Rosas Malpartida

LIMA – PERÚ

2008

RESUMEN

El presente proyecto de tesis consiste en desarrollar un análisis de los diferentes factores que intervienen en el diseño de una red de acceso empleando la tecnología WIMAX móvil. El lugar elegido para el despliegue de dicha red es Trujillo metropolitano debido a que presenta interesantes características de desarrollo que motivan al estudio de este mercado para futuras implementaciones. Como todo proyecto de Telecomunicaciones, se realiza un estudio previo de los principales operadores en dicha localidad para después fijar un mercado meta acorde con la realidad del mercado actual. A lo largo de la tesis se plantean varias inquietudes que finalmente serán resueltas en el capítulo más importante del presente trabajo, en el cual se presenta toda la ingeniería del proyecto aplicando los conceptos básicos de planificación de redes de Telecomunicaciones. En la parte final de la tesis se propone un interesante caso de negocio para un escenario como el de Trujillo metropolitano.



DEDICATORIA



*A mi familia querida,
A mis tutores dentro y fuera de la Universidad,
Y a mis amigos de toda la vida.*

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por permitirme tener una familia tan maravillosa, la cual me ayuda y orienta en cada momento de mi vida. Con su apoyo y cariño he podido culminar satisfactoriamente una de las etapas más importantes de mi vida.

Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Percy Fernández por ser mi asesor y por transmitirme sus conocimientos que fueron de vital importancia para el desarrollo de la presente tesis.

Quisiera agradecer además a todas aquellas personas que dieron su granito de arena para que este proyecto salga adelante: a mis compañeros del trabajo, de la universidad, y de toda la vida, ¡Muchas gracias de todo corazón!



INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE	III
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABLAS	VII
GLOSARIO	VIII
INTRODUCCIÓN	1
1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y ESTÁNDAR 802.16E-2005	3
1.1 MEDIOS INALÁMBRICOS DE BANDA ANCHA	3
1.2 CAPA FÍSICA.....	6
1.2.1 <i>Especificaciones WirelessMAN-SC PHY</i>	6
1.2.1.1 Técnicas de duplexación	7
1.2.1.1.1 TTG	8
1.2.1.1.2 RTG	8
1.2.1.2 Downlink PHY	8
1.2.1.2.1 Subtrama downlink.....	8
1.2.1.3 Uplink PHY.....	11
1.2.1.3.1 Subtrama uplink	11
1.2.1.4 Control del subsistema radio	12
1.2.1.4.1 Técnica de sincronización	12
1.2.1.4.2 Control de frecuencia	13
1.2.1.4.3 Control de Potencia.....	13
1.2.2 <i>Especificaciones WirelessMAN-SCa PHY</i>	13
1.2.2.1 Proceso de transmisión.....	13
1.2.2.2 Requerimientos del sistema	14
1.2.2.2.1 Precisión de la frecuencia del canal	14
1.2.2.2.2 Control del nivel de potencia del transmisor	14
1.2.2.2.3 Sensibilidad del receptor	15
1.2.2.2.4 Señal de entrada máxima y señal tolerable máxima.....	15
1.2.3 <i>Especificaciones WirelessMAN-OFDM PHY Layer</i>	15
1.2.3.1 Descripción del símbolo OFDM.....	16
1.2.3.1.1 Dominio del tiempo.....	16
1.2.3.1.2 Dominio de la frecuencia	17
1.2.4 <i>Especificaciones WirelessMAN-OFDMA PHY Layer</i>	17
1.2.4.1 Descripción del símbolo OFDMA	18
1.2.4.1.1 Dominio del tiempo.....	18
1.2.4.1.2 Dominio de la frecuencia	19
1.2.4.2 Codificación del canal	20
1.2.4.2.1 Randomization	20
1.2.4.2.2 Codificación.....	20
1.2.4.2.3 Interleaving	20
1.2.4.2.4 Repetición	21
1.2.4.2.5 Modulación de la información	21
1.2.4.3 Mecanismos de control	21
1.2.4.3.1 Ranging.....	21
1.2.4.3.2 Control de potencia	21
1.2.4.4 Requerimientos del transmisor.....	22
1.2.4.5 Requerimientos del receptor	22

1.2.4.5.1	Sensibilidad del receptor	22
1.2.4.5.2	Señal de entrada máxima y señal tolerable máxima.....	23
1.2.4.6	Requerimientos del control de frecuencia	23
1.3	CAPA MAC	23
1.3.1	<i>Plano de Control/Datos</i>	23
1.3.1.1	Conexiones y direccionamiento.....	23
1.3.1.1.1	Punto Multipunto	23
1.3.1.1.2	Malla	24
1.3.1.2	Formatos MAC PDU	25
1.3.1.3	Ancho de banda asignado y mecanismos de solicitud	25
1.3.1.3.1	Solicitud de Ancho de Banda	26
1.3.1.3.2	Ancho de Banda Garantizado	26
1.3.1.3.3	Polling	26
1.3.1.4	QoS.....	26
1.3.1.4.1	Flujos de servicio	27
1.3.1.5	Proceso handover	27
1.4	MODELO DE RED PARA COMUNICACIONES MÓVILES	28
2	ANÁLISIS DEMOGRÁFICO Y SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN TRUJILLO METROPOLITANO	30
2.1	INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA DE TRUJILLO METROPOLITANO	30
2.1.1	<i>Datos Generales</i>	30
2.1.2	<i>El Área Metropolitana de Trujillo</i>	32
2.1.3	<i>Crecimiento Urbano</i>	33
2.1.4	<i>Población económicamente activa</i>	34
2.2	SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN TRUJILLO	35
2.2.1	<i>Telefonía fija</i>	36
2.2.2	<i>Telefonía móvil</i>	37
2.2.3	<i>Servicio ADSL</i>	38
2.2.4	<i>Televisión por cable</i>	38
3	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA Y ESTABLECIMIENTO DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES	40
3.1	ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE LOS SERVICIOS EN TRUJILLO METROPOLITANO. 40	
3.1.1	<i>Mercado meta</i>	41
3.1.2	<i>Evaluación del mercado y sus perspectivas</i>	43
3.2	DETERMINACIÓN DE LOS SERVICIOS A OFRECER.....	49
3.2.1	<i>Paquetes Básicos</i>	50
3.2.2	<i>Paquetes PLUS</i>	50
4	INGENIERÍA DEL PROYECTO	51
4.1	TOPOLOGÍA DE LA RED.....	51
4.1.1	<i>Determinación del número de BTSs</i>	52
4.1.2	<i>Canalización</i>	57
4.2	CÁLCULO DE RADIO PROPAGACIÓN	59
4.2.1	<i>Red de acceso</i>	60
4.2.1.1	Cobertura de las BTS.....	62
4.2.2	<i>Red de transporte</i>	76
4.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO.....	80
4.3.1	<i>Equipamiento para la red de acceso</i>	80
4.3.2	<i>Equipamiento para la red de transporte</i>	81
4.4	DETERMINACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	82
4.4.1	<i>Subsistema de protección</i>	82
4.4.2	<i>Subsistema de energía</i>	83

4.4.3	Torres.....	84
5	COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO	85
5.1	COSTOS DE INVERSIÓN.....	85
5.1.1	Red de acceso.....	85
5.1.2	Red de transporte.....	86
5.2	COSTOS DE OPERACIÓN.....	87
5.3	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO	87
5.3.1	CAPEX	88
5.3.2	OPEX	88
6	CONCLUSIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	RELACIÓN DE ANEXOS	95



LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS	4
FIGURA 1.2 ASIGNACIÓN DEL ANCHO DE BANDA UTILIZANDO FDD	7
FIGURA 1.3 ESTRUCTURA DE TRAMA TDD.....	7
FIGURA 1.4 ESTRUCTURA DE LA SUBTRAMA DOWNLINK USANDO TDD	9
FIGURA 1.5 ESTRUCTURA DE LA SUBTRAMA DOWNLINK USANDO FDD	10
FIGURA 1.6 ESTRUCTURA DE LA SUBTRAMA UPLINK.....	11
FIGURA 1.7 PROCESO DE TRANSMISIÓN	14
FIGURA 1.8 ESTRUCTURA DE LOS TIEMPOS DEL SÍMBOLO OFDM	16
FIGURA 1.9 DESCRIPCIÓN EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA- OFDM.....	17
FIGURA 1.10 ESTRUCTURA DE LOS TIEMPOS DEL SÍMBOLO OFDMA.....	18
FIGURA 1.11 DESCRIPCIÓN EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA- OFDMA ..	19
FIGURA 1.12 PROCESO DE CODIFICACIÓN DEL CANAL.....	20
FIGURA 1.13 FORMATO MAC PDU	25
FIGURA 1.14 ESQUEMA HANDOVER.....	29
FIGURA 2.1 ÁREA METROPOLITANA DE TRUJILLO	32
FIGURA 2.2 TASA DE CRECIMIENTO LIMA, TRUJILLO Y NACIONAL	33
FIGURA 3.1 ANCHOS DE BANDA REQUERIDOS SEGÚN APLICACIÓN.....	44
FIGURA 3.2 COMPARACIÓN DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS	45
FIGURA 3.3 APLICACIONES DE LA RED DE ACCESO WIMAX.....	46
FIGURA 3.4 CONVERGENCIA DE LOS EQUIPOS TERMINALES	47
FIGURA 4.1 FASES DE EXPANSIÓN DE LA RED DE ACCESO	52
FIGURA 4.2 ESTRUCTURA DE SUB PORTADORAS OFDMA.....	57
FIGURA 4.3 REUSO DE FRECUENCIAS TÍPICO	58
FIGURA 4.4 ESTACIÓN BASE DEL PROYECTO	59
FIGURA 4.5 COBERTURA BTS 1 – CENTRO DE TRUJILLO	64
FIGURA 4.6 COBERTURA BTS 1,2 Y 3 – CENTRO DE TRUJILLO.....	66
FIGURA 4.7 COBERTURA DE LA RED EN LAS FASES 1 Y 2	73
FIGURA 4.8 COBERTURA EN LA FASE 3 – PRIMERA PARTE	74
FIGURA 4.9 COBERTURA EN LA FASE 3 – SEGUNDA PARTE.....	74
FIGURA 4.10 VISTA PANORÁMICA DE LAS BTS	75
FIGURA 4.11 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE	76
FIGURA 4.12 ZONAS DE FRESNEL	77
FIGURA 4.13 VISTA PANORÁMICA DE LA RED DE TRANSPORTE	78
FIGURA 4.14 ENLACE BTS 15 (HUANCHACO) - BTS 12 (LA ESPERANZA).....	78
FIGURA 4.15 ENLACES SATISFACTORIOS EN LA RED DE TRANSPORTE.....	79
FIGURA 4.16 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	82
FIGURA 4.17 SUBSISTEMA DE ENERGÍA TÍPICO	83
FIGURA 4.18 TORRES AUTO SOPORTADAS	84
FIGURA 5. 1 CAPEX DEL PROYECTO.....	88
FIGURA 5. 2 OPEX DEL PROYECTO	89
FIGURA 5. 3 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO.....	90

LISTA DE TABLAS

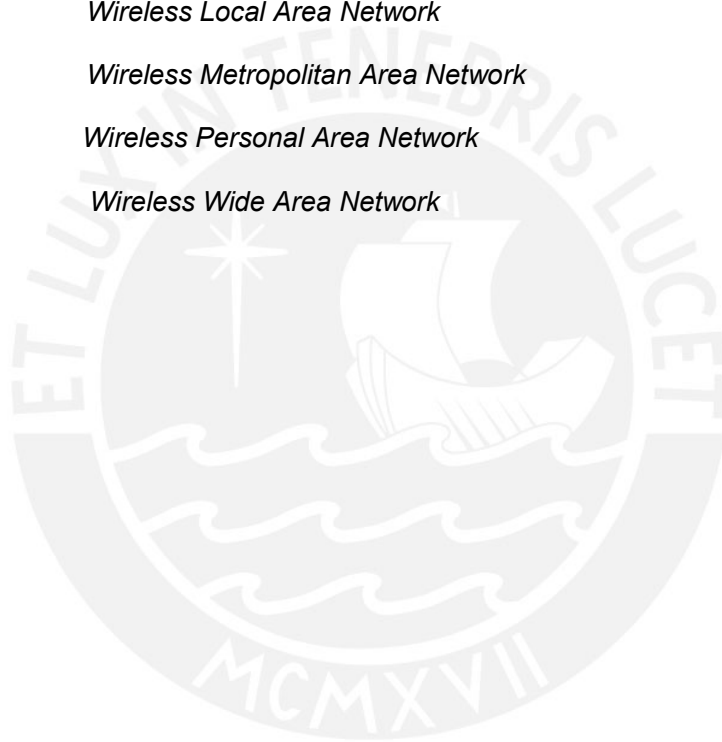
TABLA 1.1 TIPOS DE PREÁMBULOS.....	11
TABLA 2.1 POBLACIÓN REFERENCIAL TRUJILLO METROPOLITANO	34
TABLA 2.2 PEA POR DISTRITOS - TRUJILLO METROPOLITANO.....	35
TABLA 2.3 PORCENTAJE DE HOGARES SEGÚN ESTRATOS – AÑO 2004	35
TABLA 2.4 TELEFONÍA FIJA EN TRUJILLO METROPOLITANO.....	36
TABLA 2.5 COBERTURA EN TRUJILLO METROPOLITANO POR OPERADOR .	37
TABLA 2.6 SERVICIO ADSL TRUJILLO METROPOLITANO	38
TABLA 2.7 USUARIOS DE TELEVISIÓN POR CABLE	39
TABLA 3.1 MERCADO META WIMAX.....	42
TABLA 3.2 PRIMERA ESTIMACIÓN DE LA PEA - AÑO 2010.....	48
TABLA 3.3 SEGUNDA ESTIMACIÓN DE LA PEA - AÑO 2010	48
TABLA 3.4 MERCADO META POR DISTRITOS	49
TABLA 3.5 PRECIOS PAQUETES BÁSICOS.....	50
TABLA 3.6 PRECIOS PAQUETES PLUS	50
TABLA 4.1 MERCADO INICIAL Y FINAL.....	53
TABLA 4.2 ESTIMACIÓN DE CLIENTES POR PAQUETE Y POR DISTRITO.....	53
TABLA 4.3 USUARIOS EN LA HC - THROUGHPUT TOTAL POR FASE.....	54
TABLA 4.4 THROUGHPUT POR BTS – SIN/CON OVERBOOKING	55
TABLA 4.5 NÚMERO DE ESTACIONES BASE NECESARIAS POR FASE	56
TABLA 4.6 VALORES FIJOS PARA EL CÁLCULO DE COBERTURA	63
TABLA 4.7 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 1 – CENTRO DE TRUJILLO	63
TABLA 4.8 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 2 – CENTRO DE TRUJILLO	65
TABLA 4.9 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 3 – CENTRO DE TRUJILLO	65
TABLA 4.10 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 4 – 1º FASE	67
TABLA 4.11 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 5 – 1º FASE	67
TABLA 4.12 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 6 – 1º FASE	68
TABLA 4.13 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 7 – 1º FASE	68
TABLA 4.14 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 8 – 1º FASE	69
TABLA 4.15 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 9 – 1º FASE	69
TABLA 4.16 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 10 – 1º FASE.....	70
TABLA 4.17 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 11 – 2º FASE.....	70
TABLA 4.18 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 12 – 1º FASE.....	71
TABLA 4.19 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 13 – 2º FASE.....	71
TABLA 4.20 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 14 – 2º FASE.....	72
TABLA 4.21 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 15 – 3º FASE.....	72
TABLA 4.22 ANÁLISIS DE COBERTURA BTS 16 – 3º FASE.....	73
TABLA 4.23 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - ESTACIONES BASES.....	80
TABLA 4.24 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - ANTENAS WIMAX	80
TABLA 4.25 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - TERMINALES MÓVILES	81
TABLA 4.26 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - RADIO ENLACES	81
TABLA 4.27 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - ANTENAS PUNTO A PUNTO ...	81

GLOSARIO

AAA	<i>Authorization, Authentication and Accounting</i>
ASA	<i>Authentication and Service Authorization Servers</i>
BBU	<i>Base Band Unit</i>
BER	<i>Bir Error Rate</i>
BH	<i>Busy Hour</i>
BSID	<i>Base Station Identifier</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditures</i>
CP	<i>Cyclic Prefix</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
DCD	<i>Downlink Channel Descriptor</i>
DIUC	<i>Downlink Interval Usage Code</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i>
FITEL	<i>Fondo de Inversión en Telecomunicaciones</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HO	<i>Handover</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IEEE	<i>The Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IDU	<i>Indoor Unit</i>

IP	<i>Internet Protocol</i>
LID	<i>Link Identifier</i>
LOS	<i>Line of Sight</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Medium Access Control Layer</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
NID	<i>Node Identifier</i>
NLOS	<i>Non Line of Sight</i>
NOC	<i>Network Operations Center</i>
ODU	<i>Outdoor Unit</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
OPEX	<i>Operations and Maintenance Expenditures</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PL	<i>Path Loss</i>
PMP	<i>Point to Multipoint</i>
PS	<i>Physical Slot</i>
PYME	<i>Pequeña y Mediana Empresa</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RRU	<i>Remote Radio Unit</i>
RTG	<i>Base Station Receive/Transmit Transition Gap</i>
SSTG	<i>Subscriber Station Transition Gap</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>

TTG	<i>Base Station Transmit/Receive Transition Gap</i>
UIUC	<i>Uplink Interval Usage Code</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UWB	<i>Ultra Wide Band</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>
WIMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WWAN	<i>Wireless Wide Area Network</i>



INTRODUCCIÓN

Los servicios de Telecomunicaciones en la actualidad cada vez son más eficientes. Prueba de ello es la constante evolución de las diferentes tecnologías y el desarrollo de otras nuevas que permiten estar a la altura de las exigencias tecnológicas.

La industria de las Telecomunicaciones ha puesto principal atención en el despliegue de las redes inalámbricas de banda ancha y en especial en el despliegue de las redes WIMAX como una alternativa para la red de acceso.

El objetivo principal de la presente tesis es presentar el diseño de una red WIMAX móvil para Trujillo metropolitano. Con esto se pretende demostrar las diferencias en cuanto a la calidad de servicio, las tasas de transmisión, los costos de instalación, operación y mantenimiento, entre otros parámetros, en comparación con las redes actuales.

El primer capítulo nos muestra el marco teórico de la tesis cuya referencia principal es el estándar IEEE 802.16e-2005, el estándar para WIMAX móvil. El segundo capítulo nos muestra un análisis demográfico de la zona y el estado actual de las Telecomunicaciones en dicho lugar.

El tercer capítulo nos muestra una estimación del mercado meta para posteriormente definir los servicios que se ofrecerán una vez realizado el despliegue de la red de acceso.

El cuarto capítulo nos muestra toda la ingeniería del proyecto aplicando los conceptos básicos para la planificación de redes de Telecomunicaciones. Finalmente, el último capítulo trata de promover el empleo de las redes de acceso WIMAX demostrando que son económicamente rentables bajo un escenario como el de Trujillo metropolitano.



1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y ESTÁNDAR 802.16e-2005

1.1 Medios Inalámbricos de banda ancha

WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es una de las tecnologías inalámbricas de banda ancha que está revolucionando la industria de las Telecomunicaciones debido a que ofrece una amplia cobertura, altas tasas de transmisión, calidad de servicio y ahora también, movilidad. Estas son algunas de las razones por las que esta tecnología fue elegida como base para el desarrollo de la presente tesis.

Para comenzar ubicaremos a WIMAX dentro de la clasificación de las redes inalámbricas, la cual se puede dar en función al área de cobertura. La siguiente figura nos muestra los diferentes tipos de redes inalámbricas y los estándares más representativos:

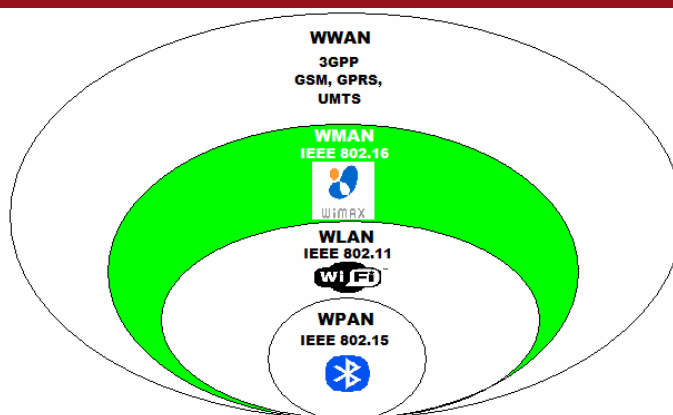


Figura 1.1 Clasificación de las redes Inalámbricas

Fuente: Elaboración propia

Las redes inalámbricas de menor alcance se denominan WPANs (*Wireless Personal Area Network*) y cubren distancias de hasta 10m con velocidades de hasta 1Mbps. Estas permiten a los usuarios establecer redes Ad-hoc, entre dispositivos pero en un espacio reducido, o infraestructura, para conectarse a otras redes y brindar comunicaciones inalámbricas a dispositivos capaces de enviar y recibir información; algunos ejemplos: PDA, Laptop, etc. El estándar más representativo es el IEEE 802.15, mundialmente conocido como Bluetooth. También existen otras tecnologías como el infrarrojo, muy utilizado al inicio de las comunicaciones inalámbricas, o recientemente la tecnología UWB (Ultra Wide Band), la cual ofrece a los usuarios una conexión a corta distancia con altas velocidades (de hasta 100Mbps); Sin embargo, está aún en desarrollo.

Las redes inalámbricas de alcance local se denominan WLANs (*Wireless Local Area Network*) y cubren distancias de hasta 100m con velocidades de hasta 54Mbps. Las WLANs son utilizadas para comunicaciones inalámbricas utilizando las mismas topologías de red que las WPANs: Ad-hoc o infraestructura, en edificios, casas, oficinas, restaurantes, aeropuertos, etc. Los estándares más representativos son los mundialmente conocidos IEEE 802.11a, b y g. Todos estos bajo el sello de WIFI (*Wireless Fidelity*), el cual asegura la interoperabilidad entre los equipos. Actualmente los dispositivos que cuentan con el sello WIFI pueden soportar los diferentes tipos de estándares mencionados, por lo que no existen problemas de interoperabilidad.

Las redes inalámbricas de mediano alcance se denominan WMANs (*Wireless Metropolitan Area Network*) y pueden cubrir distancias de hasta 20Km con velocidades de hasta 74Mbps (teórico). Con las redes WMANs se pueden

establecer conexiones inalámbricas de banda ancha entre múltiples locaciones (por ejemplo, entre múltiples oficinas en una ciudad) sin la necesidad de tender fibra óptica y sin considerar el alto costo que esto demandaría. Actualmente se cuenta con dos estandarizaciones: IEEE 802.16d, conocido también como IEEE 802.16d-2004, es el estándar fijo de WIMAX debido a que no permite mantener una conexión inalámbrica mientras que el usuario final se desplaza. Además, las antenas receptoras son de grandes dimensiones si la comparamos, por ejemplo, con las tarjetas inalámbricas WIFI. Un año después del lanzamiento de este estándar, IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*) desarrolló el estándar IEEE 802.16e, conocido también como IEEE 802.16e-2005, el cual es el estándar móvil para WIMAX. Esto se dio gracias al esfuerzo del grupo de trabajo 802.16 encargado del desarrollo de los estándares WIMAX a nivel mundial. Esta actualización nos ofrece dos importantes mejoras: aumento en la capacidad de transmisión y la tan esperada movilidad. Finalizado el 28 de Febrero del 2006, el estándar IEEE 802.16e-2005 promete convertirse en la solución a los problemas que convienen los altos costos de infraestructura de la última milla, estableciéndose como una alternativa interesante para la red de acceso. El encargado de velar por la interoperabilidad entre los dispositivos bajos los estándares IEEE 802.16d-2004 y IEEE 802.16e-2005 es el WIMAX Forum, que actualmente cuenta con más de 400 miembros inscritos (*Miembros de Wimax Forum.- <http://www.wimaxforum.org/about/roster>*). Por lo tanto, no cabe duda que la industria de las Telecomunicaciones apuesta por el éxito de esta tecnología inalámbrica de banda ancha a nivel mundial.

Finalmente, están las redes inalámbricas de gran alcance denominadas WWANs (*Wireless Wide Area Network*) que cubren distancias de hasta 40Km. Las tecnologías WWANs más representativas son los sistemas 3GPP. En esta línea se encuentran los sistemas GSM (*Global System for Mobile Communications*) denominados también sistemas de segunda generación (2G). Posteriormente la evolución natural a los sistemas GPRS (*General Packet Radio Service*) que permiten además de la voz la transmisión de paquetes. En la actualidad, nos encontramos en una tercera generación (3G) con los sistemas UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y sus evoluciones naturales como son HSDPA, HSUPA y en un futuro no muy lejano LTE (*Long Term Evolution*).

Todas estas tecnologías inalámbricas en un futuro serán complementarias. Si bien las redes celulares GPRS pueden transmitir datos además de la voz, no son muy eficientes al hacerlo. Por otro lado, tenemos a las redes de datos capaces de transmitir voz utilizando la tecnología VoIP (*Voice over IP*). No cabe duda que se pretende llegar a una convergencia entre las redes de conmutación de circuitos (voz) y las redes de conmutación de paquetes (datos). Esta convergencia es la que justamente propone WIMAX a través de una única red capaz de brindar los servicios de voz y datos con altas tasas de transmisión, calidad de servicio y movilidad.

1.2 Capa física

El estándar 802.16e-2005 define perfiles para la capa física y para la capa MAC. La capa MAC se encarga de los mecanismos de acceso al medio, control de potencia, entre otras funciones. La capa física se encarga de manejar la interface aire y el esquema de modulación basado en la necesidad de los suscriptores y en la calidad del enlace de radiofrecuencia.

1.2.1 Especificaciones WirelessMAN-SC PHY

Para poder permitir el uso flexible del espectro, las configuraciones TDD (*Time Division Duplex*) y FDD (*Frequency Division Duplex*) son soportadas. En ambos casos se utiliza un formato de transmisión de ráfaga cuyo mecanismo de entramado soporta perfiles de ráfaga que se adaptan a las necesidades de la estación suscriptora, en los cuales los parámetros de transmisión, incluyendo la modulación y esquemas de codificación, pueden ser ajustados individualmente.

Esta especificación física funciona en un formato de trama. Dentro de cada trama se encuentra una subtrama downlink y otra uplink. La subtrama downlink comienza con la información necesaria para la sincronización de la trama y el control. En el caso de TDD, la subtrama downlink viene primero seguida de la subtrama uplink. En el caso de FDD, las transmisiones uplink ocurren concurrentemente con la trama downlink.

1.2.1.1 Técnicas de duplexación

La duplexación por división de tiempo (TDD) y la duplexación por división de frecuencia (FDD) son soportadas. En la operación FDD, los canales de uplink y downlink se encuentran en frecuencias separadas. La capacidad del downlink de ser transmitido en ráfagas facilita el uso de diferentes tipos de modulación y permite al sistema soportar simultáneamente transmisiones full-duplex y half-duplex. En la siguiente figura se muestra la operación FDD.

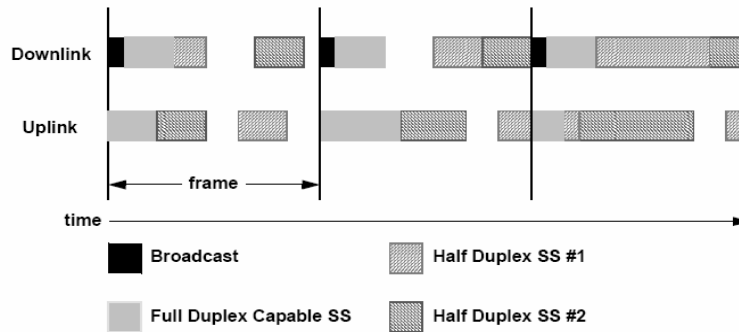


Figura 1.2 Asignación del ancho de banda utilizando FDD

Fuente: [IE32005]

Para el caso de TDD, las transmisiones uplink y downlink comparten la misma frecuencia pero están separadas en el tiempo como lo muestra la siguiente figura:

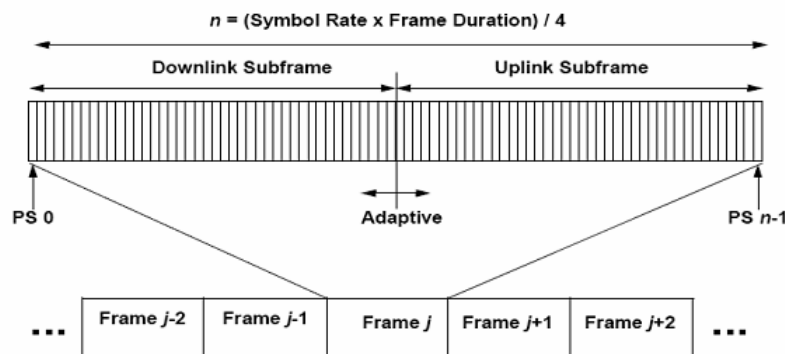


Figura 1.3 Estructura de trama TDD

Fuente: [IE32005]

Una trama TDD también tiene una duración fija y contiene una subtrama downlink y otra uplink. El entramado TDD es adaptativo debido a que la capacidad del enlace asignado al downlink versus la capacidad asignada al uplink puede variar.

1.2.1.1.1 TTG

El TTG (*Base Station Transmit/Receive Transition Gap*) es el intervalo de tiempo entre la ráfaga downlink y la subsiguiente ráfaga uplink. Este intervalo le da un tiempo a las estaciones base para cambiar del modo de transmisión al modo de recepción. Durante este intervalo la estación base permite que la portadora transmisora de dicha estación disminuya su intensidad, que la antena transmisora/receptora cambie para poder operar en el modo de recepción y que la sección receptora de la estación base cambie ha estado activo. Después de este intervalo, el receptor de la estación base buscará los primeros símbolos de la ráfaga uplink. Este intervalo es un número entero de duraciones PS (*Physical Slot*) y comienza en su valor límite. TTG no aplica para los sistemas FDD.

1.2.1.1.2 RTG

El RTG (*Base Station Receive/Transmit Transition Gap*) es el intervalo de tiempo entre la ráfaga uplink y la subsiguiente ráfaga downlink. Este intervalo le da un tiempo a las estaciones base para cambiar del modo de recepción al modo de transmisión. Durante este intervalo la estación base permite que la portadora transmisora de dicha estación aumente su intensidad y que la antena transmisora/receptora cambie para poder operar en modo de transmisión. Después de este intervalo el receptor de la estación suscriptora buscará los primeros símbolos de la información modulada QPSK en la ráfaga downlink. Este intervalo es un número entero de duraciones PS (*Physical Slot*) y comienza en su valor límite. RTG no aplica para sistemas FDD.

1.2.1.2 Downlink PHY

1.2.1.2.1 Subtrama downlink

La subtrama downlink comienza con un preámbulo usado por la capa física para la sincronización y la ecualización. Esto es seguido de una trama de sección de control, la cual contiene el DL-MAP (*Downlink Map*, un mensaje MAC que describe las características físicas del canal downlink) y el UL-MAP (*Uplink Map*, información que define el acceso completo para un intervalo programado). La siguiente porción TDM (*Time Division Multiplexing*, una porción contigua de secuencia de datos TDM usando parámetros físicos, determinados por el código de uso del intervalo downlink, que permanece constante durante la ráfaga. Estas ráfagas TDM no son separadas por intervalos ni por preámbulos) contiene la información organizada en ráfagas con diferentes perfiles de ráfaga y por lo tanto diferentes niveles de confiabilidad. Las ráfagas son transmitidas en orden decreciente de confiabilidad. Para el caso de TDD, hay un TTG que separa la subtrama downlink de la subtrama uplink. Cada estación suscriptora recibe y decodifica la información de control del downlink y analiza la cabecera MAC. La siguiente figura muestra la estructura de la subtrama downlink usando TDD.

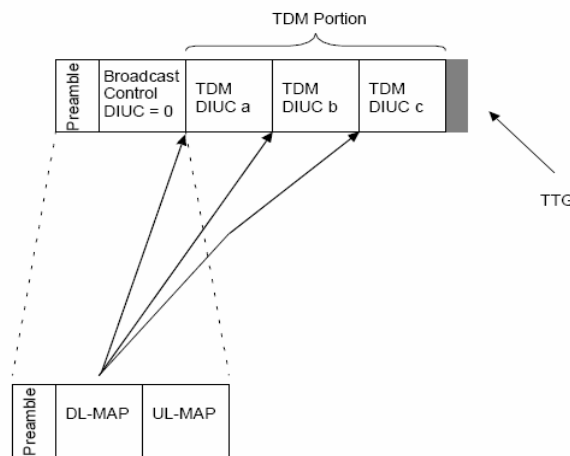


Figura 1.4 Estructura de la subtrama downlink usando TDD

Fuente: [IE32005]

Donde DIUC (*Downlink Interval Usage Code*) es un código que identifica el intervalo de transmisión downlink. Para el caso de FDD, y de manera similar a la anterior, la subtrama downlink comienza con un preámbulo seguido de una trama de sección de control y una porción TDM organizada en ráfagas y transmitidas en orden decreciente de confiabilidad de perfil de ráfaga. La subtrama downlink de FDD continúa con una porción TDMA (*Time Division Multiple Access*, una porción

contigua del uplink y downlink usando parámetros físicos, determinados por el código de uso del intervalo downlink o por el código de uso del intervalo uplink, que permanece constante durante la ráfaga. Las ráfagas TDMA están separadas por preámbulos y están separadas por intervalos en la transmisión si las ráfagas subsiguientes son de diferentes transmisores) usada para transmitir información hacia cualquier estación suscriptora half-duplex programada para transmitir antes de recibir. Esto permite a las estaciones suscriptoras, individualmente, decodificar una porción específica del downlink sin tener que decodificar toda la subtrama downlink. En la porción TDMA, cada ráfaga comienza con un preámbulo de ráfaga para la fase de re-sincronización. Las ráfagas en la porción TDMA no necesitan ser ordenadas por perfiles de ráfaga en orden de confiabilidad de transmisión. La trama de sección de control en FDD incluye un mapeo de ambas ráfagas: TDM y TDMA. La siguiente figura muestra la estructura de la subtrama downlink usando FDD.

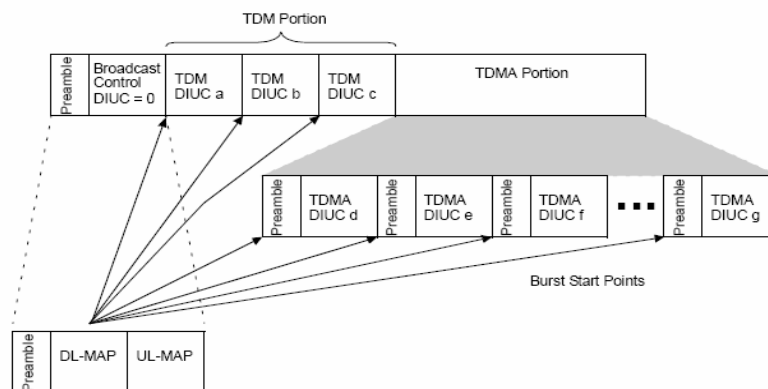


Figura 1.5 Estructura de la subtrama downlink usando FDD

Fuente: [IE32005]

La subtrama downlink, en TDD, es idéntica en estructura a la subtrama downlink en FDD para el caso en el que ninguna estación suscriptora half-duplex este programada para transmitir antes de recibir.

El siguiente cuadro nos muestra los dos tipos de preámbulos existentes: preámbulo de comienzo de trama, el cual se utiliza en el comienzo de cada trama downlink, y preámbulo de ráfaga downlink TDMA, el cual se utiliza en cada ráfaga TDMA en la porción TDMA de la subtrama downlink.

Nombre del Preámbulo	Perfil de ráfaga	Tipo de preámbulo	Tipo de modulación
Preámbulo de comienzo de trama	Ráfaga TDM	1	QPSK
Preámbulo de ráfaga downlink TDMA	Ráfaga TDMA	2	QPSK

Tabla 1.1 Tipos de preámbulos

Fuente: [IE32005]

La primera porción en la trama downlink que le sigue al preámbulo es la sección de control. Esta es usada para información de control destinada para todas las estaciones suscriptoras. Esta sección contiene los mensajes DL-MAP y UL-MAP antes mencionados.

1.2.1.3 Uplink PHY

1.2.1.3.1 Subtrama uplink

La estructura de la subtrama uplink usada por las estaciones suscriptoras para transmitir a las estaciones base se muestra a continuación:

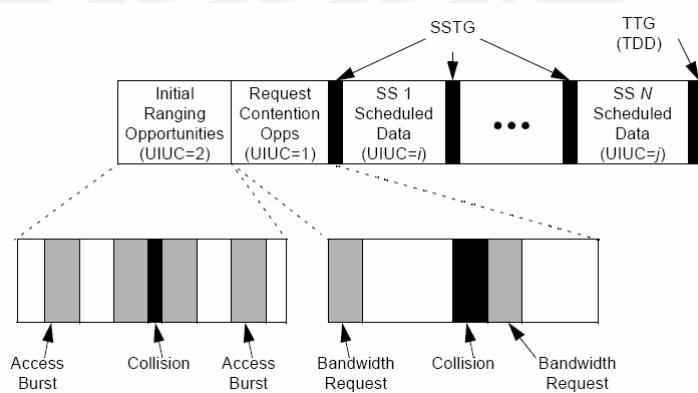


Figura 1.6 Estructura de la subtrama uplink

Fuente: [IE32005]

Donde UIUC (*Uplink Interval Usage Code*) es un código que identifica el intervalo de transmisión uplink. Existen tres clases de ráfaga que pueden ser transmitidas por las estaciones suscriptoras durante la subtrama uplink:

- Aquellas que son transmitidas en oportunidades de contención, reservadas para el Initial Ranking.
- Aquellas que son transmitidas en oportunidades de contención, definidas por los *Request Intervals*.
- Aquellas que son transmitidas en intervalos definidos.

Los SSTG (*Subscriber Station Transition Gap*) separan las transmisiones de varias estaciones suscriptoras durante la subtrama uplink. Este intervalo permite la disminución de la intensidad de las ráfagas previas, seguido de un preámbulo que permite la sincronización entre las estaciones bases y las nuevas estaciones suscriptoras.

Cada ráfaga uplink comenzará con un preámbulo uplink que está basado en la repetición de la secuencia de auto-correlación de amplitud cero y de rotación constante de +45 grados. La longitud del preámbulo puede ser de 16 y de 32 símbolos, en donde realmente ocurre una repetición de la secuencia con longitudes de 8 y 16 respectivamente.

La modulación utilizada en los canales de uplink deberá ser variada y establecida por las estaciones base. La modulación QPSK deberá ser soportada, mientras que 16-QAM y 64-QAM son opcionales.

1.2.1.4 Control del subsistema radio

1.2.1.4.1 Técnica de sincronización

El demodulador downlink típicamente proporciona un reloj referencial de salida, el cual es derivado del reloj de símbolos downlink. Esta referencia puede ser usada por las estaciones suscriptoras para proporcionar sincronización para interfaces críticas de velocidad cuando el reloj downlink se traba a una referencia exacta en las estaciones base.

La precisa sincronización de los time slots en el uplink es soportada debido al procedimiento de calibración, definido por la capa MAC, para asegurarse que las transmisiones uplink producidas por usuarios múltiples no interfieran unas con otras. Por lo tanto, la capa física necesita soportar una precisa sincronización

estimada en las estaciones base y la flexibilidad para finalmente modificar la sincronización en las estaciones suscriptoras de acuerdo a las características del transmisor.

1.2.1.4.2 Control de frecuencia

La frecuencia central RF transmitida por las estaciones base y por cada estación suscriptora deberá tener una precisión mejor que $\pm 10 \times 10^{-6}$. Por lo tanto, la precisión de la frecuencia portadora para la estación base deberá ser mejor que $\pm 8 \times 10^{-6}$.

1.2.1.4.3 Control de Potencia

El algoritmo de control de potencia deberá ser soportado por los canales uplink con una calibración inicial y con el procedimiento de ajuste periódico sin perder información. La estación base deberá ser capaz de proporcionar una medida de potencia precisa de las señales de ráfaga recibidas. Este valor puede luego ser comparado contra un nivel referencial y el error resultante puede retroalimentarse hacia la estación suscriptora en un mensaje de calibración proveniente de la capa MAC. El algoritmo de control de potencia deberá ser diseñado para soportar atenuaciones de potencia debido a las pérdidas en las distancias ó a las fluctuaciones de potencia a velocidades de como máximo 20dB/seg. El rango de control de potencia total consiste una porción fija y en una porción que es controlada automáticamente por la retroalimentación.

1.2.2 Especificaciones WirelessMAN-SCa PHY

La Wireless MAN-SCa PHY está basada en la tecnología de portadora única y diseñada para operaciones NLOS (sin línea de vista) en las bandas de frecuencia por debajo de 11 GHz.

1.2.2.1 Proceso de transmisión

La siguiente figura nos muestra los pasos que intervienen en el proceso de transmisión:

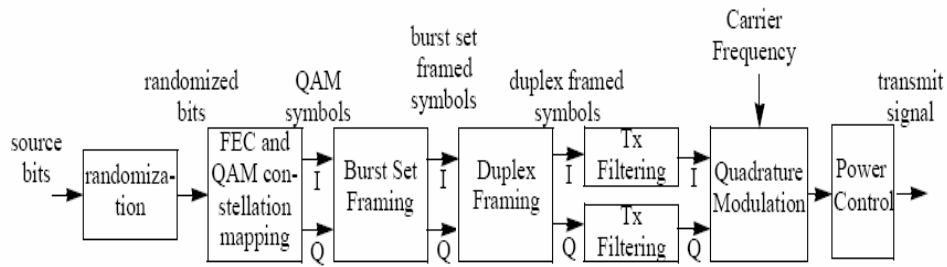


Figura 1.7 Proceso de transmisión

Fuente: [IE32005]

La información proveniente de la fuente deberá primero ser aleatorizada, luego ser codificada y mapeada a símbolos QAM. Los símbolos QAM deberán ser entramados dentro de un sistema de ráfaga, el cual introduce típicamente símbolos de entramado adicionales. Los símbolos dentro del sistema de ráfaga serán multiplexados en una trama duplex, la cual podría contener múltiples ráfagas. Los componentes de los símbolos I y Q serán inyectados en un filtro de formación de pulso, modulados en cuadratura hasta una frecuencia portador y amplificados con el control de potencia de modo que la potencia de salida apropiada es transmitida. El proceso de transmisión es el mismo para uplink y downlink.

1.2.2.2 Requerimientos del sistema

1.2.2.2.1 Precisión de la frecuencia del canal

La precisión de la frecuencia del canal RF para una estación suscriptora deberá estar dentro del $\pm 15 \times 10^{-6}$ de la portadora RF seleccionada y dentro del rango de temperatura de operación de -40 hasta $+60$ °C. Por otro lado, La precisión de la frecuencia para una estación base deberá estar dentro del $\pm 8 \times 10^{-6}$ de la portadora RF seleccionada y dentro del rango de temperatura de operación de -40 hasta $+60$ °C.

1.2.2.2.2 Control del nivel de potencia del transmisor

El transmisor para una estación suscriptora y para una estación base, deberá proporcionar, respectivamente, ≥ 30 dB y ≥ 20 dB de control de nivel potencia monotónico. La precisión relativa del mecanismo de control de potencia para la

estación suscriptora y para la estación base es $\pm 25\%$ del paso de control, pero no mayor a 4dB.

1.2.2.2.3 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad del receptor deberá ser mejor que los valores mostrados a continuación, tomando en cuenta que estos se calcularon con un BER de 10^{-3} y con un total de ruido en el receptor de 7dB y donde BW está en MHz:

$$\begin{aligned} \text{QPSK: } & -93.2 + 10 \cdot \log(BW) \\ \text{16-QAM: } & -86.2 + 10 \cdot \log(BW) \\ \text{64-QAM: } & -80 + 10 \cdot \log(BW) \end{aligned}$$

Asumiendo los siguientes valores de SNR:

$$\begin{aligned} \text{QPSK: } & 9.8 \text{ dB} \\ \text{16-QAM: } & 16.8 \text{ dB} \\ \text{64-QAM: } & 23.0 \text{ dB} \end{aligned}$$

Fuente: [IE32005]

1.2.2.2.4 Señal de entrada máxima y señal tolerable máxima

Una estación base deberá ser capaz de recibir una señal de operación en canal máxima de -40 dBm y tolerar una señal de entrada máxima de 0 dBm sin dañar el circuito. Una estación suscriptora deberá ser capaz de recibir una señal de operación en canal máxima de -20 dBm y tolerar una señal de entrada máxima de 0 dBm sin dañar el circuito.

1.2.3 Especificaciones WirelessMAN-OFDM PHY Layer

La WirelessMAN-OFDM PHY Layer está basada en la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, multiplexación por división de frecuencias ortogonales) y diseñada para operaciones NLOS (sin línea de vista) en las bandas de frecuencia por debajo de 11 GHz.

1.2.3.1 Descripción del símbolo OFDM

1.2.3.1.1 Dominio del tiempo

La transformada inversa de Fourier da origen a la forma de onda de OFDM; esta duración de tiempo hace referencia al tiempo de símbolo útil T_b . Una copia del último T_g del período de símbolo útil, llamado CP (*Cyclic Prefix*), es usada para recoger multicaminos, manteniendo simultáneamente la ortogonalidad de los tonos.

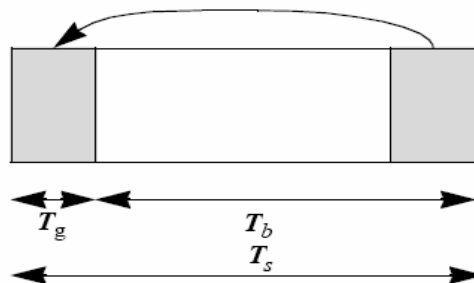


Figura 1.8 Estructura de los tiempos del símbolo OFDM

Fuente: [IE32005]

La energía del transmisor se incrementa con la longitud del tiempo de guarda mientras que la energía del receptor permanece igual (la extensión cíclica es descartada), por lo tanto hay una pérdida de $10\text{Log}(1 - T_g / (T_b + T_g)) / \text{Log}(10)$ dB en la relación señal a ruido E_b/N_0 . La fracción de exceso del CP y la resultante pérdida SNR pueden ser reducidas incrementando el tamaño de la FFT, el cual puede sin embargo, entre otras cosas, afectar adversamente la sensibilidad del sistema. Usando la extensión cíclica las muestras requeridas para ejecutar la FFT en el receptor pueden ser tomadas en cualquier parte por encima de la longitud del símbolo extendido. Esto proporciona inmunidad a los multicaminos así como tolerancia para los errores de sincronización del tiempo del símbolo.

Inicialmente una estación suscriptora deberá buscar todos los valores posibles de CP hasta que encuentre el CP que está siendo usado por la estación base. La estación suscriptora deberá usar el mismo CP en el uplink. Cuando una duración CP específica ha sido seleccionada por la estación base para la operación en el downlink, no debería de cambiarse. El cambiar el CP forzaría a todas las estaciones suscriptoras a volver a sincronizarse con las estaciones bases.

1.2.3.1.2 Dominio de la frecuencia

La descripción en el dominio de la frecuencia incluye la estructura básica del símbolo OFDM. Un símbolo OFDM está compuesto de subportadoras, y la cantidad de estas determina la longitud de la FFT utilizada.

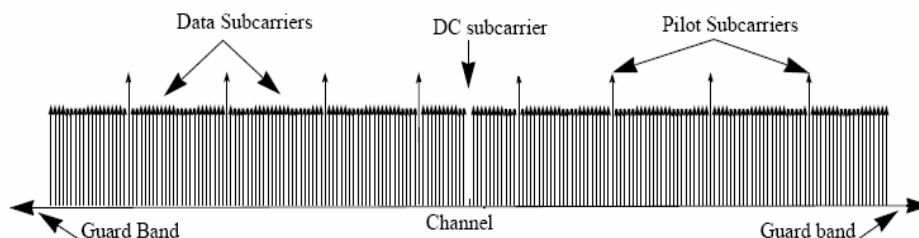


Figura 1.9 Descripción en el dominio de la frecuencia- OFDM

Fuente: [IE32005]

Existen tres tipos de subportadoras:

- Subportadora de datos: Para la transmisión de datos.
- Subportadora piloto: Para varios propósitos de estimación.
- Subportadora nula: Para bandas de guarda, subportadoras inactivas y subportadora DC.

En la figura anterior se muestra la amplitud real (en fase) de las componentes del símbolo OFDM con información modulada con QPSK. El propósito de las bandas de guarda es permitir que la señal decaiga naturalmente y crear una “pared” FFT. Las subportadoras están inactivas sólo en el caso de la transmisión subcanalizada por una estación suscriptora.

1.2.4 Especificaciones WirelessMAN-OFDMA PHY Layer

La WirelessMAN-OFDMA PHY Layer basada en la modulación OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*, acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales), está diseñada para operaciones NLOS en las bandas de frecuencia por debajo de 11 GHz. Para bandas licenciadas, los anchos de banda permitidos deberán ser limitados por el ancho de banda provisional regulatorio dividido entre cualquier potencia de dos no menor a 1 MHz. El modo OFDMA basado en al menos uno de los tamaños de FFT: 2048, 1024, 512 y 128 deberá ser

soportado. Esto facilita el soporte de diferentes anchos de banda de canal. La estación móvil podrá implementar un mecanismo de sondeo y búsqueda para detectar la señal downlink en la entrada de la ejecución de la red inicial; esto puede incluir una detección dinámica del tamaño de la FFT y el ancho de banda del canal empleado por la estación base.

1.2.4.1 Descripción del símbolo OFDMA

1.2.4.1.1 Dominio del tiempo

La transformada inversa de Fourier da origen a la forma de onda OFDMA; esta duración de tiempo hace referencia al tiempo de símbolo útil T_b . Una copia del último T_g del período de símbolo útil, llamado CP (*Cyclic Prefix*), es usada para recoger multicaminos manteniendo simultáneamente la ortogonalidad de los tonos.

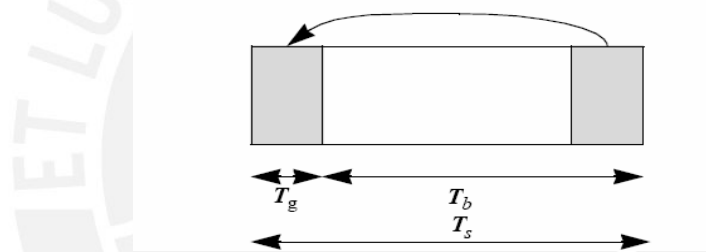


Figura 1.10 Estructura de los tiempos del símbolo OFDMA

Fuente: [IE32005]

La energía del transmisor se incrementa con la longitud del tiempo de guarda mientras que la energía del receptor permanece igual (la extensión cíclica es descartada), por lo tanto hay una pérdida de $10\text{Log}(1 - T_g / (T_b + T_g)) / \text{Log}(10)$ dB en la relación señal a ruido E_b/N_0 . Usando la extensión cíclica las muestras requeridas para ejecutar la FFT en el receptor pueden ser tomadas en cualquier parte por encima de la longitud del símbolo extendido. Esto proporciona inmunidad a los multicaminos así como tolerancia para los errores de sincronización del tiempo del símbolo.

Inicialmente una estación suscriptora deberá buscar todos los valores posibles de CP hasta que encuentre el CP que está siendo usado por la estación base. La estación suscriptora deberá usar el mismo CP en el uplink. Cuando una duración CP específica ha sido seleccionada por la estación base para la operación

en el downlink, no debería de cambiarse. El cambiar el CP forzaría a todas las estaciones suscriptoras a volver a sincronizarse con las estaciones base.

1.2.4.1.2 Dominio de la frecuencia

La descripción en el dominio de la frecuencia incluye la estructura básica del símbolo OFDMA. Un símbolo OFDMA está compuesto de subportadoras y la cantidad de estas determina la longitud de la FFT utilizada.

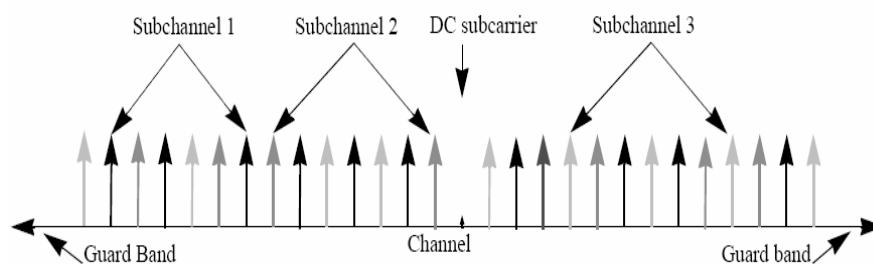


Figura 1.11 Descripción en el dominio de la frecuencia- OFDMA

Fuente: [IE32005]

Existen tres tipos de subportadoras:

- Subportadora de datos: Para la transmisión de datos.
- Subportadora piloto: Para varios propósitos de estimación.
- Subportadora nula: Para bandas de guarda y subportadora DC.

El propósito de las bandas de guarda es permitir que la señal decaiga naturalmente y crear una “pared” FFT. En el modo OFDMA las subportadoras activas son divididas en subconjuntos de subportadoras, donde cada subconjunto es llamado subcanal. En el downlink un subcanal puede ser previsto por diferentes receptores; en el uplink un transmisor puede ser asignado a uno o más subcanales, por lo que varios transmisores pueden transmitir simultáneamente. El símbolo es dividido en subcanales lógicos para soportar escalabilidad, acceso múltiple, y capacidades de procesamiento de arreglos de antenas avanzados.

1.2.4.2 Codificación del canal

El proceso de codificación del canal incluye: randomization, codificación FEC, interleaving, repetición y modulación (La repetición sólo debe ser aplicada cuando se utiliza modulación QPSK)

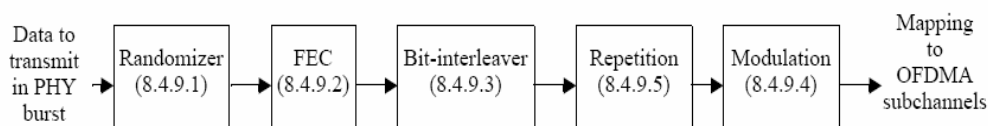


Figura 1.12 Proceso de codificación del canal

Fuente: [IE32005]

1.2.4.2.1 Randomization

La aleatorización de los datos es ejecutada en toda la información transmitida en el downlink y el uplink. La aleatorización es inicializada en cada bloque FEC. El aleatorizador es inicializado con un vector predeterminado.

1.2.4.2.2 Codificación

El método de codificación usado como esquema mandatorio será la codificación convolucional *Tail-Biting*. El tamaño de bloque de codificación deberá depender del número de slots asignados y la modulación especificada para la transmisión en curso.

1.2.4.2.3 Interleaving

La intercalación está definida por una permutación de dos pasos. La primera se asegura que los bits codificados adyacentemente sean mapeados sobre subportadoras no adyacentes. La segunda permutación asegura que los bits codificados adyacentemente sean mapeados alternadamente sobre menos o más bits significativos de la constelación, evitando así largas ejecuciones de bits poco confiables

1.2.4.2.4 Repetición

La codificación por repetición puede ser usada para incrementar ampliamente el margen de la señal sobre la modulación y los mecanismos FEC.

1.2.4.2.5 Modulación de la información

Después del bloque de repetición, los bits de datos son introducidos en serie en un mapa de constelación. Gray-mapped, QPSK y 16-QAM son soportadas, mientras que 64-QAM es opcional. Las constelaciones deberán ser normalizadas multiplicando el punto de la constelación por un factor determinado para lograr una potencia media igual.

1.2.4.3 Mecanismos de control

1.2.4.3.1 Ranging

Es cuando una estación suscriptora reafirma o inicializa su presencia en la red. Esto puede ocurrir en dos casos: en primer lugar durante el re-registro ó cuando la sincronización se pierde; en segundo lugar durante la transmisión FDD ó TDD periódica.

1.2.4.3.2 Control de potencia

Un algoritmo de control de potencia deberá ser soportado por los canales uplink con una calibración inicial y con el procedimiento de ajuste periódico sin perder información. La estación base deberá ser capaz de proporcionar una medida de potencia precisa de las señales de ráfaga recibidas. Este valor puede luego ser comparado contra un nivel referencial y el error resultante puede retroalimentarse hacia la estación suscriptora en un mensaje de calibración proveniente de la capa MAC. El algoritmo de control de potencia deberá ser diseñado para soportar atenuaciones de potencia debido a las pérdidas en las distancias ó a las fluctuaciones de potencia a velocidades de como máximo 30dB/seg.

1.2.4.4 Requerimientos del transmisor

Todos los requerimientos en el transmisor aplican al conector de salida RF de los equipos. Solamente para los equipos que cuentan con una antena integrada se deberá asumir una antena referencial con 0 dBi de ganancia.

El transmisor deberá soportar un control de nivel de potencia monotónico de 45dB como mínimo con un mínimo tamaño de paso de 1dB y una precisión relativa de ± 0.5 dB

1.2.4.5 Requerimientos del receptor

Todos los requerimientos en el receptor aplican al conector de entrada RF de los equipos. Solamente para los equipos que cuentan con una antena integrada se deberá asumir una antena referencial con 0 dBi de ganancia.

1.2.4.5.1 Sensibilidad del receptor

El BER medido después del FEC deberá ser mejor que 10^{-6} en los niveles de potencia dados por la siguiente ecuación:

$$R_{SS} = -114 + SNR_{RX} - 10 \times \log_{10}(R) + 10 \times \log_{10}\left(\frac{F_S \times N_{Used}}{N_{FFT}}\right) + ImpLoss + NF$$

Fuente: [IE32005]

Donde:

R_{SS} : Sensibilidad del receptor.

R: Factor de repetición.

SNR_{RX} : Relación señal a ruido en el receptor.

F_S : Frecuencia de muestreo en MHz.

N_{USED} : Número de subportadoras usadas.

N_{FFT} : Potencia más pequeña de las dos más grandes de N_{USED}

ImpLoss: Pérdida en la implementación. El valor asumido es 5dB

NF: Figura de ruido. El valor asumido es 8dB

1.2.4.5.2 Señal de entrada máxima y señal tolerable máxima

El receptor, para el caso de la estación suscriptora, deberá ser capaz de decodificar una señal máxima en el canal de -30dBm; para el caso de la estación base, deberá ser capaz de decodificar una señal máxima en el canal de -45dBm. El receptor deberá tolerar una señal máxima de 0dBm sin dañar el circuito.

1.2.4.6 Requerimientos del control de frecuencia

En la estación base, la frecuencia central transmitida, la frecuencia central recibida y la frecuencia de reloj del símbolo deberán ser derivadas del mismo oscilador referencial. La precisión de la frecuencia referencial deberá ser mejor que $\pm 2 \times 10^{-6}$ dB. En la estación suscriptora, la frecuencia de muestreo y la frecuencia central transmitida deberán ser derivadas del mismo oscilador referencial. Durante el período de sincronización la estación suscriptora deberá adquirir la sincronización de la frecuencia dentro de la tolerancia especificada antes de intentar cualquier transmisión uplink.

1.3 Capa MAC

Una red que utiliza un medio compartido deberá proveer un mecanismo eficiente para compartirlo. Las topologías de redes inalámbricas como PMP y Mesh, son ejemplos de cómo compartir el medio inalámbrico. En este caso, el medio es el espacio por donde las ondas de radio se propagan.

La principal diferencia entre el modo PMP y el modo opcional Mesh es que en el primero el tráfico sólo ocurre entre la estación base y las estaciones suscriptoras, mientras que en el modo Mesh el tráfico puede ser ruteado hacia otras estaciones suscriptoras e incluso puede ocurrir directamente entre estas.

1.3.1 Plano de Control/Datos

1.3.1.1 Conexiones y direccionamiento

1.3.1.1.1 Punto Multipunto

Cada interfaz aire en la estación suscriptoras deberá tener una dirección MAC universal de 48 bits. Esta dirección únicamente define la interfaz aire de la estación suscriptoras y es usada durante el proceso de Initial Ranging para establecer las conexiones apropiadas para una estación suscriptoras. También es usada como parte del proceso de autenticación por el cual la estación base y la estación suscriptoras se identifican una con otra.

Las conexiones son identificadas por un CID (*Connection Identifier*) de 16 bits. En el inicio de la conexión de las estaciones suscriptoras dos pares de conexiones (*Uplink* y *Downlink*) deberán ser establecidas entre la estación suscriptoras y la estación base, incluso un tercer par de conexiones podrá ser opcionalmente generado. Estos tres pares de conexiones reflejan el hecho de que, inherentemente, existen tres diferentes niveles de QoS (*Quality of Service*) para administrar el tráfico entre una estación suscriptoras y una estación base.

Para servicios de portadora, la estación base inicia la configuración de los flujos de servicio basado en la información distribuida a las estaciones base. El registro de una estación suscriptoras o la modificación del servicio contratado por la misma estimula a los niveles superiores de la estación base a iniciar la configuración de los flujos de servicio. Cuando se admite o se activa, los flujos de servicio son únicamente asociados con las conexiones de transporte. Los mensajes de administración MAC nunca deberán ser transmitidos sobre conexiones de transporte.

1.3.1.1.2 Malla

Cada nodo deberá tener una dirección MAC universal de 48 bits. Esta dirección únicamente define el nodo dentro del grupo de posibles tipos de vendedores y equipos. Esta dirección es usada durante el proceso de entrada a la red y como parte del proceso de autenticación por el cual el nodo candidato y la red verifican sus respectivas identidades.

Cuando se consigue la autorización para entrar a la red, el nodo candidato deberá recibir un identificador de nodo de 16 bits (*Node Identifier*) por un requerimiento a la estación base Mesh. El nodo identificador es la base para la identificación de nodos durante la operación normal. Este identificador es

transferido en la subcabecera Mesh que le sigue a la cabecera MAC genérica tanto en los mensajes unicast como en los mensajes broadcast.

Para registrar nodos en la vecindad local, un identificador del link de 8 bits deberá ser usado (*Link Identifier*). Cada nodo deberá asignar un identificador para cada link que ha establecido con sus vecinos. Estos identificadores son comunicados durante el proceso de establecimiento del link cuando los nodos vecinos establecen nuevas conexiones. El LID es transmitido como parte del CID en la cabecera genérica de la MAC en los mensajes unicast.

1.3.1.2 Formatos MAC PDU

Los MAC PDU deberán ser de la siguiente manera:

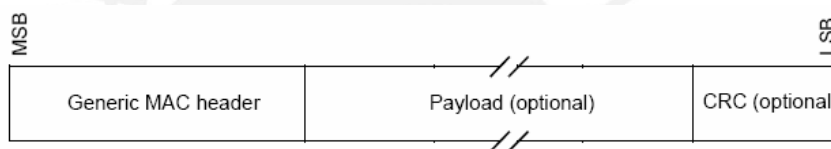


Figura 1.13 Formato MAC PDU

Fuente: [IE32005]

Cada PDU deberá comenzar con una cabecera MAC genérica de longitud fija. Esta cabecera podrá ser seguida de una carga útil (*Payload*) de la MAC PDU, la cual puede variar en longitud, por lo que la MAC PDU puede representar un número variable de bytes. Esto permite a la MAC manejar diferentes tipos de tráfico de niveles superiores sin el conocimiento de los formatos. Es obligatoria la implementación del CRC (*Cyclic Redundancy Check*) para SCA, OFDM y OFDMA.

1.3.1.3 Ancho de banda asignado y mecanismos de solicitud

Durante el inicio de la conexión a la red a cada estación suscriptora se le asignan hasta tres CIDs dedicados, con el propósito de enviar y recibir mensajes de control. Estos pares de comunicaciones son usados para permitir niveles diferenciados de QoS para ser aplicados a diferentes conexiones que contienen tráfico de control MAC. A continuación se explicarán los diferentes métodos que

utiliza la estación suscriptora para enviar un mensaje de solicitud a la estación base.

1.3.1.3.1 Solicitud de Ancho de Banda

Es el mecanismo utilizado por las estaciones suscriptoras para indicar a las estaciones base la necesidad de asignación de ancho de banda para el Uplink. Debido a que el perfil de ráfaga Uplink puede cambiar dinámicamente, todos los requerimientos de ancho de banda deberán ser realizados en función al número de bytes necesarios para poder transportar la cabecera MAC y el payload. El mensaje de solicitud puede ser transmitido durante cualquier asignación Uplink excepto durante el intervalo de Initial Ranging. Cabe resaltar que una estación suscriptora no deberá solicitar un ancho de banda para una conexión si es que esta no cuenta con un PDU para transmitir por dicha conexión.

1.3.1.3.2 Ancho de Banda Garantizado

Para una estación suscriptora las solicitudes de ancho de banda hacen referencia a conexiones individuales mientras que el ancho de banda garantizado está asociado al identificador de conexión de la estación suscriptora y no a identificadores de conexiones individuales.

1.3.1.3.3 Polling

Es el proceso por el cual la estación base asigna el ancho de banda a las estaciones suscriptoras. Esta asignación puede ser de manera individual (por cada estación suscriptora) ó de manera grupal (a un grupo de estaciones suscriptoras).

1.3.1.4 QoS

Los diferentes mecanismos que se describirán a continuación pueden ser utilizados para soportar QoS en tráfico Uplink y Downlink a través de la estación suscriptora y la estación base. El principal mecanismo para proporcionar QoS es la asociación de paquetes que atraviesan la interfaz MAC a un flujo de servicio. Un flujo de servicio es un flujo unidireccional de paquetes al cual se le proporciona un QoS en particular. La estación suscriptora y la estación base proporcionan QoS de acuerdo al conjunto de parámetros QoS establecidos por el flujo de servicio.

1.3.1.4.1 Flujos de servicio

Un flujo de servicio es un servicio de transporte a nivel MAC que proporciona transporte unidireccional de paquetes Uplink transmitidos por la estación suscriptora y de paquetes Downlink transmitidos por la estación base. Un flujo de servicio esta caracterizado por un conjunto de parámetros QoS como la latencia, jitter, throughput, entre otros.

1.3.1.5 Proceso handover

Es el proceso por el cual una estación móvil migra de una interfaz aire proporcionada por una estación base a una interfaz aire proporcionada por otra estación base. El proceso handover se describe a continuación:

- Reselección de celda: la estación móvil puede utilizar la información de la estación base vecina adquirida del mensaje MOB_NBR-ADV (*Neighbor Advertisement Message*) decodificado.
- Decisión HO: Un handover comienza con la decisión por parte de la estación móvil de migrar de una estación base (*Serving BTS*) a otra estación base (target BTS). La decisión puede originarse en la estación móvil o en la estación base inicial. Una decisión handover se consuma con la notificación del intento, por parte de la estación móvil, para realizar el handover a través de los mensajes MOB_MSHO-REQ (*MS HO Request Message*) y MOB_BSHO-REQ (*BTS HO request message*).
- Sincronización: La estación móvil deberá sincronizarse con las transmisiones downlink de la estación base a la cual está migrando y obtener los parámetros de transmisión Uplink y Downlink. Si la estación móvil hubiera recibido previamente el mensaje MOB_NBR-ADV incluyendo el BSID de la estación base a la cual se está migrando, la frecuencia física, el DCD (*Downlink Channel Descriptor*) y el UCD (*Uplink Channel Descriptor*), el proceso podría ser más corto. Si la estación base a la cual migra la estación móvil recibe previamente una notificación handover de la estación base inicial a través de la Backbone, esta puede asignar oportunidades de Inicial Ranging basadas en la no contención.

- Ranging: La estación móvil y la estación base a la cual se está migrando deberán conducir un Initial Ranging o un Ranging Handover. Si el RNG-REQ (*Ranging Request*) de la estación móvil incluye el BSID de la estación base inicial, la estación base objetivo a la cual se quiere migrar puede realizar una solicitud a la estación base inicial para obtener información acerca de la estación móvil. Sin importar la recepción de la información por parte de la estación base inicial, la estación base objetivo podrá solicitar información de la estación móvil de la red Backbone.
- Finalización: Es el último paso del handover. En el contexto de la estación móvil se define como la finalización, por parte de la estación base a la cual se migró, de todas las conexiones pertenecientes a la estación móvil (información encolada, contadores, entre otros son descartados).

1.4 Modelo de red para comunicaciones móviles

El modelo referencial de red incluye grupos de unidades de estaciones bases (no necesariamente contiguas) que brindan servicio de red a estaciones móviles autorizadas en una región geográfica. Un grupo de unidades de estaciones bases que comparten afiliaciones administrativas y que están conectadas por una Backbone (cableada ó inalámbrica) es referido como una red proveedora. Múltiples redes proveedoras de diferente diseño, funcionamiento y administración podrán coexistir en la misma región.

Las redes proveedoras podrán emplear servidores especializados para AAA (*Authorization, Authentication and Accounting*), gerencia, entre otras funciones. Estos servidores responsables se llaman colectivamente servidores ASA (*Authentication and Service Authorization Servers*). Un proveedor podrá desplegar uno o más servidores ASA y podrá hacerlo de manera centralizada o distribuida.

Dependiendo de la configuración de la red proveedora y de las políticas administrativas, una estación móvil podrá realizar un handover de una estación base a otra. Un esquema de la red proveedora para el manejo de los handovers podrá ser localizado en las estaciones bases relevantes, ó podrá ser distribuido e implicar a los servidores ASA.

La siguiente figura muestra un ejemplo en donde dos estaciones base están conectadas a una backbone operativa. Inicialmente, la estación móvil se encuentra registrada en la estación base uno (BTS#1). La estación base dos (BTS#2) es la estación base vecina. Si la estación móvil se mueve cerca de la estación base dos, representado por la flecha sombreada, la estación base dos se convertirá en el nuevo objetivo al cual la estación móvil intentará registrarse.

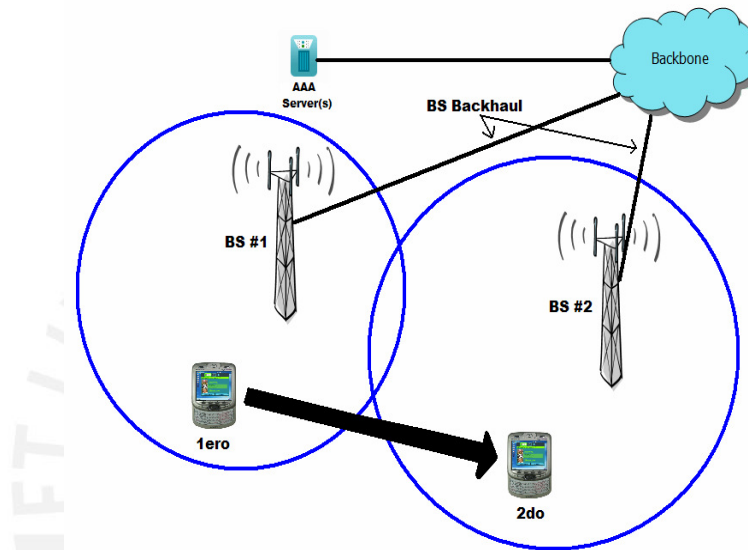


Figura 1.14 Esquema handover

Fuente: [IE32005]

2 ANÁLISIS DEMOGRÁFICO Y SITUACIÓN ACTUAL DE LAS TELECOMUNICACIONES EN TRUJILLO METROPOLITANO

2.1 Información socioeconómica de Trujillo metropolitano

En el presente capítulo se presentará la información socioeconómica más relevante de Trujillo metropolitano. Esto servirá para demostrar que este proyecto, el diseño de una red de acceso empleando la tecnología WIMAX móvil, podría ser implementado satisfactoriamente en el lugar de estudio.

2.1.1 Datos Generales

Trujillo, capital del Departamento de La Libertad, es a la fecha, una ciudad mayor en el panorama de las ciudades del Perú, tercera en población. Activa y vigorosa, funciona como Capital Regional para un importante sector del norte peruano y ha adquirido las características y la estructura de un Área Metropolitana particularmente dinámica.

Ubicada sobre la costa del Pacífico, a 550 Km. al norte de Lima, a la margen derecha del río Moche, en el antiguo valle de “Chimo”, hoy Valle de Moche o Santa Catalina. Tierra de clima benigno y de escasas lluvias, con una temperatura moderada que varía entre 14° y 30 °C debido a la corriente litoral de Humbolt. Su Plaza Mayor se ubica a 8° 6' 3" de latitud sur; a 79° 1' 34" de longitud oeste; a una

altitud de 31.16 metros sobre el nivel del mar y dista 4.4 Km del Océano Pacífico, en línea recta por la Avenida Víctor Larco.

Trujillo fue escenario de importantes fenómenos culturales como el de la cultura Moche, que desde los tiempos que va desde los 300 a 600 después de Cristo, forjó un notable sistema hidráulico y una producción artística excepcional. Más tarde, sobre este mismo territorio, se construyó Chan Chan, la ciudad de barro más grande del mundo, y capital del reino de Chimor, que pudo gobernar un territorio de 1,000 Km. de largo por 50 Km. de ancho de costa desértica del norte peruano. Pero también Trujillo fue sede importante del gobierno colonial y fue fundada incluso antes que Lima en 1534. Con la independencia del Perú, Trujillo emerge como epicentro de libertad y ahora es un foco de desarrollo que crece en importancia sobre el norte peruano, convertida en metrópoli regional, activa y vigorosa.

Se espera que se mantenga su crecimiento fuerte y vigoroso por que está en proceso la ampliación de la frontera agrícola local, con la ejecución del proyecto de riego de Chavimochic, que con un canal de 270 Km. de longitud vincula los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama, para casi duplicar las tierras hábiles para la agricultura que alcanzaría 44,385 Hectáreas, con riego asegurado en forma permanente, que permitiría alcanzar una producción anual agrícola, pecuaria y agroindustrial superior a 500 millones de dólares, generando fuente de empleo productivo para la región.

Ejecutado hasta su segunda etapa, el proyecto Chavimochic está abasteciendo de agua de riego al Valle de Moche e intervalle desde Virú y dotando de agua potable a la ciudad de Trujillo; abriendo las perspectivas de consolidar su vocación productiva agrícola y agroindustrial de exportación.

Lugar de encuentros, de innovaciones y de intercambios culturales, Trujillo busca constituirse en el principal centro comercial y de negocios entre Lima y el norte. Emerge como capital cultural, centro de servicios y de equipamientos, con sus universidades, centros educativos tecnológicos y básicos, que están desarrollando un amplio capital social y una base para innovaciones sostenidas para el desarrollo.

2.1.2 El Área Metropolitana de Trujillo

El Área Metropolitana de Trujillo ocupa un extenso territorio que comprende la parte baja del Valle de Moche o Valle de Santa Catalina y los intervalles hasta el valle de Chicama hacia el norte y el valle de Virú hacia el sur, actualmente en proceso de incorporación a la actividad productiva teniendo como eje articulador del desarrollo al proyecto de irrigación Chavimochic (Mayor información: <http://www.chavimochic.gob.pe/>).

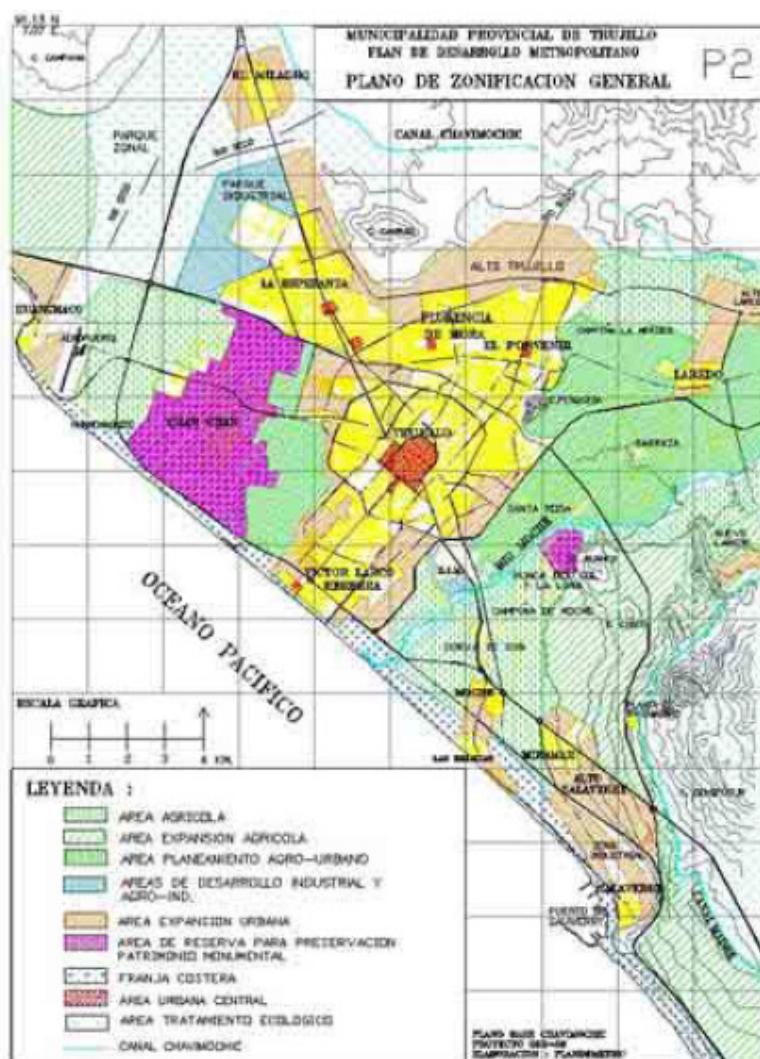


Figura 2.1 Área metropolitana de Trujillo

Fuente: [MET2010]

Trujillo metropolitano comprende los distritos del continuo urbano como son Trujillo, Víctor Larco Herrera, El Porvenir, Florencia de Mora y La Esperanza. Además, los centros poblados urbanos y rurales de los distritos del área integrada de la Metrópoli tales como son Huanchaco, Laredo, Moche y Salaverry.

2.1.3 Crecimiento Urbano

Según [PLA2015], Trujillo es una ciudad dinámica, capaz de duplicar su población en 22 años que, después de haber experimentado su fase de crecimiento explosivo entre 1961-72 (6.8%), está pasando una fase de crecimiento moderado (4.16% entre 1972-81 y 3.21% entre 1981-93), a un ritmo que aún se mantiene vigoroso, muy por encima de otras ciudades y del promedio nacional. Trujillo metropolitano alcanza a la fecha el 98% de la población provincial y el 49% de la población del departamento de La Libertad; estas cifras caracterizan el gran desequilibrio en la distribución geográfica de la población regional que se manifiesta en los permanentes flujos migratorios, con el abandono del campo y regiones del interior que quedan deshabitadas y su concentración en ciudades costeras.

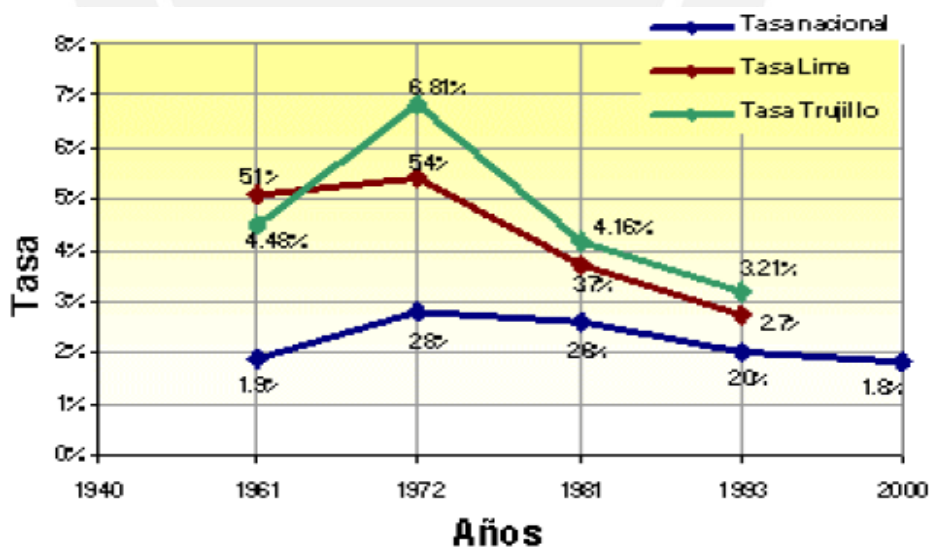


Figura 2.2 Tasa de crecimiento Lima, Trujillo y Nacional

Fuente: [PLA2015]

Es importante señalar el variado comportamiento al interior de los diversos componentes de Trujillo metropolitano. Entre 1981-93, el Continuo Urbano creció en 143,035 habitantes (79.1% del incremento total de la metrópoli), siendo los distritos de Trujillo (22.9%), La Esperanza (23.7%) y el Porvenir (18.7%) los que presentaron mayor crecimiento. Los distritos del Área Integrada (Laredo, Huanchaco, Moche y Salaverry) presentaron mayor dinamismo (5.7% de tasa anual) pero que en cifras absolutas sólo representó en 20.9% del incremento total, destacando Laredo (7.0%) y Huanchaco (6.9%). Los distritos de Florencia de Mora (2.2%) y Salaverry (1.4%) tuvieron un menor incremento poblacional.

Finalmente son las cifras proporcionadas por [REG2007] las que se tomarán como referencia para Trujillo metropolitano, debido a que muestran interesantes proyecciones de población en cada uno de los distritos de la localidad escogida. Cabe resaltar que los distritos de Poroto y Simbal no forman parte del Área Metropolitana de Trujillo, por lo que no serán considerados en el estudio de la presente tesis.

Año	2005	2008	2010
TRUJILLO	287,592	296,994	303,262
EL PORVENIR	137,564	151,539	160,856
FLORENCIA DE MORA	38,858	39,514	39,951
HUANCHACO	39,604	44,462	47,700
LA ESPERANZA	152,329	163,755	171,373
LAREDO	33,503	34,790	35,648
MOCHE	30,072	32,019	33,317
SALAVERRY	13,657	14,977	15,857
VICTOR LARCO	53,264	55,911	57,676

Tabla 2.1 Población referencial Trujillo metropolitano

Fuente: [REG2007]

2.1.4 Población económicamente activa

La población económicamente activa, PEA, se utiliza para describir dentro de cierto universo de población delimitado al subconjunto de personas que son capaces de trabajar y desean hacerlo. La PEA de Trujillo metropolitano, en cada uno de sus distritos, es la que se presenta a continuación y muestra un primer plano de nuestro mercado meta.

Distrito	Población económicamente activa	
	Ocupada	Desocupada
Trujillo	74900	7737
V. Larco	12520	1373
La Esperanza	27347	3995
El Porvenir	22389	2584
Florencia de Mora	9782	1365
Laredo	7456	673
Huanchaco	5925	556
Moche	6255	608
Salaverry	2189	416

Tabla 2.2 PEA por distritos - Trujillo metropolitano

Fuente: [MET2010]

El número total de personas económicamente activas en Trujillo metropolitano es de 269 413. Sin embargo, se considerará solamente un porcentaje de la parte ocupada de la PEA para la estimación del mercado meta WIMAX. Adicionalmente, se muestra a continuación una estratificación de hogares referencial que se realizó el año 2004 y que se determinó en función al ingreso per cápita trimestral de los miembros del hogar de la ciudad de Trujillo (área urbana).

Estratos	Límites	Porcentajes de Hogares
Bajo	Menor a 461 soles.	75%
Medio	Entre 461 y 990 soles.	19%
Alto	Entre 990 y 2454 soles	6%

Tabla 2.3 Porcentaje de hogares según estratos

Fuente: [REG2007]

2.2 Situación actual de las Telecomunicaciones en Trujillo.

Hemos visto hasta el momento la información socioeconómica más relevante de Trujillo metropolitano, fijando así ciertos parámetros que servirán de base para el estudio de factibilidad del proyecto que se realizará en capítulos posteriores.

Como todo proyecto de Telecomunicaciones, es necesario informarse de la situación actual de los servicios de Telecomunicaciones que se ofrecen en la localidad donde se pretende realizar el proyecto. Por tal motivo, se presenta a continuación una perspectiva de la situación actual del mercado de las Telecomunicaciones en Trujillo metropolitano.

2.2.1 Telefonía fija

Según [FIJ2007], Telefónica del Perú, Millicom Perú, Americatel Perú, Rural telecom y Telmex Perú son las empresas de Telecomunicaciones que actualmente brindan servicios de telefonía fija en el departamento de la Libertad. Sin embargo, voy a tomar como referencia principal a Telefónica del Perú debido a su vasta experiencia en telefonía fija a nivel nacional.

Distrito	Líneas de abonado	Penetración de telefonía fija
Trujillo	56000	19%
V. Larco	16200	29%
La Esperanza	13500	8%
El Porvenir	9670	6%
Laredo	3470	10%
Huanchaco	1245	3%
Moche	1900	6%
Salaverry	950	6%

Tabla 2.4 Telefonía fija en Trujillo metropolitano

Fuente: Telefónica del Perú

Haciendo cálculos con los datos de tabla anterior y con la población por distritos que se obtiene de [REG2007], en Trujillo metropolitano se tiene una densidad promedio de 13 líneas en servicio por cada 100 habitantes, un porcentaje muy pequeño pero que representa la realidad de un país en vías de desarrollo.

Una de las principales causas de esta baja densidad es la falta de infraestructura de Telecomunicaciones que existe en nuestro país. Esta situación no cambiará a menos que se proponga una solución más económica aplicable a las

provincias que son las que más presentan estos problemas de acceso. Precisamente es WIMAX quien propone la implementación de una infraestructura inalámbrica de banda ancha que solucionaría estos problemas a un costo más bajo.

2.2.2 Telefonía móvil

La información recolectada con respecto al servicio de telefonía móvil nos dará una mejor visión de nuestro mercado meta. Las empresas de Telecomunicaciones que brindan el servicio de telefonía móvil en los distritos de Trujillo metropolitano son las que se presentan a continuación.

Distrito	Telefónica Móviles	América móvil	Nextel
Trujillo	x	x	x
V. Larco	x	x	x
La Esperanza	x	x	x
El Porvenir	x	x	x
Florencia de Mora	x	x	x
Laredo	x	x	x
Huanchaco	x	x	x
Moche	x	x	x
Salaverry	x	x	x

Tabla 2.5 Cobertura en Trujillo metropolitano por operador

Fuente: Osiptel

Como se puede observar en la tabla anterior, Nextel, Telefónica Móviles y América móvil tienen presencia en cada uno de los distritos de Trujillo metropolitano. Es decir, el futuro mercado a atender ya se encuentra familiarizado con las diferentes tecnologías que se ofrecen en la actualidad por lo que la adaptación de una nueva tecnología, como lo es WIMAX, no debería presentar mayores inconvenientes.

En el departamento de La Libertad se tiene una densidad aproximada de 27.18 líneas móviles por cada 100 habitantes. Comparándola con la densidad de telefonía fija se puede concluir que existe una mayor penetración por parte de la telefonía móvil. Esto sería otro punto a nuestro favor debido a que nuestro proyecto precisamente está basado en una tecnología móvil.

En cuanto al número de clientes, se tiene un aproximado de 340000 líneas móviles en servicio. Comparándolas con las 102935 líneas fijas en Trujillo metropolitano se vuelve a resaltar la clara tendencia a las tecnologías móviles, por lo que una nueva propuesta tecnológica sería una interesante alternativa para los usuarios actuales de las redes móviles.

2.2.3 Servicio ADSL

Es importante mencionar cuales son los principales servicios generadores de tráfico y así poder tener una idea del ancho de banda necesario para nuestros futuros clientes. Dentro de estos servicios se encuentran: FTP, Buscadores WEB, E-Mail, eDonkey/eMule, Kazaa, Skype, Programas de Chat, Juegos en línea, VoIP, YouTube, entre otros. El siguiente cuadro nos muestra un aproximado de las líneas ADSL en Trujillo metropolitano

Distrito	Líneas ADSL	Penetración de ADSL
Trujillo	12768	4%
V. Larco	435	0.29%
La Esperanza	2424	6%
El Porvenir	1128	3%
Laredo	528	0.32%
Huanchaco	504	1%
Moche	480	1%
Salaverry	312	2%

Tabla 2.6 Servicio ADSL Trujillo metropolitano

Fuente: Telefónica del Perú

Un aproximado de 19000 suscriptores al servicio de ADSL son los que actualmente se tienen en Trujillo metropolitano. Sin embargo, muchos de estos suscriptores pagan por un ancho de banda generoso y brindan los servicios antes mencionados a los usuarios que no cuenten con los ingresos suficientes para adquirir tales servicios por sus propios medios, mediante los negocios denominados cabinas de Internet que ofrecen acceso a Internet a cambio de una pequeña retribución económica.

2.2.4 Televisión por cable

Finalmente, en la Tabla 2.6 se muestra el número de usuarios de televisión por cable según ámbito regional. Luego de haber visto los diferentes servicios de Telecomunicaciones, queda la duda de cómo WIMAX podría brindar todos o algunos de estos a través de una única red. La respuesta es sencilla y se debe a que WIMAX es una tecnología basada en IP. Es decir, todos estos servicios trabajarán sobre Internet y la calidad de los mismos se medirá en función al ancho de banda asignado.

ÁMBITO REGIONAL	2005	2006	2007
TOTAL	462,211	579,329	585,245
LIMA Y CALLAO	391,017	476,452	474,971
AREQUIPA	16,919	22,625	22,625
LA LIBERTAD	18,858	24,741	25,996
CUSCO	10,179	14,112	14,112
LAMBAYEQUE	8,565	15,311	15,735
ANCASH	6,466	8,146	8,146
OTROS **/	10,207	17,942	23,660

Tabla 2.7 Usuarios de televisión por cable

Fuente: [CAB2007]

3 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA Y ESTABLECIMIENTO DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

3.1 Análisis de la cobertura de los servicios en Trujillo metropolitano.

Luego del análisis realizado en el capítulo anterior, contamos con una mejor referencia respecto al mercado de las Telecomunicaciones en Trujillo metropolitano. En el presente capítulo se analizarán las ventajas del despliegue de una red inalámbrica frente a una red fija; se presentarán además las estimaciones de nuestro mercado meta y finalmente se determinarán los paquetes con los servicios que se ofrecerán a nuestros clientes.

Una de las principales ventajas de la red de acceso WIMAX es la facilidad de despliegue debido a su naturaleza inalámbrica. Por tal motivo, no necesita de una infraestructura fija en comparación con el servicio ADSL que si lo requiere. Esto quiere decir que aún existen muchos lugares en el Perú donde las empresas de Telecomunicaciones aún no han tendido cobre y por lo tanto no puede brindar los diferentes servicios de banda ancha.

Sin embargo, la verdadera razón por la cual no se brindan los servicios de Telecomunicaciones en zonas de baja penetración es porque nada les garantiza a las empresas la recuperación de la inversión realizada en la infraestructura de la red. En otras palabras, ellos no están pensando desplegar infraestructura fija en estas zonas porque saben que no van a recibir los suficientes ingresos como para sostener dicha red.

Por tal motivo, la solución que propone el despliegue de una infraestructura inalámbrica, como la que propone la red de acceso WIMAX, es la mejor alternativa para países en vías de desarrollo como el nuestro. Según la secretaria técnica del FITEL (*Fondo de Inversión en Telecomunicaciones*), la Ing. Patricia Díaz Ubillus, el objetivo principal de nuestro país es acortar la brecha real, la cual hace referencia a la geografía del Perú que aún no cuenta con ningún tipo de servicio de Telecomunicaciones.

La red de acceso WIMAX, además de poder acortar la brecha real que existe en nuestro país, podrá ofrecer una mayor velocidad de transmisión, tanto en la subida como en la bajada, comparándola con las velocidades que nos ofrecen los servicios actuales que en la mayoría de los casos no llega ni a 1Mbps por cliente.

Otra de las principales ventajas de la red de acceso WIMAX son los bajos costos de instalación y por ende de los servicios que se ofrecerán con dicha red ya que la inversión necesaria para el despliegue de esta red inalámbrica es menor a la que se tendría que realizar con el despliegue de una infraestructura fija. Basta con entrar a cualquiera de los foros de Telecomunicaciones que existen en nuestro país para darse cuenta de la insatisfacción de los clientes de banda ancha debido a los elevados costos de los servicios y a que estos no son proporcionales al ancho de banda que les ofrecen.

3.1.1 Mercado meta

El cuadro que presenta la población económicamente activa en Trujillo metropolitano por distritos en la actualidad, mostrado en el capítulo anterior, es el que se va a tomar como base para la determinación del futuro mercado meta. La PEA de Trujillo metropolitano se divide en dos partes: ocupada y desocupada. Debido a que la parte desocupada de la PEA no genera ingresos, en un principio no la vamos a considerar dentro de nuestra evaluación. Sin embargo, la situación económica de los habitantes de Trujillo metropolitano podría mejorar y las cifras podrían cambiar a favor de nuestro proyecto, razón por la cual más adelante se realizará ambas estimaciones.

Se considerará un mercado meta para la banda ancha en Trujillo metropolitano igual al 60% de la población económicamente activa ocupada actual. Se estima que al finalizar las fases de expansión del proyecto se logrará un 20% del mercado de la banda ancha para el mercado WIMAX. La siguiente tabla nos muestra el mercado meta WIMAX en las diferentes fases de expansión de la red:

FASE DEL PROYECTO	Distrito	PEA Ocupada	Mercado Meta Banda Ancha	Mercado Meta WIMAX
1°	Trujillo	74900	44940	8988
	El Porvenir	22389	13433	2687
	La Esperanza	27347	16408	3282
2°	V. Larco	12520	7512	1502
	Florencia de Mora	9782	5869	1174
	Laredo	7456	4473	895
3°	Huanchaco	5925	3555	711
	Moche	6255	3753	751
	Salaverry	2189	1313	263

Tabla 3.1 Mercado meta WIMAX

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, el proyecto consta de 3 fases de expansión. La primera fase comprende la expansión de la red en los distritos de Trujillo, La esperanza y El porvenir; La segunda fase comprende los distritos de Víctor Larco, Florencia de Mora y Laredo; Finalmente, una tercera fase comprende la expansión de la red en los distritos de Huanchaco, Moche y Salaverry. Estas fases de expansión se han determinado en base a la información recolectada de la situación socioeconómica actual de Trujillo metropolitano en cada distrito, favoreciendo en un principio a los distritos de mayor densidad poblacional que cuenten a su vez con la mayor cantidad de personas económicamente activas.

Considerando las cifras de la tabla anterior, se estima que nuestra red de acceso WIMAX móvil brindará servicio de banda ancha a 20253 usuarios a mediano o a largo plazo. A continuación se presentarán las diferentes aplicaciones de WIMAX móvil y como estas se podrían poner en práctica para aumentar el número de usuarios de nuestra red.

3.1.2 Evaluación del mercado y sus perspectivas.

Sin lugar a duda, la calidad de servicio, la escalabilidad, la seguridad y las altas velocidades de transmisión que nos ofrece WIMAX móvil nos permiten implementar diferentes escenarios de red que se adaptan de una u otra forma a las necesidades del cliente.

¿Cuáles son las necesidades actuales? Los servicios que se ofrecen en la actualidad cada vez requieren de una mejor calidad, la cual se mide en función al ancho de banda que se les brinde a los usuarios a cambio de una retribución económica. Sin embargo, estos servicios de Telecomunicaciones aún se brindan por separado, es decir, no utilizan una misma red para llegar finalmente a los usuarios.

Por mencionar algunos ejemplos, la televisión por cable brindada por Cable mágico se brinda a través de una red que finalmente llega a nuestros hogares a través del cable coaxial; La televisión digital de alta definición brindada por DirecTV llega a nuestros hogares a través de un enlace satelital; El acceso a Internet brindando por Telefónica del Perú llega a nuestros hogares a través de nuestras líneas telefónicas empleando la tecnología ADSL, entre otros.

La solución a esto es la utilización de una única red capaz de soportar todos los servicios de Telecomunicaciones sin que se deje de lado a la calidad del servicio, la seguridad y la escalabilidad de la red. En otra palabras, la solución a esto el uso masivo de las redes IP. El protocolo IP (*Internet Protocol*) es el más extendido a nivel mundial y se puede observar claramente una tendencia a los servicios basados en IP tales como VoIP, IPTV, entre otros.

Esta no es otra que la teoría de la convergencia de las Telecomunicaciones que indica que todos los servicios en un futuro deberán estar basados en IP. Según el Ing. Luis Montes Bazalar, Director de Gestión de Proyectos de Telefónica del Perú y Profesor del curso de Proyectos de Telecomunicaciones en la actualidad, las nuevas redes deberán ser capaces de ofrecer un ancho de banda muy superior al actual.

En tal sentido, WIMAX resultaría una interesante alternativa no sólo porque brinda altas tasas de transmisión, calidad de servicio, escalabilidad, seguridad y movilidad, sino porque además nos impulsa a la convergencia de las Telecomunicaciones debido a que es, precisamente, una tecnología basada en IP.



Figura 3.1 Anchos de banda requeridos según aplicación

Fuente: [PRO2007]

Como se puede observar en el gráfico anterior, los servicios de Telecomunicaciones se vuelven cada vez más exigentes y esto se refleja en el aumento del ancho de banda que requieren. Un mayor ancho de banda para los clientes implica una mayor inversión en las redes. Por esa razón, surgen otras alternativas de inversión como lo es WIMAX móvil.

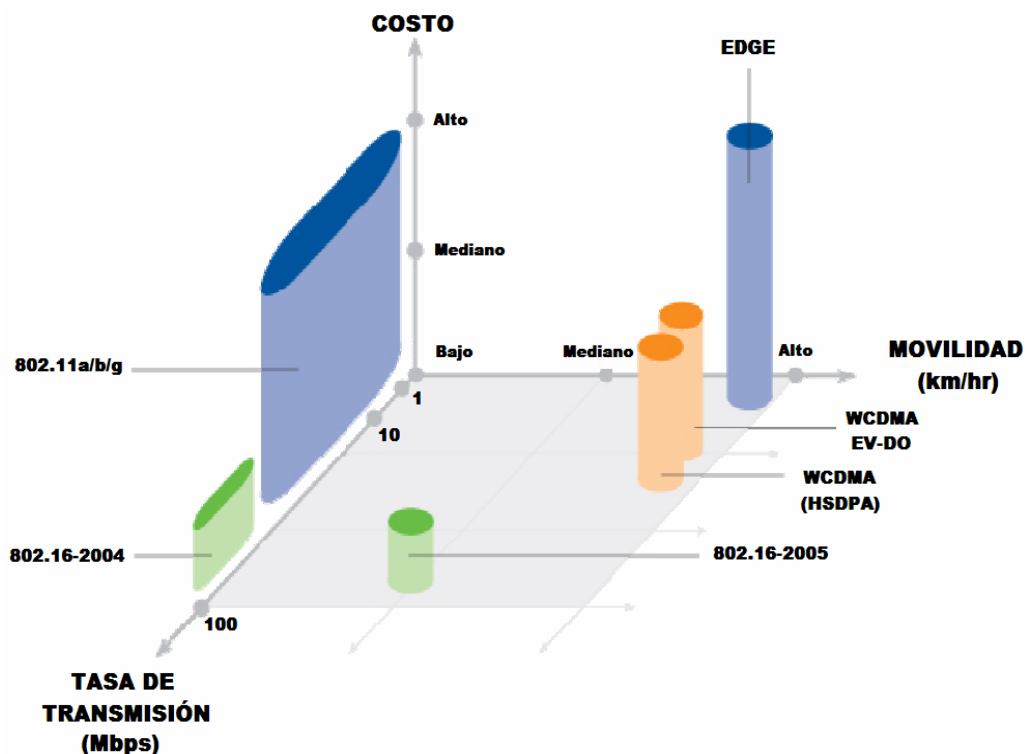


Figura 3.2 Comparación de las principales tecnologías

Fuente: [ALV2007]

El despliegue de una red basada en la tecnología WIMAX móvil resulta menos costoso en comparación a otras tecnologías como EDGE ó HSDPA según lo indica el gráfico anterior. Si bien la tecnología WIMAX sólo nos proporciona la parte de acceso a la red, tranquilamente podría competir con los demás proveedores de banda ancha empleando los dispositivos de red necesarios y conectándose a una Backbone IP.

Al final, lo único que al usuario le interesa es estar conectado en cualquier momento y en cualquier lugar (concepto de ubicuidad), siempre y cuando pueda ejecutar cualquiera de las siguientes aplicaciones.

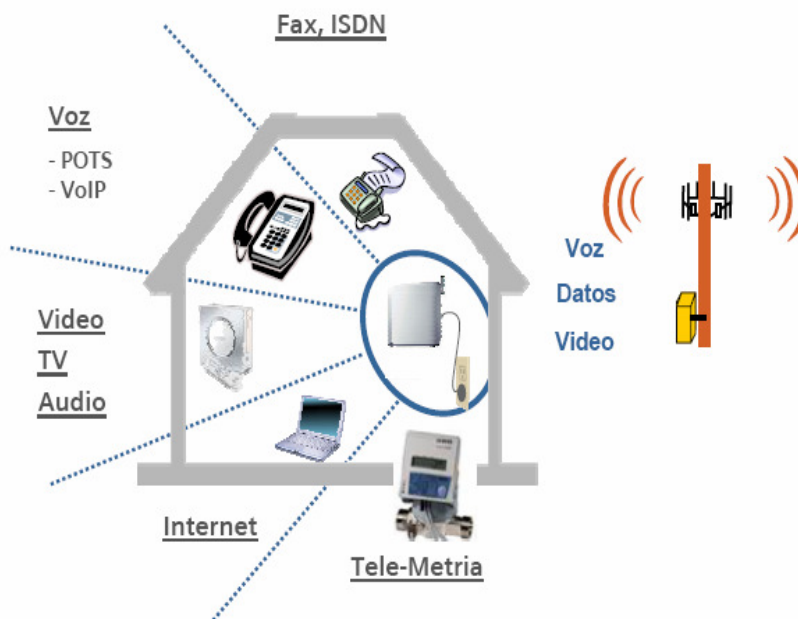


Figura 3.3 Aplicaciones de la red de acceso WIMAX

Fuente: [SIE2007]

Sin embargo, estas aplicaciones se realizan desde diferentes dispositivos, por lo que también se propone una convergencia de los equipos terminales (Figura 3.4). Por lo tanto, en un futuro todos los servicios se podrán realizar a través de una misma red y de un mismo equipo.

Somos concientes de que la evolución de las tecnologías es de manera exponencial por lo que se podría decir que no estamos tan lejos de esta realidad. Sin embargo, debemos fomentar el uso de las tecnologías que impulsen justamente a la convergencia de las Telecomunicaciones como en nuestro caso mediante el empleo de la tecnología WIMAX móvil para el despliegue de una red inalámbrica de banda ancha.



Figura 3.4 Convergencia de los equipos terminales

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber mostrado alguna de las bondades de WIMAX, presentaremos a continuación una estimación propia de cual sería el futuro mercado a atender basándome ya no en la PEA actual sino en la PEA de Trujillo metropolitano en el año 2010, la cual se estima a continuación. Anteriormente se mostró la PEA de la población actual, por lo que esta nueva estimación de la PEA en el año 2010 arrojaría interesantes resultados que nos ayudarán a realizar una correcta estimación del mercado meta.

Para la estimación de la PEA en el 2010 se supuso 2 casos: El primero de ellos implicó la determinación del porcentaje de la población actual de Trujillo metropolitano, presentada en [REG2007], que corresponde a la población económicamente activa ocupada actual presentada en [MET2010]. Este mismo porcentaje se aplicó a la población estimada de Trujillo metropolitano en el 2010 realizada por expertos y presentada en [REG2007] para finalmente obtener una estimación de la PEA en el año 2010 (Tabla 3.2).

Una segunda estimación contempla el caso no tan beneficioso para nuestro proyecto en el cual la PEA de la población posiblemente se mantenga o llegue a crecer muy poco, afectando de esta forma a la estimación del futuro mercado a atender. No se está considerando el caso en el que la PEA disminuya por tratarse de un caso poco probable.

Distrito	PEA Ocupada Actual	PEA Ocupada 2010	Incremento (%)
Trujillo	74900	78981	5%
El Porvenir	22389	26180	17%
La Esperanza	27347	30766	13%
V. Larco	12520	13557	8%
Florencia de Mora	9782	10057	3%
Laredo	7456	7933	6%
Huanchaco	5925	7136	20%
Moche	6255	6930	11%
Salaverry	2189	2542	16%

Tabla 3.2 Primera estimación de la PEA - año 2010

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que el incremento más interesante se presenta en la ciudad de Huanchaco con un 20% sobre el valor inicial. Por su parte, las ciudades de El Porvenir, Salaverry, La Esperanza y Moche muestran incrementos de 17, 16, 13 y 11% respectivamente. Cabe notar que si bien el incremento de la ciudad más importante, Trujillo, no es del todo favorable, aún sigue siendo la más alta en comparación con las demás. Ahora bien, para el segundo caso de estimación de la PEA sólo se consideró la mitad del porcentaje de aumento que se obtuvo para la primera estimación. Por ejemplo, para la ciudad de Huanchaco se tuvo un aumento del 20% lo cual indica que para la nueva estimación se calculará en base a un aumento del 10%.

Distrito	PEA Ocupada Actual	PEA Ocupada 2010	Incremento (%)
Trujillo	74900	76941	3%
El Porvenir	22389	24285	8%
La Esperanza	27347	29057	6%
V. Larco	12520	13039	4%
Florencia de Mora	9782	9920	1%
Laredo	7456	7695	3%
Huanchaco	5925	6531	10%
Moche	6255	6593	5%
Salaverry	2189	2366	8%

Tabla 3.3 Segunda estimación de la PEA - año 2010

Fuente: Elaboración propia

El criterio para la determinación de nuestro mercado meta para la banda ancha se mantiene en el 60% de la PEA, sólo que en este caso se trata de la PEA estimada en el año 2010. Con los datos de la Tabla 3.1 y 3.4 se tiene una mejor perspectiva del mercado a mediano ó a largo plazo.

Mercado meta banda ancha		
Distrito	1º Estimación	2º Estimación
Trujillo	47389	46165
El Porvenir	15708	14571
La Esperanza	18460	17434
V. Larco	8134	7823
Florencia de Mora	6034	5952
Laredo	4760	4617
Huanchaco	4282	3919
Moche	4158	3956
Salaverry	1525	1420

Tabla 3.4 Mercado meta de banda ancha por distritos

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso sería la planificación de la red, por lo que los datos presentados en el presente capítulo se tendrán en cuenta para la ingeniería del proyecto. En el siguiente y último punto del presente capítulo se presentarán los planes o paquetes que se ofrecerán a nuestros futuros clientes.

3.2 Determinación de los servicios a ofrecer.

Los principales servicios a brindarse son:

- ✓ Telefonía
- ✓ Acceso a Internet

Sin embargo, a través del acceso a Internet se pueden utilizar servicios adicionales como IPTV, Skype, entre otros, por lo que la calidad de dichos servicios va a depender de la tasa de transmisión que el cliente contrate y de la disponibilidad de los servidores de dichos servicios.

3.2.1 Paquetes Básicos

Dentro de nuestro concepto de servicio básico se contempla 1 Línea telefónica y el acceso a Internet. Los minutos libres para realizar llamadas locales y/o LDN a fijos serán controlados, por lo que el usuario no podrá realizar llamadas adicionales pasado los 300 minutos que se contemplan en el paquete básico. Si el usuario lo requiere, se le podrá facturar los minutos adicionales realizando previamente una evaluación crediticia. Estas restricciones se realizan debido a que estos paquetes están pensados para sectores residenciales y/o pequeñas oficinas.

Paquete	Líneas Telefónicas	Minutos Libres	Acceso a Internet	Tarifa Mensual
Básico 1	1	300	400 kbps	25 dólares
Básico 2	1	300	600 kbps	35 dólares
Básico 3	1	300	800 Kbps	45 dólares
Básico 4	1	300	1200 Kbps	55 dólares

Tabla 3.5 Precios paquetes básicos

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Paquetes PLUS

Dentro de nuestro concepto de servicio PLUS se contempla de 1 a 4 Líneas telefónicas y el acceso a Internet. Los minutos libres para realizar llamadas locales y/o LDN a fijos serán controlados, por lo que el usuario no podrá realizar llamadas adicionales pasado los minutos que se contemplan en el paquete respectivo. Si el usuario lo requiere, se le podrá facturar los minutos adicionales a una tarifa altamente competitiva. Estas restricciones se realizan debido a que estos paquetes están pensados para sectores empresariales y/o PYME.

Paquete	Líneas Telefónicas	Minutos Libres	Acceso a Internet	Tarifa Mensual
PLUS 1	1	500	1 Mbps	65 dólares
PLUS 2	2	1000	2 Mbps	75 dólares
PLUS 3	3	2000	3 Mbps	90 dólares
PLUS 4	4	3000	4 Mbps	105 dólares

Tabla 3.6 Precios paquetes PLUS

Fuente: Elaboración propia

4 INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.1 Topología de la red

Una vez realizada la estimación del mercado meta en Trujillo metropolitano, procederemos a fijar tentativamente la cobertura de la red WIMAX móvil, sin dejar de mencionar que dicha estimación no se podrá reflejar sino hasta conseguir un adecuado posicionamiento en el mercado de las Telecomunicaciones.

La siguiente figura nos muestra las diferentes fases de expansión de la red WIMAX móvil en Trujillo metropolitano, favoreciendo en un principio a los distritos de mayor densidad poblacional que cuenten a su vez con la mayor cantidad de personas económicamente activas.

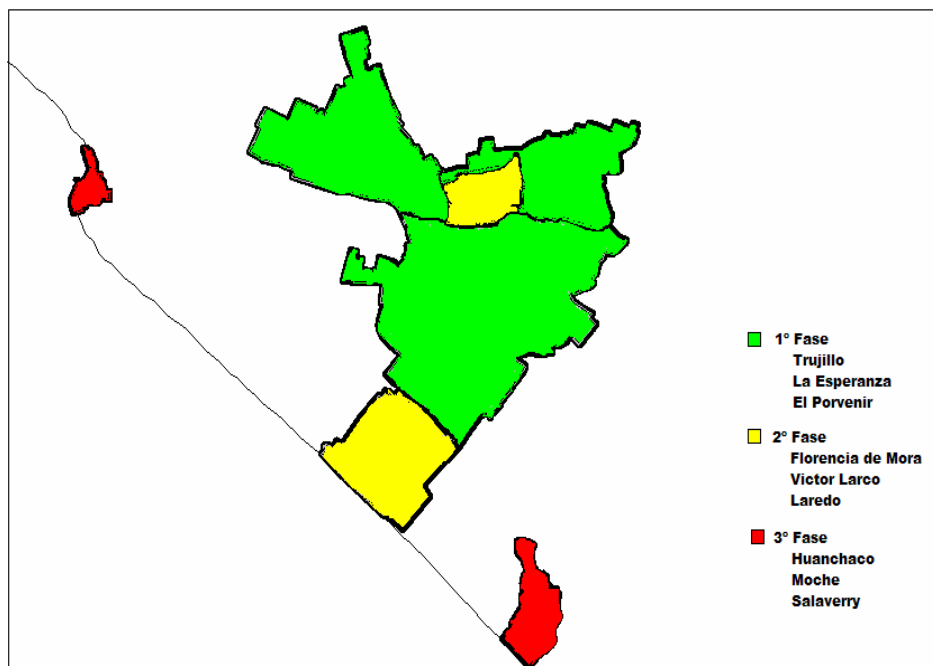


Figura 4.1 Fases de expansión de la red de acceso

Fuente: Elaboración propia

En el distrito de Trujillo se concentran la mayor cantidad de negocios, zonas residenciales, restaurantes, universidades, colegios, etc. Por tal motivo, es preciso ubicar en este distrito al centro de operaciones de la red, también llamado NOC (*Network Operations Center*), en donde se realizará la conmutación, el monitoreo de las alarmas, la configuración de las estaciones base, la conexión con la PSTN, el acceso a Internet, entre otras funciones. En este mismo punto se ubicará la estación base principal o cabecera, hacia el cual las estaciones base restantes se conectarán formando una topología de red del tipo estrella.

4.1.1 Determinación del número de BTSs

La red será dimensionada para soportar a los usuarios en la hora cargada (*Busy Hour*). Por tal motivo, primero es necesario realizar una estimación del mercado inicial para después determinar cuantos de estos usuarios estarán conectados al mismo tiempo en la hora cargada. Tomando como referencia a las experiencias de las empresas de Telecomunicaciones en nuestro país, fijaremos un mercado inicial de 10% y un mercado final de 20% respecto al mercado meta fijado para la banda ancha en Trujillo metropolitano.

FASE DEL PROYECTO	Distrito	Mercado Meta Banda Ancha	Mercado Inicial	Mercado Final
1°	Trujillo	44940	4494	8988
	El Porvenir	13433	1343	2687
	La Esperanza	16408	1641	3282
2°	V. Larco	7512	751	1502
	Florencia de Mora	5869	587	1174
	Laredo	4473	447	895
3°	Huanchaco	3555	356	711
	Moche	3753	375	751
	Salaverry	1313	131	263

Tabla 4.1 Mercado inicial y final

Fuente: Elaboración propia

Con esto obtenemos un total de 7478 clientes en la primera fase, 1785 clientes en la segunda y 862 clientes en la tercera fase de expansión de la red. Luego de determinar el mercado inicial, procederemos a realizar una repartición de los usuarios entre los diferentes planes Básicos ó PLUS que se muestran en las tablas 3.5 y 3.6, para posteriormente calcular el Throughput total que deberá soportar nuestra red. Estos objetivos sólo se podrán lograr de la mano con una buena campaña publicitaria.

Distrito	Mercado Inicial	Clientes por Paquete Básico				Clientes por Paquete PLUS			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Trujillo	4494	90	135	449	674	225	674	899	1348
El Porvenir	1343	27	40	201	269	134	201	201	270
La Esperanza	1641	33	49	328	410	246	164	165	246
V. Larco	751	15	23	75	113	38	113	150	224
Florencia de Mora	587	12	18	88	117	59	88	88	117
Laredo	447	9	13	89	112	67	45	45	67
Huanchaco	356	7	11	36	53	18	53	71	107
Moche	375	8	11	56	75	38	56	56	75
Salaverry	131	3	4	26	33	20	13	12	20

Tabla 4.2 Estimación de clientes por paquete y por distrito

Fuente: Elaboración propia

Si realizamos el diseño de la red asumiendo que todos estos usuarios se conectarán al mismo tiempo en la hora cargada, estaríamos cometiendo un error debido a que en la realidad solo un porcentaje de estos lo hace. Por tal motivo, es preciso determinar un porcentaje óptimo de tal forma que en momentos de saturación la red puede soportar a todos los usuarios calculados sin desperdiciar tantos recursos.

Según los expertos, una concentración recomendable de usuarios en la hora cargada es de 30% (para datos), con lo cual obtenemos la siguiente Tabla 4.3 que muestra el número de usuarios conectados al mismo tiempo dependiendo del paquete rentado (Básico o PLUS). Conociendo las velocidades de transmisión que ofrecen los diferentes paquetes (Tablas 3.5 y 3.6) y a los usuarios conectados en la HC, obtenemos finalmente el Throughput total por fase.

Distrito	Clientes por paquete Básico en la Hora Cargada				Clientes por paquete PLUS en la Hora Cargada				Throughput total (Mbps) por Fase
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Trujillo	27	41	135	202	68	202	270	404	4939.11
El Porvenir	8	12	60	81	40	60	60	81	
La Esperanza	10	15	98	123	74	49	49	74	
V. Larco	5	7	23	34	11	34	45	68	1138.14
Florencia de Mora	4	5	26	35	18	26	26	35	
Laredo	3	4	27	34	20	14	14	20	
Huanchaco	2	3	11	16	5	16	21	32	557.61
Moche	2	3	17	23	11	17	17	23	
Salaverry	1	1	8	10	6	4	4	6	

Tabla 4.3 Usuarios en la HC - Throughput total por fase

Fuente: Elaboración propia

El Throughput máximo que brindará una estación base en nuestra red de acceso empleando la tecnología WIMAX móvil dependerá del ancho de banda del canal utilizado.

Para un correcto dimensionamiento de la red deberemos aplicar un overbooking de 8:1 asegurando a nuestros cliente el 12.5% del ancho de banda que les rentamos, ya que si estamos considerando una penetración de usuarios del 30% en la hora cargada, no podemos darnos el lujo de sobredimensionar nuestra red.

El Throughput máximo que ofrece una estación base (BTS) una vez aplicado el overbooking de 8:1 es el que se muestra en la siguiente tabla para dos tipos de canalizaciones. Este Throughput es el que realmente será repartido entre los usuarios conectados en la hora de mayor congestión de la red.

Canalización de 10 Mhz		Canalización de 5 Mhz	
Throughput Sin Overbooking (Mbps)	Throughput Con Overbooking (Mbps)	Throughput Sin Overbooking (Mbps)	Throughput Con Overbooking (Mbps)
90	720	45	360

Tabla 4.4 Throughput por BTS – sin/con overbooking

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo establecido en el plan nacional de atribución de frecuencias, la banda comprendida entre 3 400 y 3 600 MHz está atribuida a título primario para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico.

Para una concesión de espectro de 50MHz (Banda A: 3400 – 3425MHz y E: 3500 – 3525MHz), se podrían manejar canales de 5 ó 10MHz sin tener inconvenientes en el planeamiento de RF. Sin embargo, al tratarse de los inicios de la red no se requiere de tanta capacidad en las estaciones base por lo que una canalización de 5MHz será suficiente.

Según la Tabla 4.4, el Throughput máximo por BTS sin overbooking es de 45 Mbps para una canalización de 5MHz. Sin embargo, aplicando el overbooking de 8:1 podremos contar con un Throughput Máximo de 360 Mbps por BTS asegurando a los usuarios el 12.5% del ancho de banda rentado.

Dividiendo el Throughput total necesario por fase entre el Throughput máximo que ofrece una BTS utilizando un ancho de banda del canal de 5MHz, obtenemos el número de estaciones base necesarias por fase.

FASE	Distrito	Throughput Total Necesario (Mbps)	Nº BTS
1º	Trujillo	4939.11	13.72
	El Porvenir		
	La Esperanza		
2º	V. Larco	1138.14	3.16
	Florencia de Mora		
	Laredo		
3º	Huanchaco	557.61	1.55
	Moche		
	Salaverry		

Tabla 4.5 Número de estaciones base Necesarias por fase

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.5 nos indica que con un total de 14 estaciones base (con las características mencionadas anteriormente) se logrará soportar la capacidad estimada de los usuarios en los distritos de Trujillo, El Porvenir y La Esperanza; Por su parte, con 3 estaciones base adicionales se logrará soportar la capacidad estimada de los usuarios en los distritos de Victor Larco, Florencia de Mora y Laredo; Finalmente, con 2 estaciones base adicionales se logrará soportar la capacidad estimada de los usuarios en los distritos de Huanchaco, Moche y Salaverry.

El criterio utilizado para determinar el número de BTSs se basó en la necesidad de cubrir la capacidad estimada de los usuarios en la hora cargada. Sin embargo, el número de BTSs necesarias para lograr la cobertura deseada de nuestra red de acceso podría ser distinto al determinado aplicando este criterio de capacidad, por lo que la conclusión final del número de estaciones base a utilizar se dará una vez concluido los cálculos de propagación respectivos.

4.1.2 Canalización

Se utilizará la técnica de duplexaje TDD, la cual utiliza el mismo canal para el tráfico de subida (*Uplink*) y para el tráfico de bajada (*Downlink*) intercalándolos en el tiempo. Los perfiles FDD aún no han sido implementados para equipos bajo la norma IEEE 802.16e-2005.

Como se explicó anteriormente, se utilizarán canales de 5MHz. Por lo tanto, en cada una banda de las bandas asignadas (A y E) se tienen hasta 5 canales disponibles para el planeamiento de RF. Si bien las capacidades de las estaciones bases se pueden incrementar fácilmente cambiando el ancho de banda del canal ó agregando más radios, en los primeros años de funcionamiento de la red no es conveniente hacerlo. La optimización de la red se hará conforme incremente el número de usuarios.

Asumiendo la concesión de las banda A (3400 – 3425MHz) y E (3500 – 3525MHz), tendríamos F1: 3400 – 3405MHz, F2: 3405 – 3410MHz, F3: 3410 – 3415MHz, F4: 3415 – 3420MHz, F5: 3420 – 3425MHz, F6: 3500 – 3505MHz, F7: 3505 – 3510MHz, F8: 3510 – 3515MHz, F9: 3515 – 3520MHz, y finalmente F10: 3520 – 3525MHz. Cada una de estas bandas presenta la siguiente estructura.

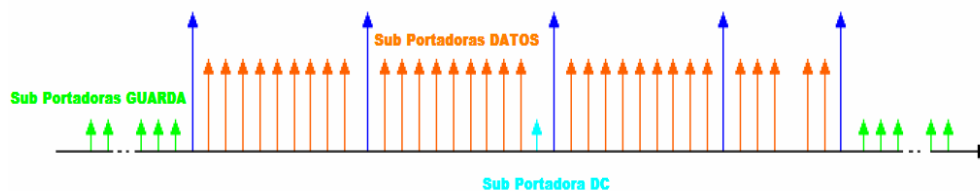


Figura 4.2 Estructura de sub portadoras OFDMA

Fuente: ATDI – ICS Telecom nG

Tomando como referencia la experiencia de las redes celulares en nuestro país (Claro, Movistar, Nextel), el empleo de 3 sectores en las estaciones base es la mejor opción para una mejor optimización de la red.

Por tal motivo, el presente proyecto considerará estaciones bases con tres sectores cada una. El reuso de frecuencias que se utilizará para las estaciones base del proyecto es el que se muestra en la siguiente figura. Considerando que se asigna un canal de 5MHz para cada sector, se tienen un total de 15MHz por BTS.

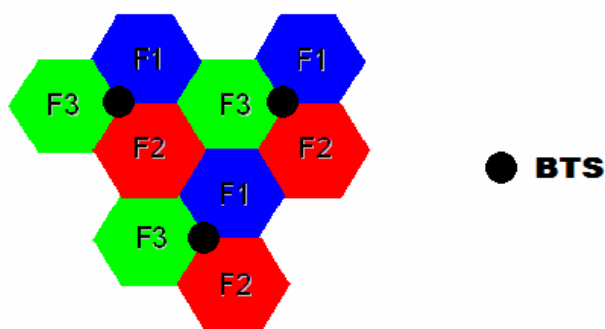


Figura 4.3 Reuso de frecuencias típico

Fuente: HUAWEI

Un nuevo concepto de estación base distribuida es el que nos presenta el Fabricante HUAWEI, el cual separa el amplificador del resto de la estación base. Esto se puede observar en los nodos B (Estaciones Base de la red UMTS) que vienen siendo implementados a nivel nacional por la empresa Claro.

Una BTS de WIMAX móvil está conformada por la unidad en banda base (*BBU - Base Band Unit*), la unidad de radio remota (*RRU - Remote Radio Unit*) y el sistema de antena. Como se explicó anteriormente, el presente proyecto empleará estaciones bases conformadas por 3 sectores.

Por tal motivo, se conectarán 3 RRU a 1 BBU asignando de esta forma 1 RRU para cada uno de los sectores. Cada estación base contará con 3 antenas sectoriales de 60°, 90° ó 120° conectadas a las interfaces para antena de los RRUs respectivos. La siguiente figura nos muestra la apariencia de la estación base del proyecto.

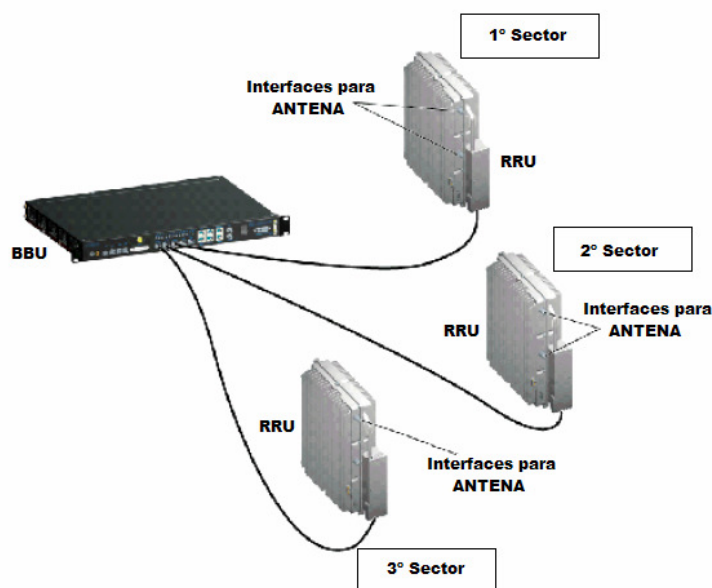


Figura 4.4 Estación base del proyecto

Fuente: HUAWEI

Un dato importante es que la RRU se conecta a la BBU usando fibra óptica, con lo cual se puede alcanzar distancias de hasta 500 metros con fibra multimodo y hasta 30 Kilometros con fibra monomodo. Sin embargo, el escenario típico de una estación base es cuando la BBU y la RRU están siendo energizadas por el mismo sistema de energía limitando la distancia entre estas a 12 metros.

4.2 Cálculo de radio propagación

Una vez explicado el equipamiento a utilizar procederemos a desarrollar los cálculos de propagación respectivos para cada una de las estaciones bases de nuestra red de acceso. Como se explicó anteriormente, el número de estaciones base necesarias para lograr la cobertura deseada en Trujillo metropolitano podría ser distinto al número de estaciones base calculadas aplicando el criterio de capacidad, por lo que el desarrollo del presente punto de la tesis será de vital importancia para definir el número de estaciones base de nuestra red de acceso empleando la tecnología WIMAX móvil.

4.2.1 Red de acceso

Para poder determinar si un enlace se puede realizar satisfactoriamente debemos hallar la potencia de recepción para una distancia determinada aplicando la siguiente fórmula:

$$P_{RX} \text{ (dBm)} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{RF} - PL \quad (1)$$

Donde,

P_{RX} : Potencia de recepción (dBm)

P_{TX} : Potencia de transmisión (dBm)

G_{TX} : Ganancia de la antena transmisora (dBi)

G_{RX} : Ganancia de la antena receptora (dBi)

L_{RF} : Pérdidas RF (dB)

PL : Pérdidas de propagación – Path Loss (dB)

Para hallar las pérdidas de propagación se aplicara el método COST 231-Walfisch-Ikegami. Este método fue propuesto por un grupo de trabajo europeo con el objetivo de mejorar las predicciones que se obtienen por otros métodos (Ej: Okumura-Hata)

Se puede aplicar a los siguientes entornos:

- ✓ Celdas grandes y pequeñas.- La antena de la estación base se sitúa por encima de los tejados de los edificios, en cuyo caso las pérdidas de propagación están determinadas principalmente por la difracción y la dispersión en los tejados de los edificios cercanos al móvil.
- ✓ Microceldas.- La antena de la estación base se sitúa por debajo de los tejados de los edificios, estando entonces determinada la propagación por la difracción y la dispersión alrededor de los edificios, los rayos principales se propagan en las calles de manera similar a como lo harían en una guía de onda.

Este modelo se ha validado para las frecuencias entre 800 y 2000MHz y para distancias entre 0.02 y 5Km. Sin embargo, se han desarrollado una serie de trabajos para la banda de 3400-3600MHz lográndose resultados aceptables. La atenuación consta de los siguientes términos.

$$Lb = Lo + Lrts + Lmsd \quad (2)$$

Donde,

Lo: Pérdida en el espacio libre

Lrts: Pérdida por difracción y dispersión del techo a la calle

Lmsd: Pérdida por difracción multipantalla

Para la pérdida en el espacio libre se tiene,

$$Lo = 32.4 + 20 \text{ Log } (D) + 20 \text{ Log } (Fc) \quad (3)$$

Donde,

Fc: Frecuencia de portadora en MHz.

D: Distancia entre transmisor y receptor (Km)

Para la pérdida por difracción y dispersión del techo a la calle se tiene,

$$Lrts = -16.9 - 10 \text{ Log } (W) + 10 \text{ Log } (Fc) + 20 \text{ Log } (\Delta Hm) + Lori \quad \text{para } Hm < Hr \quad (4)$$

$$Lrts = 0 \quad \text{para } Lrts < 0$$

Donde,

W: Ancho de la calle, se puede considerar la mitad de la separación de edificios.

$\Delta Hm = Hr - Hm$, siendo **Hr** la altura de los edificios, 3m x N° de pisos

Hm: altura de la estación móvil, se asume 1.5m

$$\begin{aligned} Lori &= -10 + 0.354 \phi & 0^\circ < \phi < 35^\circ \\ &= 2.5 + 0.075 (\phi - 35) & 35^\circ < \phi < 55^\circ \\ &= 4 - 0.114 (\phi - 55) & 55^\circ < \phi < 90^\circ \end{aligned} \quad (5)$$

ϕ : ángulo entre el rayo directo y el eje de la calle

Para la pérdida por difracción multipantalla se tiene,

$$Lmsd = Lbeh + Ka + Kd \text{ Log } (D) + Kf \text{ Log}(Fc) - 9 \text{ Log } (b) \quad (6)$$

$$Lmsd = 0 \text{ para } Lmsd < 0$$

$$Lbeh = -18 \text{ Log } (1 + \Delta Hb) \quad \text{para } Hb > Hr \quad (7)$$

$$Lbeh = 0 \quad \text{para } Hb < Hr$$

$$\begin{aligned} Ka &= 54 && \text{para } Hb > Hr \\ &= 54 - 0.8 \Delta Hb && \text{para } D > 0.5 \text{ y } Hb < Hr \\ &= 54 - 1.6 \Delta Hb.D && \text{para } D < 0.5 \text{ y } Hb < Hr \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Kd &= 18 && \text{para } Hb > Hr \\ &= 18 - 15 \Delta Hb / Hr && \text{para } Hb < Hr \end{aligned} \quad (9)$$

$$Kf = -4 + 0.7 [(Fc / 925) - 1], \text{ para ciudades medianas y centros suburbanos} \quad (10)$$

$$Kf = -4 + 1.5 [(Fc / 925) - 1], \text{ para ciudades metropolitanas}$$

Hb : altura de la antena

Hr : altura de los edificios

b : separación de edificios

Notar que $\Delta Hb = Hb - Hr$,

“ Ka ” representa el incremento de pérdidas de propagación en el caso en que las antenas de las estaciones base estén por debajo de los edificios adyacentes. “ Kd y Kf ” ajustan la dependencia de la difracción en función de la distancia y la frecuencia.

4.2.1.1 Cobertura de las BTS

Comenzaremos por el centro de la ciudad que es donde se ubican la mayoría de nuestras zonas de interés (Centros Comerciales, Restaurantes, Bancos, etc.). El criterio para determinar la distancia máxima de cobertura que alcanzará cada sector

de una BTS será considerando la sensibilidad máxima de los equipos terminales para el DOWNLINK y de las BTS para el UPLINK. La siguiente tabla nos muestra los valores fijos del cálculo.

Variables	Para DOWNLINK	Para UPLINK
Potencia TX	37 dBm	23 dBm
Pérdidas (feeder)	1.5 dB	1.5 dB
Ganancia antena TX	14.9 dBi	2 dBi
Ganancia antena RX	2 dBi	14.9 dBi
Sensibilidad Max.	- 86 dBm	- 97.2 dBm

Tabla 4.6 Valores fijos para el cálculo de cobertura

Fuente: Elaboración propia

Siendo el más importante la sensibilidad máxima de los equipos, la cual determina hasta que potencia la estación base puede recibir información correctamente desde la estación móvil para el UPLINK, y hasta que potencia la estación móvil puede recibir información correctamente desde la estación base para el DOWNLINK.

El siguiente ejemplo nos muestra los cálculos obtenidos para una estación base ubicada en el centro de Trujillo a $8^{\circ} 6'41.01''$ de latitud sur y a $79^{\circ} 1'34.70''$ de longitud oeste. Las frecuencias F1, F2 y F3 corresponden a los sectores 1, 2 y 3 con Azimuths de 40° , 140° y 260° respectivamente.

Variables	BTS 1					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	0.46	0.43	0.425	0.438	0.409	0.405
W (m)	10	10	10	10	10	10
Hr (m)	15	15	9	15	15	9
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	10	13	45	10	13	45
Hb (m)	25	25	25	25	25	25
Área	urbana	urbana	urbana	urbana	urbana	urbana
Lb	138.393	138.389	138.384	137.584	137.563	137.588
Pot. Rx (dBm)	-85.993	-85.989	-85.984	-97.184	-97.163	-97.188

Tabla 4.7 Análisis de cobertura BTS 1 – centro de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

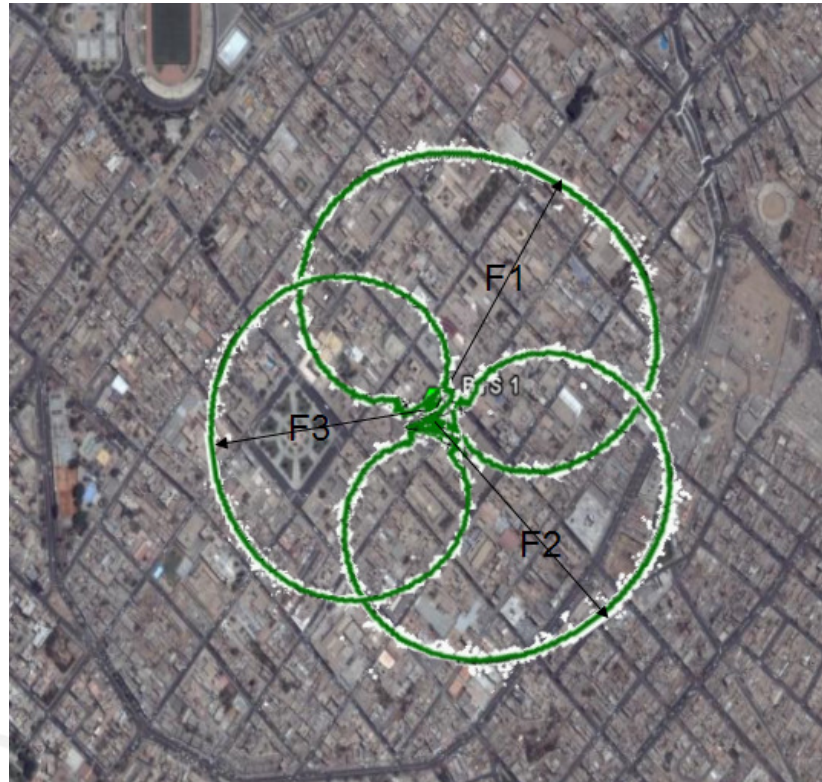


Figura 4.5 Cobertura BTS 1 – centro de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7 se muestran las distancias máximas de cobertura para cada sector respetándose los niveles de sensibilidad fijados anteriormente. Las distancias de cobertura que se muestran en la figura 4.5 son las calculadas para el UPLINK debido a que con ello se asegura además la cobertura para el DOWNLINK, lo cual no sucedería de manera inversa.

Aplicando el mismo criterio se realizaron los cálculos para 2 estaciones bases adicionales en el centro de Trujillo con lo cual la cobertura en esa zona estaría garantizada. A continuación se muestra la ubicación de las 3 estaciones base en el centro de Trujillo y sus respectivos cálculos.

Variables	BTS 2					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	0.773	0.412	0.616	0.736	0.393	0.586
W (m)	15	12	15	15	12	15
Hr (m)	9	12	9	9	12	9
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	25	45	35	25	45	35
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	urbana	urbana	urbana	urbana	urbana	urbana
Lb	138.399	138.372	138.398	137.589	137.593	137.574
Pot. Rx (dBm)	-85.999	-85.972	-85.998	-97.189	-97.193	-97.174

Tabla 4.8 Análisis de cobertura BTS 2 – centro de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 3					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	0.635	0.59	1.245	0.605	0.562	1.187
W (m)	12	15	15	12	15	15
Hr (m)	12	9	6	12	9	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	15	35	45	15	35	45
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	urbana	urbana	Sub urbana	urbana	urbana	sub urbana
Lb	138.393	138.383	138.375	137.594	137.581	137.587
Pot. Rx (dBm)	-85.993	-85.983	-85.975	-97.194	-97.181	-97.187

Tabla 4.9 Análisis de cobertura BTS 3 – centro de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

Las diferentes coberturas que se observan en las Tablas 4.8 y 4.9 se deben a las distintas características de las zonas cubiertas por cada sector. Por ejemplo, en el centro de la ciudad las calles son más angostas que en los alrededores y los edificios son más altos también. La siguiente figura nos muestra una aproximación de las coberturas de las 3 estaciones base propuestas no sin antes recordar que lo desarrollado hasta el momento es un cálculo netamente teórico aplicado antes de la puesta en práctica del proyecto.

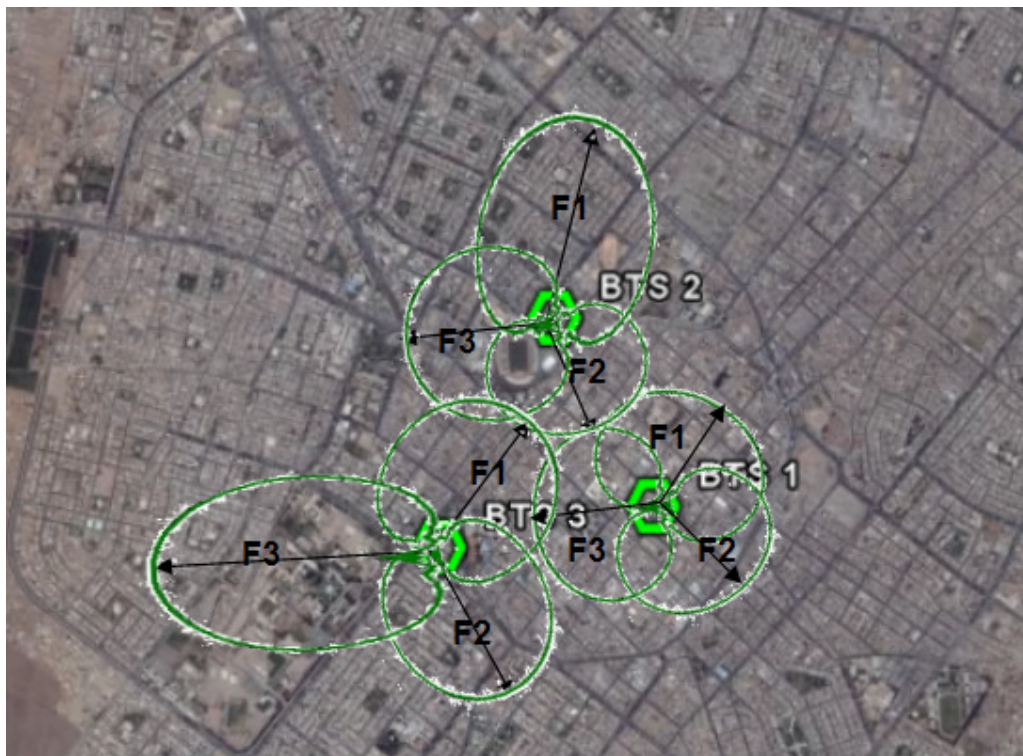


Figura 4.6 Cobertura BTS 1,2 y 3 – centro de Trujillo

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se procede a ubicar el resto de estaciones base para lograr la cobertura deseada (zonas de interés) en los distritos de Trujillo, La Esperanza y El Porvenir para la primera fase; Víctor Larco, Florencia de Mora y Laredo para la segunda fase; Huanchaco, Moche y Salaverry para la tercera y última fase.

Primero se mostrarán los cálculos realizados para cada estación base y posteriormente se mostrarán las coberturas para cada una de ellas. Cabe resaltar que existen algunas zonas que no han sido cubiertas debido a que no estaban

consideradas dentro del despliegue inicial de la red de acceso. Esto significa además que no estuvieron consideradas para la estimación de la capacidad que soportará la red.

Variables	BTS 4					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.073	1.135	0.795	1.022	1.082	0.762
W (m)	18	15	15	18	15	15
Hr (m)	9	9	12	9	9	12
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	35	90	75	35	90	75
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.389	138.361	138.295	137.585	137.572	137.596
Pot. Rx (dBm)	-85.989	-85.961	-85.895	-97.185	-97.172	-97.1961

Tabla 4.10 Análisis de cobertura BTS 4 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 5					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	0.86	1.285	1.421	0.827	1.224	1.355
W (m)	10	15	15	10	15	15
Hr (m)	9	6	6	9	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	80	60	75	80	60	75
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.237	138.394	138.375	137.591	137.591	137.590
Pot. Rx (dBm)	-85.837	-85.994	-85.975	-97.191	-97.191	-97.190

Tabla 4.11 Análisis de cobertura BTS 5 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 6					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.362	1.36	0.839	1.298	1.296	0.799
W (m)	10	10	10	10	10	10
Hr (m)	9	9	9	9	9	9
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	15	15	45	15	15	45
Hb (m)	35	35	35	35	35	35
Área	sub urbana	sub urbana	Sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.384	138.391	138.391	137.590	137.595	137.584
Pot. Rx (dBm)	-85.984	-85.991	-85.991	-97.190	-97.195	-97.184

Tabla 4.12 Análisis de cobertura BTS 6 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 7					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.248	0.954	1.361	1.189	0.909	1.298
W (m)	10	10	12	10	10	12
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	25	45	25	25	45	25
Hb (m)	25	25	25	25	25	25
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.39	138.388	138.379	137.591	137.591	137.597
Pot. Rx (dBm)	-85.99	-85.988	-85.979	-97.191	-97.191	-97.197

Tabla 4.13 Análisis de cobertura BTS 7 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 8					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.169	1.129	0.942	1.115	1.075	0.897
W (m)	15	14	10	15	14	10
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	45	45	60	45	45	60
Hb (m)	25	25	25	25	25	25
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.366	138.391	138.391	137.585	137.583	137.583
Pot. Rx (dBm)	-85.966	-85.991	-85.991	-97.185	-97.183	-97.183

Tabla 4.14 Análisis de cobertura BTS 8 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 9					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.171	1.762	1.165	1.115	1.679	1.111
W (m)	15	20	15	15	20	15
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	45	25	45	45	25	45
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.394	138.394	138.371	137.585	137.598	137.588
Pot. Rx (dBm)	-85.994	-85.994	-85.971	-97.185	-97.198	-97.188

Tabla 4.15 Análisis de cobertura BTS 9 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 10					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.819	1.894	1.891	1.733	1.805	1.801
W (m)	12	15	15	12	15	15
Hr (m)	3	3	3	3	3	3
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	65	55	55	65	55	55
Hb (m)	35	35	35	35	35	35
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.395	138.391	138.396	137.595	137.597	137.592
Pot. Rx (dBm)	-85.995	-85.991	-85.996	-97.195	-97.197	-97.192

Tabla 4.16 Análisis de cobertura BTS 10 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 11					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.265	1.432	1.489	1.207	1.366	1.426
W (m)	15	20	20	15	20	20
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	50	55	45	50	55	45
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.299	138.377	138.303	137.524	137.599	137.589
Pot. Rx (dBm)	-85.899	-85.977	-85.9035	-97.124	-97.199	-97.189

Tabla 4.17 Análisis de cobertura BTS 11 – 2º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 12					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.487	1.534	1.496	1.416	1.462	1.426
W (m)	20	20	20	20	20	20
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	60	40	45	60	40	45
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.398	138.388	138.380	137.591	137.595	137.589
Pot. Rx (dBm)	-85.998	-85.988	-85.980	-97.191	-97.195	-97.189

Tabla 4.18 Análisis de cobertura BTS 12 – 1º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 13					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.217	1.289	1.21	1.159	1.23	1.16
W (m)	12	10	15	12	10	15
Hr (m)	9	6	9	9	6	9
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	20	90	25	20	90	25
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.393	138.371	138.289	137.587	137.597	137.592
Pot. Rx (dBm)	-85.993	-85.971	-85.889	-97.187	-97.197	-97.192

Tabla 4.19 Análisis de cobertura BTS 13 – 2º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 14					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.379	1.409	1.219	1.318	1.345	1.163
W (m)	20	20	15	20	20	15
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	40	35	35	40	35	35
Hb (m)	25	25	25	25	25	25
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.343	138.355	138.369	137.597	137.587	137.593
Pot. Rx (dBm)	-85.943	-85.955	-85.969	-97.197	-97.187	-97.1933

Tabla 4.20 Análisis de cobertura BTS 14 – 2º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 15					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.168	0.827	1.379	1.115	0.788	1.314
W (m)	15	15	20	15	15	20
Hr (m)	6	9	6	6	9	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	45	45	65	45	45	65
Hb (m)	25	25	25	25	25	25
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.351	138.392	138.390	137.585	137.595	137.594
Pot. Rx (dBm)	-85.951	-85.992	-85.990	-97.185	-97.195	-97.194

Tabla 4.21 Análisis de cobertura BTS 15 – 3º fase

Fuente: Elaboración propia

Variables	BTS 15					
	DOWNLINK			UPLINK		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
Fc (MHz)	3402.5	3407.5	3412.5	3402.5	3407.5	3412.5
D max (Km)	1.649	1.466	1.533	1.571	1.397	1.461
W (m)	20	20	20	20	20	20
Hr (m)	6	6	6	6	6	6
Hm (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
ϕ	75	50	65	75	50	65
Hb (m)	30	30	30	30	30	30
Área	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana	sub urbana
Lb	138.395	138.39	138.393	137.595	137.594	137.599
Pot. Rx (dBm)	-85.995	-85.99	-85.993	-97.195	-97.194	-97.199

Tabla 4.22 Análisis de Cobertura BTS 16 – 3° fase

Fuente: Elaboración propia

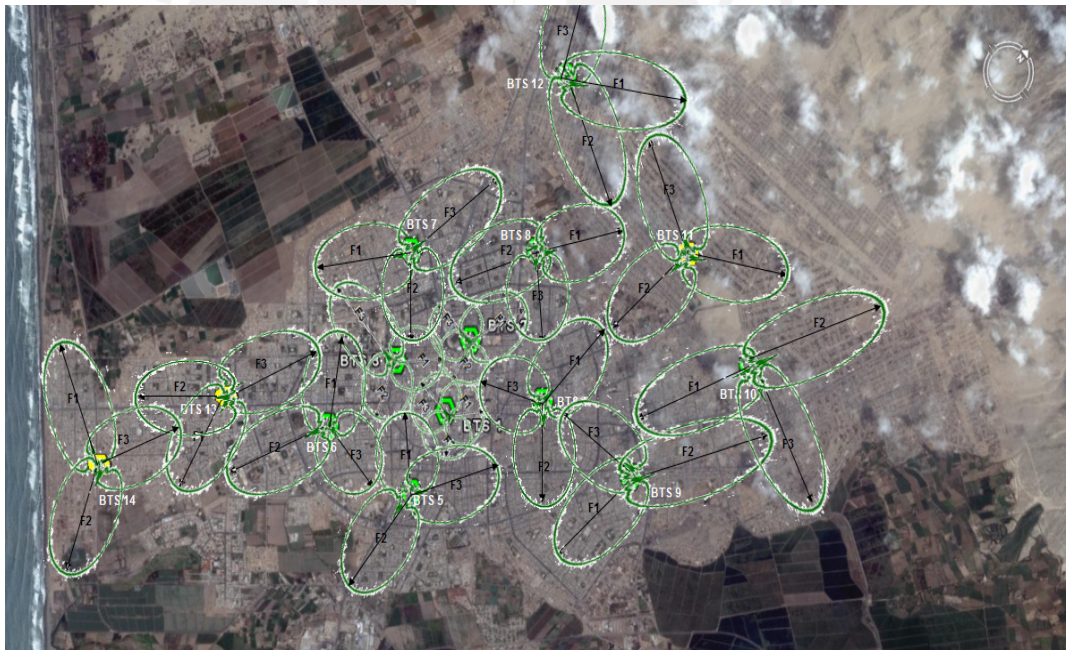


Figura 4.7 Cobertura de la red en las fases 1 y 2

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.8 Cobertura en la fase 3 – Primera Parte

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.9 Cobertura en la fase 3 – Segunda Parte

Fuente: Elaboración propia

Para lograr la cobertura deseada en Trujillo metropolitano se necesitaron un total de 16 estaciones bases. Si comparamos este resultado con el obtenido inicialmente utilizando el criterio de capacidad podemos observar que existe una diferencia de 3 estaciones base en la primera fase. Sin embargo, al tratarse de los inicios de la red el criterio de cobertura es más crítico que el criterio de capacidad. Por lo tanto, se instalarán finalmente 16 estaciones base en Trujillo metropolitano: 11 en la primera fase, 3 en la segunda y 2 en la tercera. La vista panorámica de dichas estaciones bases se muestra a continuación.

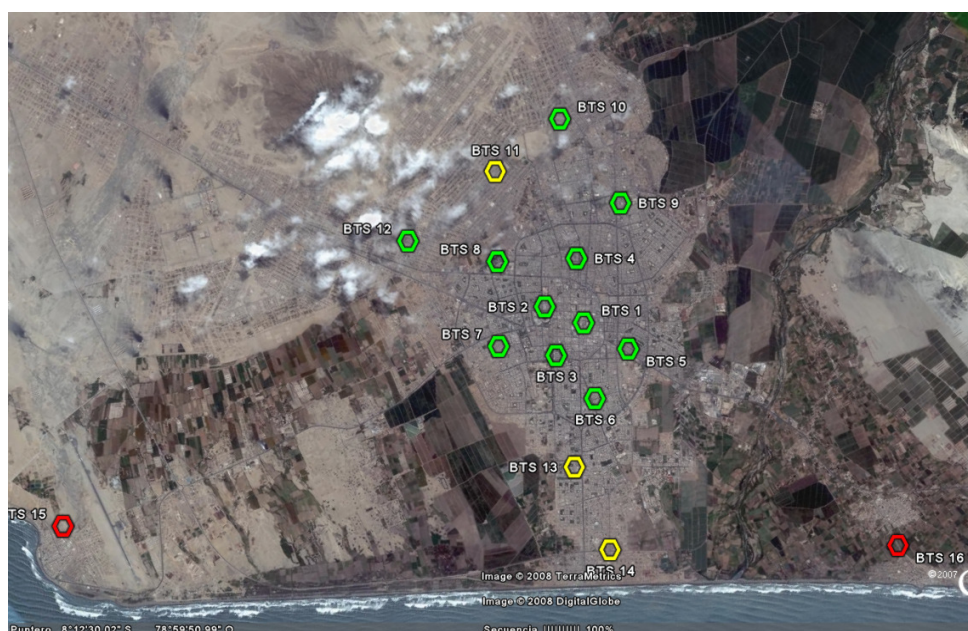


Figura 4.10 Vista panorámica de las BTS

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.10 nos muestra una vista panorámica de las estaciones bases una vez finalizadas las 3 fases de expansión. Estas se pueden diferenciar por los colores: las estaciones bases de color verde representan a las instaladas en la primera fase de expansión; las de color amarillo representan a las instaladas en la segunda fase de expansión; y las de color rojo representan a las instaladas en la tercera y última fase de expansión.

4.2.2 Red de transporte

La estación base principal ó cabecera (Número 6) se encuentra en el distrito de Trujillo ubicada a 8° 7'20.32" de latitud sur y a 79° 2'0.95" de longitud oeste. A esta se conectarán las demás estaciones bases utilizando enlaces microondas punto a punto para lo cual es necesario realizar el cálculo de la atenuación en el espacio libre según lo indica la siguiente figura.

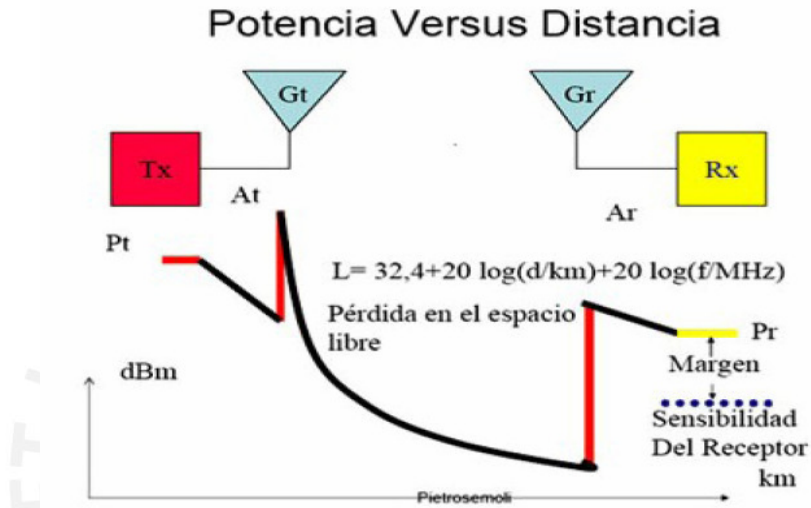


Figura 4.11 Cálculo de las pérdidas en el espacio libre

Fuente: WILAC

Sabiendo la frecuencia de operación y la distancia entre el transmisor y el receptor se puede calcular la pérdida en el espacio libre. Una vez realizado este cálculo procedemos a calcular la potencia de recepción aplicando la siguiente fórmula.

$$P_{RX} \text{ (dBm)} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{RF} - L \quad (11)$$

Se considera un enlace satisfactorio cuando la sensibilidad del receptor es menor a esta potencia calculada. Notar que las pérdidas por cables y conectores (L_{RF}) pueden llegar a ser considerables si es que la radio y la antena transmisora se encuentran muy separadas.

Otra de las consideraciones a tener en cuenta para una enlace punto a punto son las zonas de Fresnel. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) propone que un enlace punto a punto se puede realizar satisfactoriamente si se alcanza una visibilidad mínima equivalente al 60% de la primera zona de Fresnel.

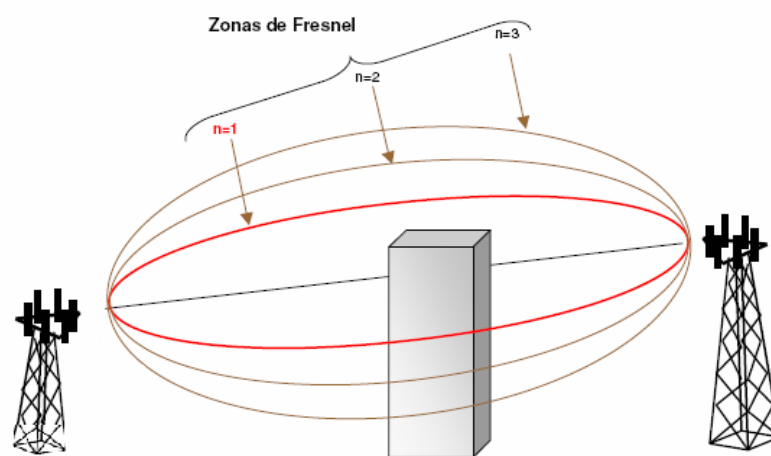


Figura 4.12 Zonas de fresnel

Fuente: Axtel

Para determinar la factibilidad de los enlaces microondas en el presente proyecto se utilizó la herramienta Radio Mobile, la cual puede ser descargada gratuitamente de la página web <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.

Los datos que deberán ser introducidos en la herramienta son los siguientes

- ✓ La potencia de transmisión.
- ✓ La ganancia de la antena transmisora.
- ✓ La pérdida en los cables y conectores.
- ✓ La pérdida en el espacio libre.
- ✓ La ganancia de la antena receptora.
- ✓ La sensibilidad del receptor.
- ✓ La distancia entre el transmisor y receptor.
- ✓ La frecuencia de operación.

La siguiente figura nos muestra una vista panorámica de los enlaces punto a punto que se emplearon en el presente proyecto, pudiéndose observar claramente la topología estrella por la cual se optó.



Figura 4.13 Vista panorámica de la red de transporte

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra uno de los enlaces microondas más largo de la red de transporte, entre la BTS 15 en Huanchaco y la BTS 12 en La Esperanza. Según los cálculos realizados con Radio Mobile el enlace es satisfactorio.

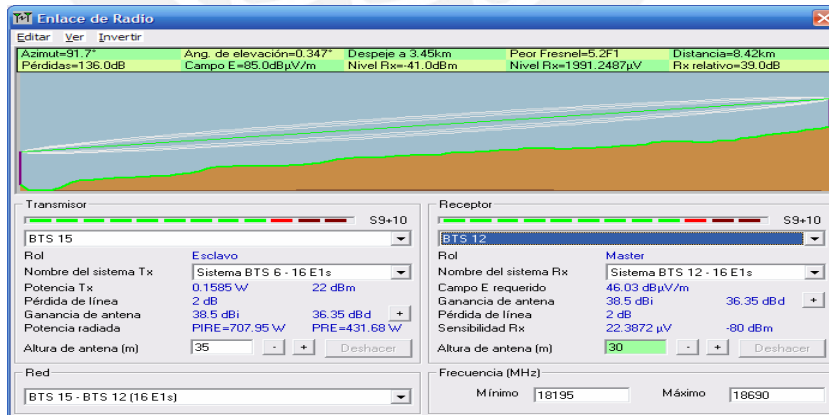


Figura 4.14 Enlace BTS 15 (Huanchaco) - BTS 12 (La Esperanza)

Fuente: Elaboración propia

Debido a que Trujillo metropolitano está prácticamente a nivel de mar los enlaces microondas punto a punto no tuvieron mayores dificultades. La siguiente figura nos muestra todos los enlaces de color verde, lo cual indica que se pueden realizar satisfactoriamente con una visibilidad mayor al 60% de la primera zona de Fresnel.

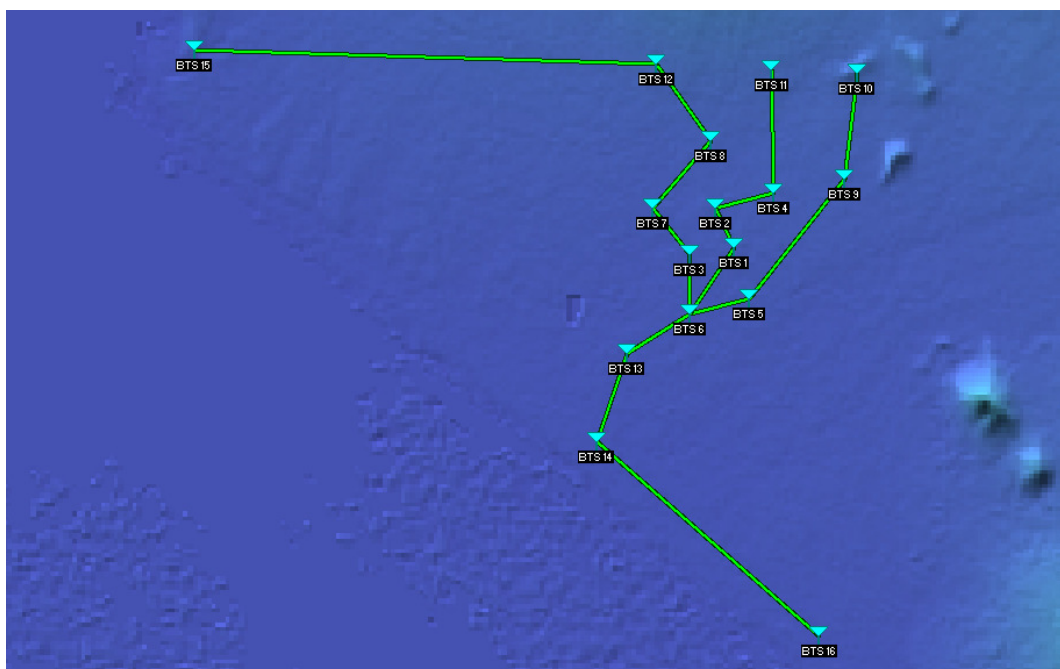


Figura 4.15 Enlaces satisfactorios en la red de transporte

Fuente: Elaboración propia

Otro planteamiento para la red de transporte es utilizar a los servicios portadores locales como TELMEX arrendándoles fibra óptica para la interconexión de las estaciones bases de nuestra red de acceso. Sin embargo, esta segunda opción es recomendable cuando ya se cuenta con una buena cantidad de usuarios para poder sacarle el máximo provecho al ancho de banda que nos ofrecen las fibras ópticas.

4.3 Especificaciones técnicas del equipamiento

En el presente punto se mostrarán las principales especificaciones técnicas de tres estaciones bases, dos terminales móviles y dos antenas para la red de acceso. Para la red de transporte se mostrarán las especificaciones técnicas de dos radio enlaces y de dos antenas microondas en las bandas respectivas.

4.3.1 Equipamiento para la red de acceso

La siguiente tabla 4.23 nos muestra las principales especificaciones técnicas de tres estaciones bases WIMAX de los fabricantes REDLINE COMMUNICATIONS, HUAWEI y AIRSPAN, líderes en el mercado de las Telecomunicaciones. Posteriormente, en la tabla 4.24 se muestran las especificaciones técnicas de dos antenas WIMAX de los fabricantes ANDREW e HYPERLINK. Finalmente, la Tabla 4.25 nos muestra las especificaciones técnicas de dos terminales móviles de los fabricantes ZyXEL y AIRSPAN.

Especificaciones	Redline Communications	Airspan	Huawei
Estándar	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005
Frecuencia	3.4 a 3.6 GHz	3.4 a 3.6 GHz	3.4 a 3.6 GHz
BW del Canal	3.5, 5, 7 y 10MHz	1.75, 5, 7,10, 20MHz	5 y 10MHz
Duplexaje	TDD	TDD, FDD	TDD
Potencia Tx	36 dBm	40 dBm	37 dBm
Sensibilidad Rx	-99.5 dBm	-105 dBm	-97.2 dBm

Tabla 4.23 Especificaciones técnicas - estaciones bases

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes

Especificaciones	Andrew	Hyperlink
Frecuencia	3.3 - 3.8 GHz	3.4 - 3.7 GHz
Tipo de antena	Sector	Sector
Sectores	120°	120°
Ganancia	14.9 dBi	15 dBi
VSWR	1.5	< 1.5

Tabla 4.24 Especificaciones técnicas - antenas WIMAX

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes

Especificaciones	Zyxel	Airspan
Estándar	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005
Frecuencia	3.4 a 3.6 GHz	3.3 a 3.8 GHz
BW del Canal	3.5, 5, 7 y 10MHz	5, 7 y 10MHz
Duplexaje	TDD	TDD
Potencia Tx	23 dBm	22 dBm
Sensibilidad Rx	-95 dBm	-100 dBm

Tabla 4.25 Especificaciones técnicas - terminales móviles

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes

4.3.2 Equipamiento para la red de transporte

La siguiente tabla 4.26 nos muestra las principales especificaciones técnicas de dos radio enlaces de los fabricantes ALCATEL-LUCENT y NEC. Posteriormente, en la tabla 4.27 se muestran las especificaciones técnicas de dos antenas de los fabricantes RFS y ANDREW utilizadas para este tipo de radio enlaces.

Especificaciones	Nec	Alcatel-Lucent
Frecuencia	7 - 38GHz	6 - 38GHz
Modulaciones	QPSK, 16QAM	QPSK, 16,32,64,128,256QAM
Capacidad	PDH: 5-40 E1s	PDH: 20-75 E1s, SDH: 1,2 STM-1
Potencia Tx	17 dBm @ 18GHz	17.5 dBm @ 18GHz
Sensibilidad Rx	-92.5 dBm	-77.5 dBm

Tabla 4.26 Especificaciones técnicas - radio enlaces

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes

Especificaciones	Andrew	Rfs
Frecuencia	17.7 – 19.7GHz	17.7 - 19.7 GHz
Tipo de Antena	Punto a Punto	Punto a Punto
Ganancia	38.3 dBm	38.5 dBm
F/B	70 dB	67 dB
VSWR	1.3	1.3

Tabla 4.27 Especificaciones técnicas - antenas punto a punto

Fuente: Hojas técnicas de los fabricantes

4.4 Determinación de la infraestructura del proyecto

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

4.4.1 Subsistema de protección

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

- ✓ Fleje de cobre (0,8mm*7cm*40m)
- ✓ Bentonita natural (saco 20 kg)
- ✓ Sal industrial (saco de 50 kg)
- ✓ Soldadura exotérmica (65 gr)



Figura 4.16 Instalación del sistema de puesta a tierra

Fuente: Curso de sistemas de protección en redes de Telecomunicaciones

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

4.4.2 Subsistema de energía

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

Las estaciones base están conformadas por una unidad en banda base y las unidades de radio remota. Estos equipos al igual que los radios utilizados para los enlaces microondas trabajan a -48 V DC . Gracias a los rectificadores es que podemos convertir 220 V AC (energía comercial contratada) a -48 V DC . La siguiente figura nos muestra el esquema básico de un rectificador con resguardo de energía.

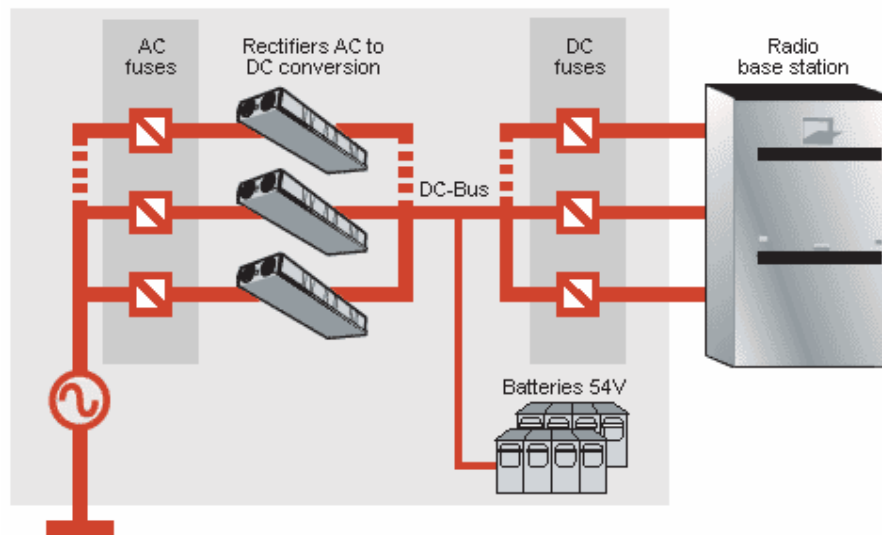


Figura 4.17 Subsistema de energía típico

Fuente: Rectificadores Eltek

Adicionalmente se instalarán interruptores termomagnéticos (*Breakers*) dependiendo del Amperaje que requieran los equipos. Esto nos ayudará a proteger a nuestros valiosos equipos contra posibles sobrecargas y corto circuitos.

4.4.3 Torres

Para el presente proyecto se emplearán torres auto soportadas. La característica principal de estas torres es, como su nombre lo indica, que se soportan ellas mismas; no necesitan tirantes para asegurar que la torre no caiga. Son torres más robustas y pesadas que las abatibles, pero tienen el inconveniente de ser más caras y necesitar una grúa para su instalación.



Figura 4.18 Torres auto soportadas

Fuente: Epcom

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

5 COSTOS DE INVERSIÓN Y OPERACIÓN DEL PROYECTO

5.1 Costos de inversión

Una vez presentado el diseño de la red de acceso procederemos a realizar el flujo de caja del proyecto considerando únicamente a la primera fase de expansión que comprende a los distritos de Trujillo, El porvenir y La Esperanza. Esto se debe a que este sector representa el 74% de nuestro mercado meta total. Por lo tanto, si demostramos que el proyecto es económicamente rentable hasta este punto no se presentarán mayores problemas para el despliegue de las fases siguientes.

Para poder realizar el flujo de caja del proyecto se ha procedido a tener en cuenta los precios de diferentes fabricantes y la prestación de servicios obteniendo los resultados que a continuación se presentan.

5.1.1 Red de acceso

Los costos relacionados con la red de acceso son los siguientes.

- ✓ Estaciones bases (BTS, Antenas, etc)
- ✓ Equipamientos adicionales para las estaciones bases
- ✓ Sistema de energía para las estaciones bases

- ✓ Sistema de protección contra rayos
- ✓ Sistema de puesta a tierra
- ✓ Equipamiento para el Core&Edge
- ✓ Torres
- ✓ Adquisición del local, obras civiles, etc.
- ✓ Terminales
- ✓ Feeders
- ✓ Conectores
- ✓ Cables, herramientas, etc.
- ✓ Otros

5.1.2 Red de transporte

Los costos relacionados con la red de transporte son los siguientes.

- ✓ Radio Enlaces (ODU, IDU, Antenas Microondas, etc)
- ✓ Equipamientos adicionales para los radio enlaces
- ✓ Sistema de energía para los radio enlaces
- ✓ Sistema de protección contra rayos
- ✓ Sistema de puesta a tierra
- ✓ Torres
- ✓ Otros

Debido a que ambos equipamientos comparten el mismo espacio la mayoría de los costos como las torres, el sistema de energía, el sistema de protección, entre otros, son compartidos.

5.2 Costos de operación

Los costos relacionados con la operación y mantenimiento de la red son los siguientes.

- ✓ Costos por operaciones de la red
- ✓ Mano de obra por instalación de los equipos
- ✓ Canon radioeléctrico
- ✓ Mantenimiento preventivo anual
- ✓ Gastos de ventas y marketing
- ✓ Alquiler del local para las estaciones bases
- ✓ Gastos generales y administrativos
- ✓ Impuestos, deudas, etc
- ✓ Costos por transmisión
- ✓ Mantenimiento correctivo (repuestos, técnicos, etc)

5.3 Estudio de factibilidad del proyecto

Para poder determinar ciertos valores en el análisis del CAPEX y el OPEX, se ha tomado como principal referencia al caso de negocios realizado por el WIMAX Forum en el año 2004 (Mayor información [http://www.redlinecommunications.com/news/resourcecenter/whitepapers/WiMAX-The Business Case-Rev3.pdf](http://www.redlinecommunications.com/news/resourcecenter/whitepapers/WiMAX-The_Business_Case-Rev3.pdf)).

5.3.1 CAPEX

Para el análisis del CAPEX se consideró lo siguiente:

1. Equipos WIMAX				1,050,000.00
	Estación Base (BTS - 3 sectores)	11	35,000.00	385,000.00
	Otros Equipamientos de la BTS	11	15,000.00	165,000.00
	Equipamiento Core&Edge	1	500,000.00	500,000.00
2. Sistema Radiante				260,096.68
	Antenas	33	180.00	5,940.00
	Feeders	66	58.00	3,828.00
	Conectores	132	2.49	328.68
	Radio Enlaces	10	25,000.00	250,000.00
3. Infraestructura de Telecomunicaciones				642,400.00
	Sistema de Protección contra Rayos	11	500.00	5,500.00
	Sistema de Puesta a tierra	11	1,400.00	15,400.00
	Torres	11	3,000.00	33,000.00
	Costos de Instalación de Equipos	11	3,500.00	38,500.00
	Adquisición Local, Obras Civiles	11	50,000.00	550,000.00
4. Terminales				1,500,000.00
	Terminales CPEs	3,750	250.00	937,500.00
	Tarjetas PCMCIA y/o USB	3,750	150.00	562,500.00
5. Otros				230,374.83
	Permisos Municipales, Licencias, et	11	5,000.00	55,000.00
	Margen de error del CAPEX		5.0%	175,374.83
TOTAL CAPEX				3,682,871.51

Figura 5. 1 CAPEX del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Como se explicó anteriormente, se realizará el estudio de factibilidad considerando solamente la primera fase de expansión que comprende los distritos de Trujillo, El porvenir y La Esperanza. Un total de 11 estaciones bases, 7500 terminales entre CPEs, PCMCIA y USBs, 10 radio enlaces iniciales de baja capacidad, todo el equipamiento necesario para la infraestructura, gastos en permisos municipales, licencias, y adicionalmente un margen de error por si se comete algún error en el cálculo.

5.3.2 OPEX

Para el análisis del OPEX se consideró lo siguiente:

Costo promedio por Tráfico			75,080.73	900,968.72
Trujillo		4,494	45,119.76	541,437.12
El Porvenir		1,343	13,487.13	161,845.60
La Esperanza		1,641	16,473.83	197,685.99
Costos de Explotación			52,153.86	625,846.33
Operaciones de la Red		10%	47,955.94	575,471.33
Mano de Obra de instalación de terminales (Sólo de CPEs)		5%	3,906.25	46,875.00
Canon Radioeléctrico		3,500.0	291.67	3,500.00
	T.C.:	3.00		
Costos de Mantenimiento de Equipos			13,685.51	164,226.08
Mantenimiento Preventivo Anual de las BTSs		5%	8,135.40	97,624.83
Mantenimiento Correctivo		1%	81.35	976.25
Mantenimiento Operativo de Terminales (Sólo CPEs)		7%	5,468.75	65,625.00
Costos de Difusión y Gastos Generales			58,251.54	699,018.47
Gastos de Ventas y Marketing (incluyendo soporte técnico al usuario)		5%	23,977.97	287,735.67
Alquiler de local para las BTS		11	5,500.00	66,000.00
G & A (Gastos Generales y Administrativos)		6%	28,773.57	345,282.80
Externalidades (Costos Incrementales)			144,235.23	1,730,822.71
Margen de error del OPEX	2,390,059.60	5.0%	9,958.58	119,502.98
Cargas Tributarias e IGV		28.0%	134,276.64	1,611,319.73
TOTAL OPEX			343,406.86	4,120,882.31

Figura 5. 2 OPEX del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Todos los gastos de operación y mantenimiento fueron determinados tomando como referencia principal al caso de negocio realizado por el WIMAX Forum en el año 2004.

Asumiendo una tasa fija promedio de 200Kbps por usuario en la hora cargada se determinó el número de Mbps necesarios para satisfacer dichos requerimientos. Posteriormente se determinó el costo unitario promedio del tráfico en la red, el cual resultó aproximadamente 20 dólares por cliente. A esto se le agregó unos costos diversos por explotación y un margen de contribución del 60% resultando en un precio final de 64.13 dólares ó 179.56 soles. Con este valor se hallaron los ingresos estimados del proyecto y finalmente el flujo final caja es el que se presenta a continuación.

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO						
	año 0	1er. año	2do. año	3er. año	4to. año	5to. año
INGRESOS	0.00	5,754,713.33	8,056,598.67	9,783,012.67	10,933,955.33	11,509,426.67
Trujillo		3,458,294.78	4,841,612.70	5,879,101.13	6,570,760.09	6,916,589.57
El Porvenir		1,033,748.49	1,447,247.89	1,757,372.43	1,964,122.13	2,067,496.98
La Esperanza		1,262,670.06	1,767,738.08	2,146,539.10	2,399,073.11	2,525,340.12
EGRESOS	3,682,871.51	4,120,882.31	6,762,842.61	8,035,309.40	8,585,399.78	8,734,296.06
INVERSIÓN INICIAL (CAPEX)	3,682,871.51	0.00	890,665.44	840,551.63	576,582.72	739,360.23
GASTOS OPERATIVOS (OPEX)		4,120,882.31	5,872,177.17	7,194,757.77	8,008,817.06	7,994,935.83
COSTO POR TRÁFICO		900,968.72	1,621,743.69	2,162,324.92	2,522,712.41	2,702,906.15
COSTO POR EXPLOTACIÓN		625,846.33	831,355.27	999,322.82	1,113,243.23	820,833.72
COSTO DE MANTENIMIENTO		164,226.08	38,798.56	37,397.88	25,711.78	34,550.15
GASTOS DE MARKETING		287,735.67	402,829.93	489,150.63	546,697.77	575,471.33
G&A GAST.GRALES.ADMINISTR.		345,282.80	483,395.92	489,150.63	437,358.21	345,282.80
ALQUILERES		66,000.00	66,000.00	66,000.00	66,000.00	66,000.00
CARGAS TRIBUTARIAS		1,611,319.73	2,255,847.63	2,739,243.55	3,061,507.49	3,222,639.47
COSTOS INCREMENTALES		119,502.98	172,206.17	212,167.34	235,586.17	227,252.21
SALDO DEL PERIODO	(3,682,871.51)	1,633,831.02	1,293,756.06	1,747,703.27	2,348,555.55	2,775,130.61
ACUMULADO	(3,682,871.51)	(2,049,040.49)	(755,284.43)	992,418.84	3,340,974.39	6,116,105.00
TASA DE DESCUENTO		VAN		TIR		FACTOR "r"
12%		2,784,370.01		39%		12%
PERIODO DE RECUPERACIÓN						
AÑO	0	1	2	3	4	5
MONTO	(3,682,871.51)	1,633,831.02	1,293,756.06	1,747,703.27	2,348,555.55	2,775,130.61
FACTOR	1.00	0.89	0.80	0.71	0.64	0.57
VALOR ACTUAL	(3,682,871.51)	1,458,777.70	1,031,374.41	1,243,980.67	1,492,549.51	1,574,683.63
VA ACUMULADO	(3,682,871.51)	(2,224,093.82)	(1,192,719.41)	51,261.26	1,543,810.77	3,118,494.41

Figura 5. 3 Flujo de caja del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Naturalmente, conforme aumenta el número de usuarios aumenta el costo por tráfico en el OPEX. Se está considerando además que por el crecimiento natural de los usuarios será necesaria la instalación de 7 estaciones bases adicionales en el tiempo para poder soportar el tráfico, además de aumentar el pago por el concepto de canon radio eléctrico.

Según la figura 5.3 en los primeros dos años existe pérdida; es recién en el tercer año donde se comienza a recuperar la inversión. Para el flujo de caja del proyecto se consideró únicamente a los distritos comprendidos en la primera fase de expansión. Con esto se obtuvo un VAN positivo y una TIR de 39% recuperando la inversión en el tercer año de funcionamiento. El comportamiento del flujo de caja de nuestro proyecto es similar al mostrado en el caso de negocio propuesto por el WIMAX Forum.

6 CONCLUSIONES

- El dimensionamiento de las redes de Telecomunicaciones puede ser realizado mediante distintos criterios. Sin embargo, es recomendable considerar el criterio de cobertura en los inicios de la red debido a que el criterio de capacidad no es tan crítico por la baja penetración de usuarios que se tiene en los primeros años de funcionamiento. Las empresas de Telecomunicaciones, al igual que el resto de empresas, trabajan bajo el criterio de demanda; es decir, conforme aumenta el número de usuarios la empresa aumenta el número de recursos.
- Con en el presente trabajo de tesis podemos concluir que Trujillo metropolitano es un buen escenario para el despliegue de una red inalámbrica de banda ancha empleando la tecnología WIMAX móvil. Adicionalmente, podemos afirmar que el costo del despliegue de las tecnologías inalámbricas es evidentemente menor al despliegue de las redes fijas. Sin embargo, la limitante de las redes inalámbricas sigue siendo, aunque no por mucho tiempo, el ancho de banda. Tecnologías como LTE (*Long Term Evolution*) prometen mejorar las eficiencias espectrales ofreciendo un mayor ancho de banda a los clientes.

- El estudio de factibilidad realizado en el capítulo anterior arroja interesantes resultados en un escenario como el de Trujillo metropolitano. Con un valor actual neto mayor a cero y una tasa interna de retorno de 39%, podemos afirmar que nuestro proyecto es rentable considerando que sólo se ha analizado la primera fase de expansión del proyecto. Sin embargo, los usuarios que se proponen en este estudio de factibilidad no se podrán alcanzar sin una buena campaña publicitaria; por tal motivo, se considera un monto razonable para efectos de ventas y marketing.
- Luego del estudio realizado en la presente tesis podemos predecir que WIMAX móvil será una de las tecnologías que liderará el mercado de las Telecomunicaciones por varios motivos: fácil despliegue debido a su naturaleza inalámbrica, arquitectura ALL-IP, altas tasas de transmisión, calidad de servicio (QoS), escalabilidad, y lo más importante, la movilidad.



Bibliografía

- [IEE32005] IEEE Standards Association Home Page. IEEE STD. 802.16e-2005 - Approved 7 December 2005. URL: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf>
- [PLA2015] Municipalidad Provincial de Trujillo. Plan Estratégico de Desarrollo Integral y Sostenible de Trujillo – 2015. Agenda 21 Local Trujillo. URL: <http://www.munitrujillo.gob.pe/PlanifCatastro/planifica/paginas/planEstDM0.htm>
- [MET2010] Municipalidad Provincial de Trujillo. Plan de Desarrollo metropolitano al 2010. Aprobado por Ordenanza Municipal Nro.05-95-MPT. URL: <http://www.munitrujillo.gob.pe/PlanifCatastro/menuplanifica.htm>
- [REG2007] Gobierno Regional La Libertad. Región en cifras – Trujillo, Marzo de 2007. Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial. URL: <http://www.regionlalibertad.gob.pe/>
- [FIJ2007] Ministerio de transportes y comunicaciones. Servicio de telefonía fija local (Modalidad: Abonados y/o Teléfonos Públicos). URL: www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/concesiones/tflab.pdf
- [CAB2007] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Abonados de televisión por cable según ámbito regional 1998 – 2007. URL: <http://www.mtc.gob.pe/portal/estadisticas/comunicaciones.asp>
- [PRO2007] Ing. Luis Montes Bazalar – Curso de Proyectos de Telecomunicaciones – Semestre 2007-II. Presentación PowerPoint “Proyectos de Telecomunicaciones PUCP V1”. Diapositiva N° 35.
- [ALV2007] Alvarion. Personal Broadband Delivered Through Mobile WiMAX Networks. URL: http://www.alvarion.com/upload/imagess/4Motion_Presentation_CTIA_06.pdf

[SIE2007]

SIEMENS. WIMAX – Aplicaciones y servicios. Jaime Martínez. URL:<http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicación/políticas/eventos/milla/exposiciones/WiMAX%20-%20Aplicacion%20y%20Servicios.pdf>



RELACION DE ANEXOS

- Anexo 1: *Huawei Wimax Access Service Network*
- Anexo 2: *Huawei Wimax BTS*
- Anexo 3: *Huawei Wimax CPE*
- Anexo 4: *Huawei Wimax Mobile Station*
- Anexo 5: *Redline Communications Wimax Subscriber Unit*
- Anexo 6: *Redline Communications Wimax BTS*
- Anexo 7: *Andrew Wimax Antenna*
- Anexo 8: *Hyperlink Wimax Antenna*
- Anexo 9: *Alcatel-Lucent Radio Link*
- Anexo 10: *Antena Microondas Andrew*
- Anexo 11: *NEC Radio Link*

