

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UNA RED WiMAX MOVIL PARA
LIMA METROPOLITANA**



PROYECTO DE TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

HUATUCO LEON, JULIO LEANDRO GABRIEL

RODALDE LÓPEZ, SERGIO GABRIEL

LIMA – PERÚ

2008

DEDICATORIA Julio Huatuco dedica: A mi familia que siempre confió en mi, A Andrea, el amor de mi vida, por su infinito apoyo, Y a todos mis amigos dentro y fuera de la Universidad. Sergio Rotalde dedica: A mis padres y a mi familia por el apoyo continuo.

AGRADECIMIENTOS

Primero queremos agradecer a Dios por permitirnos tener las familias que tenemos, tan maravillosas, las cuales nos apoyan, nos orientan y nos ayudan en cada momento de nuestras vidas. Con su esfuerzo, apoyo y cariño hemos podido culminar satisfactoriamente una de las etapas más importantes de nuestras vidas. Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Luis Cuadrado por ser nuestro asesor y por transmitirnos conocimientos tanto en las aulas como alumnos y ahora como egresados, estos conocimientos, que fueron de vital importancia para el desarrollo del presente proyecto de tesis. Quisiéramos agradecer a todas aquellas personas que con su inmenso apoyo o siquiera aliento ayudaron a que este proyecto de tesis salga adelante: A nuestros compañeros de trabajo, de la universidad y amistades de toda la vida.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO 1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	7
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO Y ASPECTOS TECNOLÓGICOS	11
CAPITULO 3 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y SOCIO-ECONÓMICAS DE LIMA	57
CAPITULO 4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA Y DEFINICION DE LOS SERVICIOS A BRINDAR	69
CAPITULO 5 DISEÑO DE INGENIERIA DE LA RED WIMAX MOVIL	77
CAPITULO 6 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	139
CAPITULO 7 CONCLUSIONES	147
CITAS DE FIGURAS	148
WEBGRAFIA	150
BIBLIOGRAFIA	150

INTRODUCCIÓN

Desde un principio la humanidad supo que la comunicación era una necesidad vital para la supervivencia, para la expansión, para el conocimiento, etc; siendo esto una excusa para que el ingenio del hombre una vez más salga a relucir con inventos que van desde el mas básico, como el telégrafo, pasando por el teléfono, que brindo una nueva dimensión de posibilidades dando nacimiento a la era de las telecomunicaciones. Pero el conocimiento del hombre y la necesidad de comunicación, llevo a la telefonía por nuevos rumbos, dándose a conocer lo que hoy llamamos la telefonía móvil. Los servicios de Telecomunicaciones en la actualidad cada vez son mas eficientes. Prueba de ello es la constante evolución de las distintas tecnologías y el desarrollo de otras nuevas que permiten estar a la altura de la evolución digital. Es por eso que existe una tendencia mundial de gran interes en las comunicaciones móviles de banda ancha El objetivo principal de la presente tesis es presentar el diseño completo de una red WiMAX móvil para Lima. Con esto se pretende mostrar el punto de vista de la ingeniería de diseño así como también el punto de vista económico y del impacto social que tendría el despliegue de una red de este tipo así como también las diferencias entre calidad de servicio, las tasas de transmisión, los costos de instalación, operación y mantenimiento entre otros parámetros en comparación con otras redes.

En el primer capítulo se muestra la metodología de la investigación que dio resultado la presente tesis.

En el segundo capítulo se muestra el marco teórico de la tesis basándose en el estandar IEEE 802.16e-2005, el estandar para WiMAX móvil.

En el tercer capítulo se hace mención sobre el panorama de las telecomunicaciones en Lima Metropolitana, así como la determinación de las características demográficas y los diferentes servicio brindados en la actualidad.

En el cuarto capítulo se va a tratar la definición de nuestros usuarios objetivos a los cuales se les brindará el servicio, la definición del servicio base a brindar y nuestros paquetes de soluciones de valor agregado

En el quinto capítulo se muestra modelo de tráfico, el diseño de la red, diseño de radio frecuencia, diseño de la red de transporte, el acceso al servicio de la red (ASN), la red de conectividad de servicio (CSN), la interconexión con otras redes y servicios, los equipos que integran la red desde los terminales hasta los equipos de core y los equipos de energía.

En el sexto capítulo se muestra el caso de estudio económico para la ejecución de un proyecto de esta envergadura, costos de equipos, modelo económico, tiempos de ejecución, demostrando que es una red rentable que se perfila como una buena alternativa para la diversificación del mercado de Lima Metropolitana

CAPITULO 1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La tendencia en el mundo de las telecomunicaciones es hacia las redes convergentes basadas en el protocolo IP, y América Latina no es la excepción. Existen pocos países en el mundo donde se ha desplegado una red de semejante envergadura y en general una red de cuarta generación. En el Perú actualmente no existe una empresa que haya desplegado una red de 4G con tecnología WiMAX, que ayude a mejorar la deficiencia de ancho de banda de otras tecnologías. Es por eso que se propone el diseño de una red basada en esta tecnología, la misma que permitirá mejorar la oferta del mercado de las telecomunicaciones contribuyendo a la rebaja de precios y de mejores soluciones a nivel ancho de banda, así como la inclusión de los sectores mas necesitados de comunicación.

1.2 Formulación del problema

Existe en Lima un problema de ancho de banda en las comunicaciones móviles. ¿Es WiMAX la solución?

1.3 Formulación de los objetivos

Se presenta el diseño completo de una red celular de 4G basado en la tecnología WiMAX móvil que propone mejorar la oferta de ancho de banda en la telefonía celular, así como también la unificación del país y su progreso con soluciones integrales.

Objetivo general

Se espera obtener resultados en la diversificación del mercado nacional de las telecomunicaciones al desarrollar plataformas de soluciones con valor agregado que

permitan resolver los problemas de ancho de banda del mercado, así como problemas específicos tanto en empresas como a nivel de usuario.

De igual forma con la implementación de una red WiMAX, totalmente basada en transmisión IP, única en el Perú, se puede reducir costos para el operador que adquiera la tecnología con el fin de poder brindar comunicación e información a los sectores mas desfavorecidos de la capital, dando a conocer que no es una solución para ciertos estratos sociales sino que servirá para la unificación del país.

Objetivo específico

El diseño completo de la red de 4G, planeamiento de red, transmisión, energía, infraestructura, CORE NETWORK, arquitecturas, simulación, optimización, estudios de campo y estudios de mercado.

1.4 Justificación

La justificación del proyecto es buscar la solución al problema planteado al principio aplicando la tecnología WiMAX.

1.5 Importancia

Esta tesis es importante desde el punto de vista de la Ingeniería, ya que muestra muchos detalles de la planificación, operación y optimización de una red de cuarta generación (4G) no implementada aun en nuestro país. Igualmente se tocarán muchos tópicos de la Ingeniería Electrónica vista en la universidad, para de esta manera afianzar los conocimientos de estos, así como nuevos conceptos que ayudaran al desarrollo de futuros ingenieros.

Visto desde el punto social se demostrará que la inversión en un sistema de cuarta generación no es excluyente de los sectores más carentes de comunicación, ya que se podrá brindar distintas soluciones en todos los niveles.

1.6 Hipotesis

Se plantea que con el diseño e implementación de una red WiMAX móvil bajo los estándares de la IEEE (IEEE 802.16e-2005) se puede mejorar significativamente el problema del ancho de banda, del cual carecen las tecnologías actuales de tercera generación. Con unos valores de throughput del orden de los 75Mbps como máximo se podría garantizar un ancho de banda de 1Mbps para todos los usuarios conectados, lo cual permitiría que 75 usuarios usen la red a la vez.

Esta tecnología podría poner fin a la brecha de información que existe actualmente entre los distintos estratos sociales de Lima, gracias a la técnica de acceso OFDMA se podría lograr una mayor área de cobertura, y así cubrir zonas que hoy en día carecen de este servicio tan necesario.

1.7 Método

Uno de los métodos que se usarán para la investigación, será la de recolección de datos. Esto se hará de distintas fuentes como es el Internet, libros sobre telecomunicaciones, manuales de los operadores de los centros de labores de los graduandos, manuales consultados a los mismos vendedores de estos sistemas entre los cuales destacan información de ZTE, Huawei, Lucent-Alcatel, Nortel, entre otros, así como la experiencia de cada uno de los graduandos en el diseño de RF.

Se proporcionarán datos estadísticos, simulaciones, análisis, entre otras cosas.

Para escoger las variables de diseño primero se buscará información demográfica, la misma que será necesaria para calcular nuestro volumen de tráfico a soportar por las estaciones base, lo cual determinará las posibles ubicaciones, ya su vez el uso de celdas sectorizadas (lo más recomendable) u omnidireccionales.

También se evaluarán otras variables para el diseño de transmisión a suministro de energía, factibilidad de transporte (red PDH, SDH, FIBRA) dependiendo del estudio previo, infraestructura, etc.

Otro método usado en la investigación es el inductivo-predictivo, puesto que es una red que no se implementará, sin embargo se quiere demostrar que su aplicación resolvería la problemática planteada al inicio.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO Y ASPECTOS TECNOLÓGICOS

2.1 Vista global de las comunicaciones móviles

Desde sus inicios las telecomunicaciones han revolucionado la forma de comunicarse de las personas y las comunicaciones móviles no son la excepción. Es la tecnología que mas cambios vertiginosos ha tenido a lo largo de la historia desde su aparición a fines de los 70 con la primera generación, que era una tecnología analógica, los terminales eran bastante voluminosos, la cobertura se reducía a solo grandes ciudades y solamente transmitía voz en FM. Entre las tecnologías que aparecieron en la primera generación se encuentra la TACS (UK), AMPS (USA), NMT (UE) y NAMT (JPN).

La segunda generación representó para la industria un gran cambio, ya que trascendió de ser análogo a digital el sistema, con mejor capacidad de cobertura, los terminales eran mas pequeños y ya se empezaba a transmitir datos, aunque a velocidades muy pequeñas. Entre las principales tecnologías se encuentran GSM, CDMAone (IS-95), TDMA o D-AMPS y PDC (JPN).

Luego viene una generación intermedia entre la segunda y tercera que se le denomina la 2,5G debido a que esta generación tiene la ventaja de conmutar paquetes, entre estos el máximo exponente es GSM con GPRS/EDGE.

Finalmente la tercera generación es la respuesta a un tema de estandarización mundial con el estandar IMT2000 y 3GPP o 3GPP2, ahora todos los sistemas

móviles de comunicación terrestre de tercera generación cumplen con este estandar, es así que con la llegada del UMTS al mercado se ha logrado la comunicación móvil de banda ancha HSDPA/HSUPA y una nueva era de servicios.

Existe hoy en día lo que se llama redes de cuarta generación, que son redes convergentes de banda ancha que permiten una gran capacidad de tasas de transmisión así como la inclusión de muchos servicios que se dan por separado hoy en día. Esto responde a un tema de convergencia que muchas redes de 3G no lo tienen aún y se rigen bajo los estandares de la IEEE y en un futuro cercano llegar a interactuar con el estandar IMT-2000.

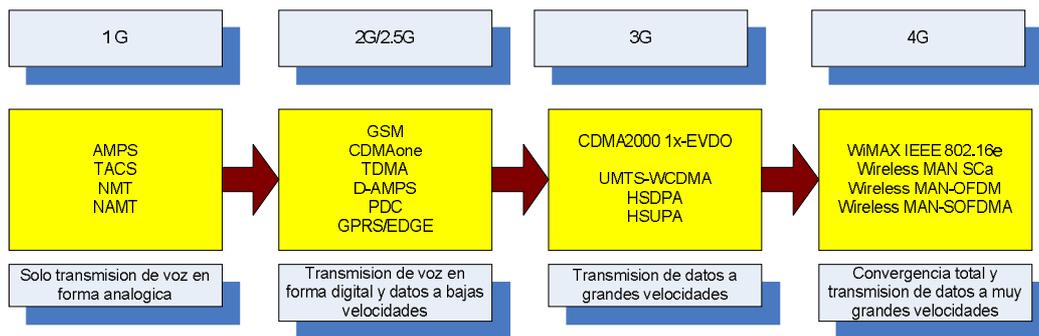


Figura 2.1 Evolución de las comunicaciones móviles

Comunicaciones inalámbricas de Banda Ancha

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una de las tecnologías inalámbricas de banda ancha que está revolucionando el campo de las telecomunicaciones debido a que ofrece una amplia cobertura gracias a la técnica de acceso OFDM, la cual permite mitigar los efectos de multipath, altas tasas de transmisión, calidad de servicio y movilidad

también. Debido a que se presenta como una buena alternativa de negocios es por ello que se escogió esta tecnología nueva para el desarrollo de la presente tesis.

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:

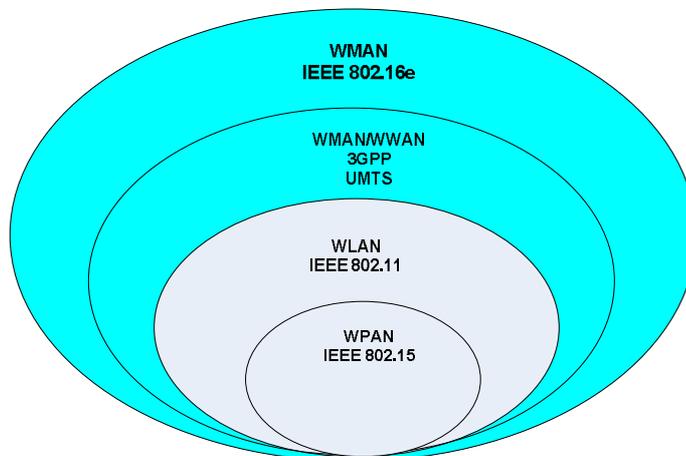


Figura 2.2 Clasificación de las redes inalámbricas

Las redes inalámbricas de menor alcance se denominan WPAN (Wireless Personal Area Network) y cubren distancias de hasta 10 metros con una velocidad de hasta 1Mbps. Estas permiten a los usuarios establecer redes AD-HOC entre dispositivos pero en un espacio reducido, 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, conocido como el BlueTooth.

Las redes inalámbricas de alcance local se denominan WLAN (Wireless Local Area Network) y cubren distancias de hasta 100m con velocidades de hasta 54Mbps dependiendo de la versión usada. Las WLAN son usadas

para comunicaciones inalámbricas utilizando la misma topología de WPAN. Los estándares más representativos son mundialmente conocidos como IEEE 802.11 a,b,g y n que es un borrador aún; Todos estos bajo el sello de WiFi (Wireless Fidelity), el cual asegura la interoperabilidad entre los equipos.

Finalmente y para terminar la idea de las tecnologías inalámbricas de banda ancha, las redes inalámbricas de alcance metropolitano la denominada WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) que pueden cubrir distancias de hasta 30Km con velocidades teóricas de 74Mbps. Existe una discrepancia en donde ubicar a las redes 3G, pues para efectos de este análisis ubicaremos dentro de las WMAN a las redes de 3G que cumplen el estándar 3GPP como UMTS, pero no falta aquel que diga que pertenecen al grupo WWAN.

Con las redes WMAN se pueden establecer conexiones inalámbricas de banda ancha entre múltiples locaciones sin la necesidad de tender fibra óptica y sin contar el alto costo que esta demandaría. Actualmente se cuenta con dos estandarizaciones: IEEE 802.16d, conocido también como IEEE 802.16d-2004, es el estándar para WiMAX fijo debido a que no permite establecer una conexión mientras el usuario final se desplaza. 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 desarrolla la movilidad para WiMAX. Esta actualización nos ofrece dos importantes mejoras: aumento en la tasa de transmisión en movimiento y la movilidad en sí. Este estándar promete convertirse en la solución de los problemas de altos costos en la 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 bajo los estándares de la IEEE 802.16 es el WiMAX Forum, que es un entidad que permite certificar los dispositivos que se usen para este proposito. 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.

2.1.2 WiMAX

Como se menciona líneas arriba, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una tecnología de convergencia que se rige bajo el estándar de la IEEE 802.16, este estándar es un protocolo inalámbrico de banda ancha que se enfoca principalmente en la última milla.

WiMAX es una tecnología de punto a multipunto que bajo el concepto celular de estaciones base es capaz de dar servicio a varios usuarios en una gran área tanto en interiores como en exteriores y bajo la premisa de interoperabilidad permite considerar cualquier fabricante.

El protocolo de punto-multipunto es usado como un sistema de conexión orientada que puede optar tanto configuraciones del tipo estrella o del tipo MESH (malla) usando tanto FDD (Frequency Division Duplex) como TDD (Time Division Duplex). Al usar el estándar 802.16 en adición a todo lo

descrito anteriormente, es capaz de transportar la información via el protocolo TCP/IP que es lo que permite que esta tecnología sea convergente y cada vez más apreciada en el medio.

Al igual que toda tecnología que nació para ser móvil, WiMAX con su estándar IEEE 802.16e-2005 nace con el concepto de arquitectura móvil, aunque difiere mucho de las arquitecturas convencionales de 3G se mantiene aún el acceso por radio, seguido del transporte y finalmente llega a lo que comunmente se le conoce como el CORE NETWORK de la red.

A continuación se presenta la arquitectura básica de una red WiMAX móvil donde sus partes serán detalladas a lo largo de la tesis.

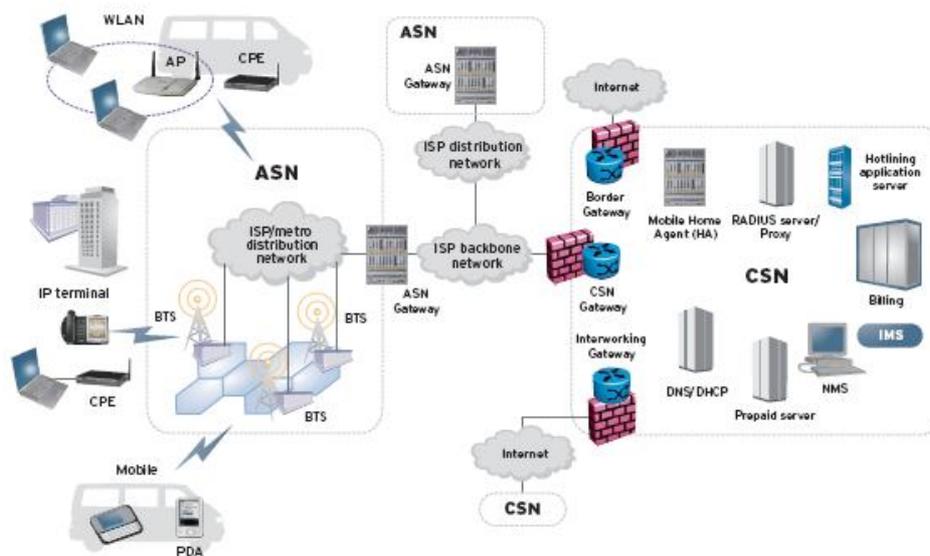


Figura 2.3 Arquitectura de WiMAX IEEE 802.16e-2005

2.2 Definición de la Capa Física PHY

El estándar IEEE 802.16e-2005 define perfiles para la capa física y para la capa de control de acceso al medio. La capa MAC (Media Access Control)

se encarga de los mecanismos de acceso al medio, control de potencia, entre otras funciones. La capa física (PHY) 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.

2.2.1 Descripción de Wireless MAN-SC PHY

En todo sistema de comunicación móvil se busca la eficiencia del espectro, pues con mayor razón en la redes inalámbricas de banda ancha como WiMAX la cual soporta configuraciones TDD (Time Division Duplex) y FDD (Frequency Division Duplex). 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 o equipo de última milla, 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 de la misma. En el caso de TDD, la subtrama downlink viene primero seguida de la subtrama

uplink. En el caso de FDD, las transmisiones uplink ocurren a la par que la trama de downlink.

2.2.1.1 Tipos de técnicas de duplexación

La duplexación por división del tiempo (TDD) y la duplexación por división de frecuencia (FDD) son soportadas en el estándar IEEE 802.16e-2005. En la operación FDD, los canales de uplink y downlink se encuentran en frecuencias separadas las cuales son transmitidas al mismo tiempo. 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.

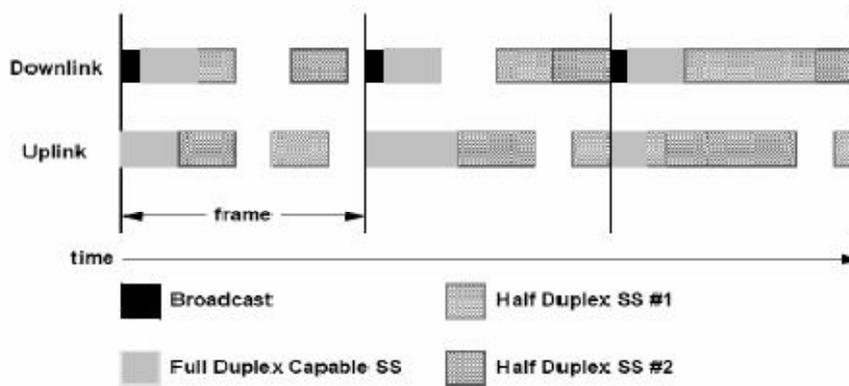


Figura 2.4 Trama IEEE 802.16e usando FDD

Para el caso de TDD, la trama de uplink y downlink comparten la misma frecuencia pero están separadas en ranuras de tiempo como se muestra en la figura siguiente:

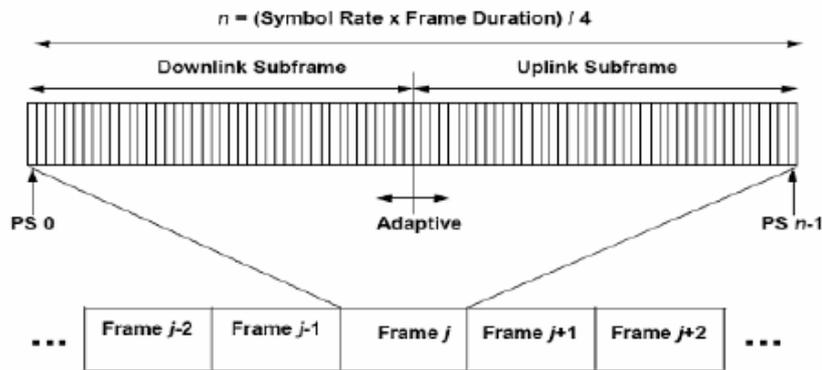


Figura 2.5 Trama IEEE 802.16e usando TDD

Una trama TDD también tiene una duración fija y contiene una subtrama downlink y otra uplink bien definidas. El entramado TDD es adaptativo debido a que la capacidad del enlace asignado al downlink versus la capacidad asignada al uplink puede variar, quiere decir en otras palabras que se puede asignar de manera arbitraria un cociente entre el uplink y el downlink; por decir un ejemplo común en el diseño de este tipo de redes 3:1.¹

2.2.1.1.1 El intervalo de transición 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

¹ OHRTMAN, Frank. Wimax Handbook, The McGraw-Hill companies. Chicago:2005.p22-26

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 en los sistemas FDD.²

2.2.1.1.1 El intervalo de transición 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 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.³

² IEEE: Estándar for local and metropolitan area networks (IEEE 802.16e-2005). New York, 2005. p.317

³ Ibid, idem. P.317

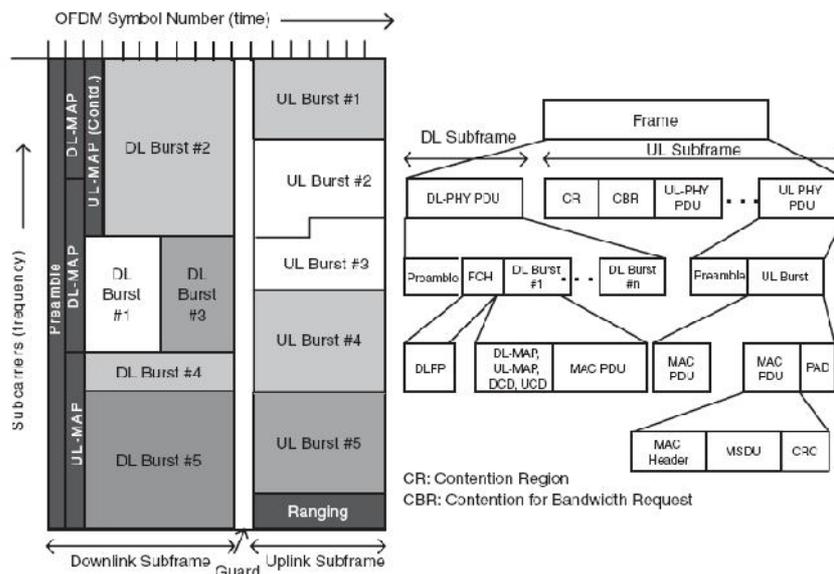


Figura 2.6 Modelo de trama IEEE 802.16e

2.2.1.2 Capa Downlink

2.2.1.2.1 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 de la capa MAC que describe las características físicas del canal en mención) y el UL-MAP (Uplink Map, información que define el acceso completo para un intervalo programado). La siguiente porción TDM contiene la información organizada en ráfaga con diferentes perfiles 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.

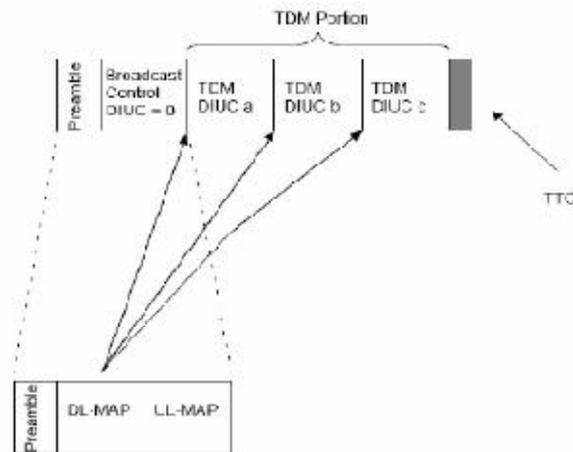


Figura 2.7 Estructura de trama en downlink para TDD

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 de 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.

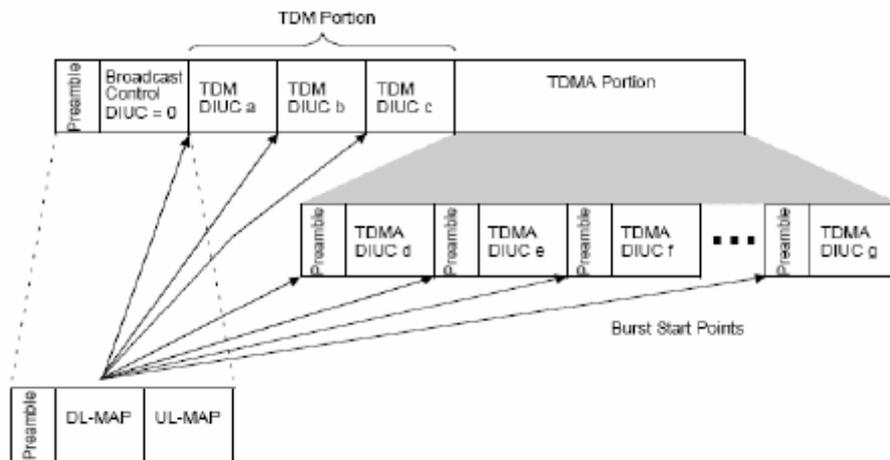


Figura 2.8 Estructura en downlink para FDD

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 2.1 Tipos de preámbulo

La primera porción en la trama downlink que le sigue al preámbulo es la sección de control. Esta es usada para la información de control destinada para todas las estaciones suscriptoras. Esta sección contiene los mensajes DL-MAP y UL-MAP antes mencionados.⁴

2.2.1.3 Capa Uplink

2.2.1.4 Subtrama Uplink

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

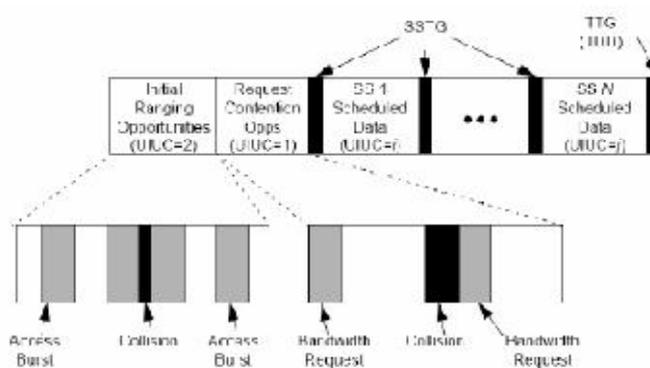


Figura 2.9 Estructura de la subtrama UPLINK

⁴ Ibid, idem. P.318

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:

- Aquella que son transmitidas en oportunidades de contención, reservadas para el ranking inicial.
- Aquellas que son transmitidas en oportunidades de contención, definidas por los intervalos de requerimiento.
- 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.⁵

⁵ Ibid, idem. P.333

2.2.1.5 Etapas de la interfaz aérea

2.2.1.5.1 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 las ranuras de tiempo en 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.⁶

2.2.1.5.2 Control de frecuencia

La frecuencia central RF transmitida por las estaciones base y por cada estación suscriptoras 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 $\pm 8 \times 10^{-6}$.⁷

2.2.1.5.3 Control de potencia

⁶ Ibid, idem. P.337

⁷ Ibid, idem. P.338

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 la 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 o a las fluctuaciones de potencia a velocidades de como máximo 20dB/seg. El rango de control de potencia total consiste en una porción fija y en una porción que es controlada automáticamente por la retroalimentación.⁸

2.2.2 Descripción de WirelessMAN-SCa PHY

Se encuentra basada en la tecnología de portadora única y diseñada para las operaciones NLOS (sin línea de vista) en las bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz.

2.2.2.1 Flujo de transmisión

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

⁸ Ibid, idem. P.340

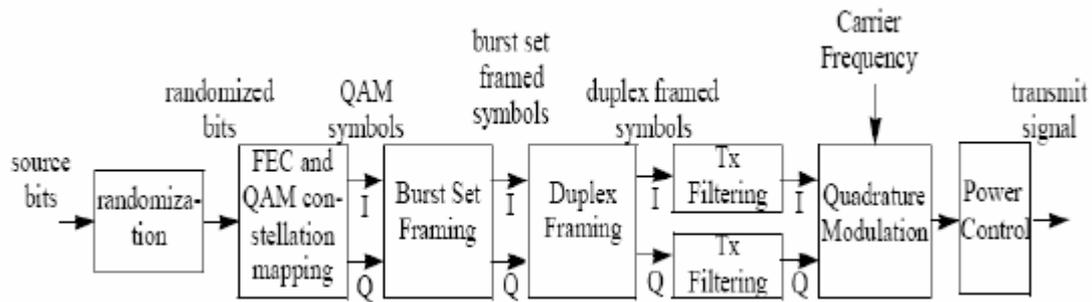


Figura 2.10 Proceso de transmisión

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 un trama duplex, la cual podría contener múltiples ráfagas. Los componentes de los símbolos I y Q serán inyectados en un filtro de formación de pulsos, modulados en cuadratura hasta una frecuencia portadora y amplificados con el control de potencia de modo que la potencia de salida se apropiada para ser transmitida. El proceso de transmisión y recepción es el mismo tanto para uplink como para downlink.⁹

2.2.2.2 Requerimientos del sistema

⁹ Ibid, idem. P.342

2.2.2.2.1 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.¹⁰

2.2.2.2.2 Control del nivel de potencia del transmisor

El transmisor para una estación suscriptora y para una estación base, deberá proporcionar, respectivamente, $\geq 30dB$ y $\geq 20dB$ 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 de $\pm 25\%$ del paso de control, pero no mayor a 4dB.¹¹

2.2.2.2.3 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 S/N

¹⁰ Ibid, idem. P.345

¹¹ Ibid, idem. P.347

QPSK: 9.8 dB
16-QAM: 16.8 dB
64-QAM: 23.0 dB

2.2.2.2.4 Señal de entrada máxima y señal tolerable máxima

Una estación base deberá ser capaz de recibir una señal de operación en canal máximo de -40dBm y tolerar una señal de entrada máxima de 0dBm sin dañar el circuito. Una estación suscriptora deberá ser capaz de recibir una señal de operación en canal máximo de -20dBm y tolerar una señal de entrada máxima de 0dBm sin dañar el circuito.¹²

2.2.3 Descripción de WirelessMAN-OFDM PHY

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

2.2.3.1 Descripción del símbolo OFDM

2.2.3.1.1 Dominio del tiempo

El OFDM o modulación con múltiples portadoras responde al problema de transmitir gran cantidad de información con tasas de transmisión elevadas sin que se pierda o degrade la información. La transformada de Fourier da origen a la forma de onda de OFDM; esta duración de tiempo hace referencia al tiempo de símbolo útil N_g . Una copia del último T_g del período de símbolo útil,

¹²Ibid, idem. P.351

llamado CP (Cycle Prefix), es usada para recoger multitrayectorias, manteniendo simultáneamente la ortogonalidad de los tonos o pulsos.

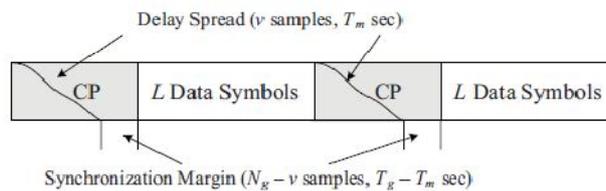


Figura 2.11 Estructura de los tiempos del símbolo OFDM

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 la multitrayectoria 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.¹³

¹³ ANDREWS, Jeffrey et al. Fundamentals of Wimax. Pearson Education, Inc. New Jersey:2007. P.200

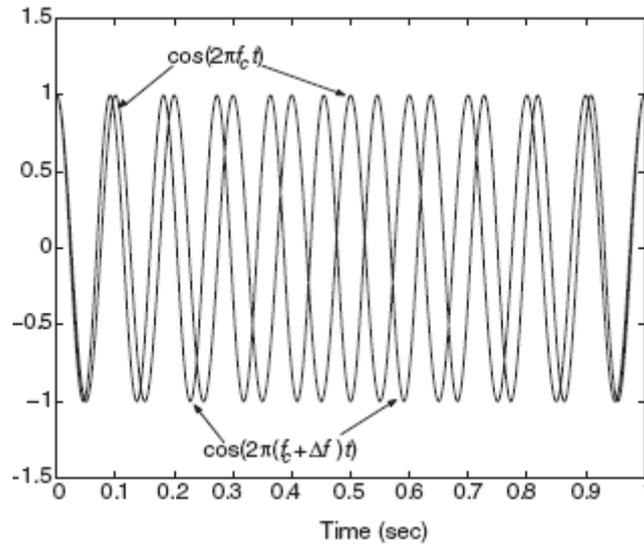


Figura 2.12 OFDM en el dominio del tiempo

2.2.3.1.2 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.

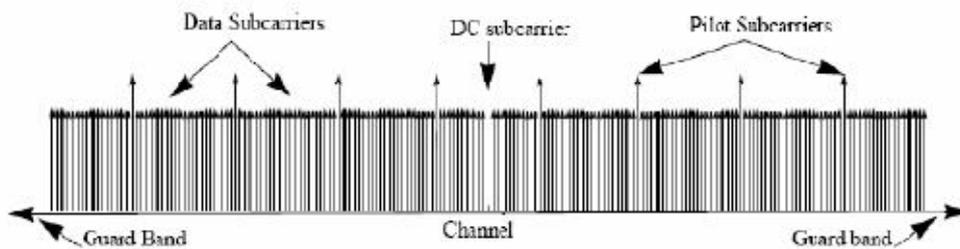


Figura 2.13 Descripción de OFDM en FDD

En la figura anterior se muestra la amplitud real (en fase) de los componentes del símbolo OFDM con la información modulada en QPSK. El propósito de las bandas de guarda es permitir que la señal decaiga naturalmente y crear una

“pared” FFT. Las subportadoras está inactivas sólo en el caso de la transmisión subcanalizada por una estación suscriptora.¹⁴

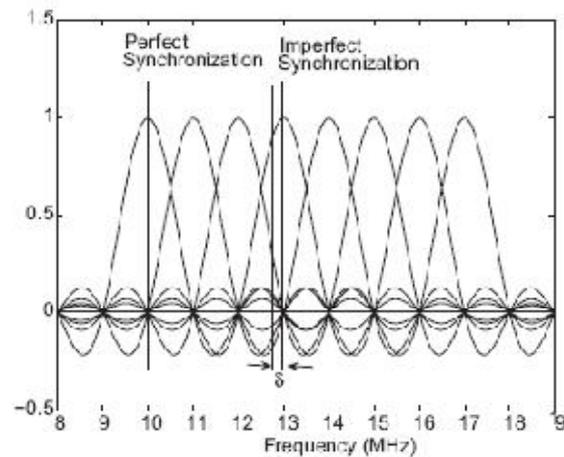


Figura 2.14 OFDM en el dominio de la frecuencia

2.2.4 Descripción de WirelessMAN-OFDMA PHY

WirelessMAN-OFDMA esta basada en la modulación OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), está diseñada para operaciones NLOS en ambiente de movilidad en las bandas de frecuencia por debajo de los 11GHz. Para bandas licenciadas, los anchos de banda permitidos deberán ser limitados por el ancho de banda provisional regulatorio dividido entre cualquier potencia de dos portadoras no menor a 1MHz. 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 y distintas tasas de transmisión. 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

¹⁴ Ibid, idem. P.203

tamaño de la FFT y el ancho de banda del canal empleado por la estación base.

2.2.4.1 Descripción del símbolo OFDMA

2.2.4.1.1 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 multitrayectorias manteniendo simultáneamente la ortogonalidad de los tonos.

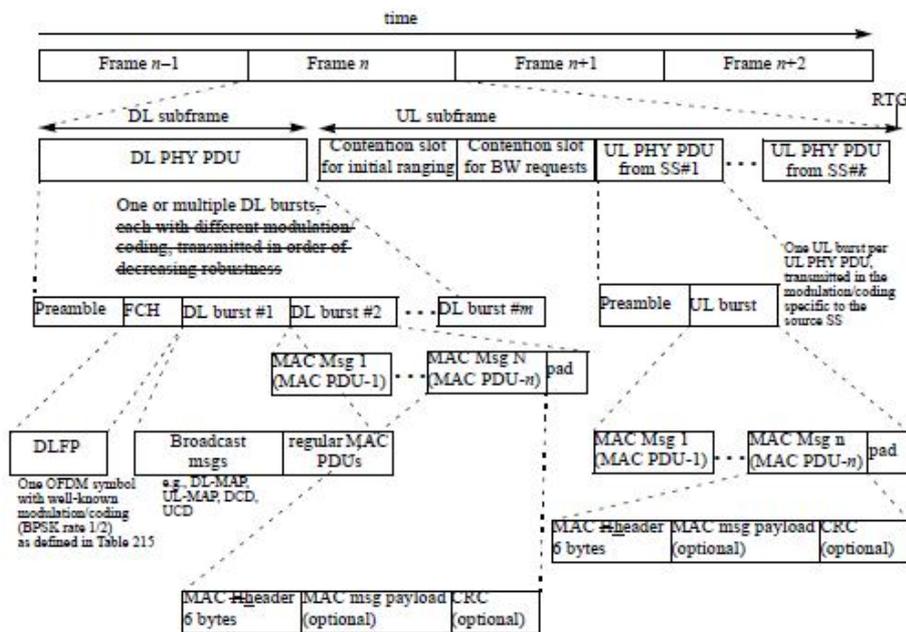


Figura 2.15 Estructura OFDMA en TDD

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 $10\text{Log}\left(\frac{1 - RTG}{\text{Frame}_n + RTG}\right)$ dB en la

relación señal a ruido $\frac{E_b}{N_o}$. Usando la extensión ciclica 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 las multitrayectorias así como tolerancia para los errores de sincronización del tiempo del símbolo.

Inicialmente una estación suscriptora deberá buscar todos los valores posible 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 de 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.¹⁵

2.2.4.1.2 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 2.16 Descripción en el dominio de la frecuencia para OFDMA

Existen 3 tipos de subportadoras:

- Subportadora de datos: Para la transmisión de datos
- Subportadora piloto: Para varios propósitos de estimación
- Subportadora nula: Para bandas de guarda

¹⁵ Ibid, idem. P.216

El propósito de las bandas de guarda, es permitir que la señal decaiga naturalmente por efectos de la propagación y crea 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.¹⁶

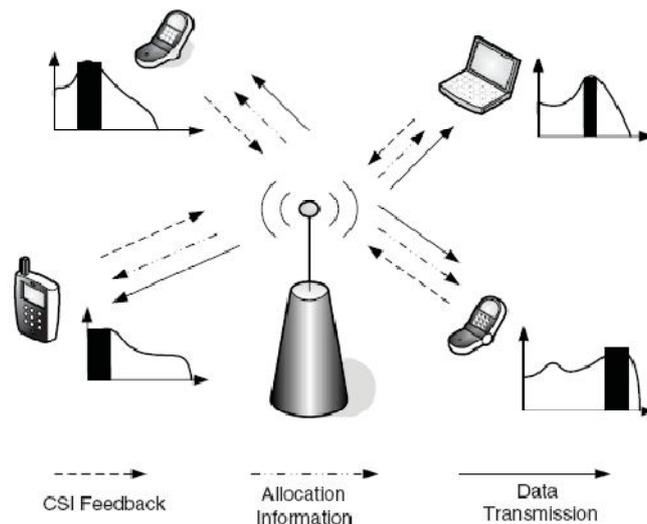


Figura 2.16 OFDMA BS asigna una porción de subportadora a cada usuario

¹⁶ Ibid, idem. P.222

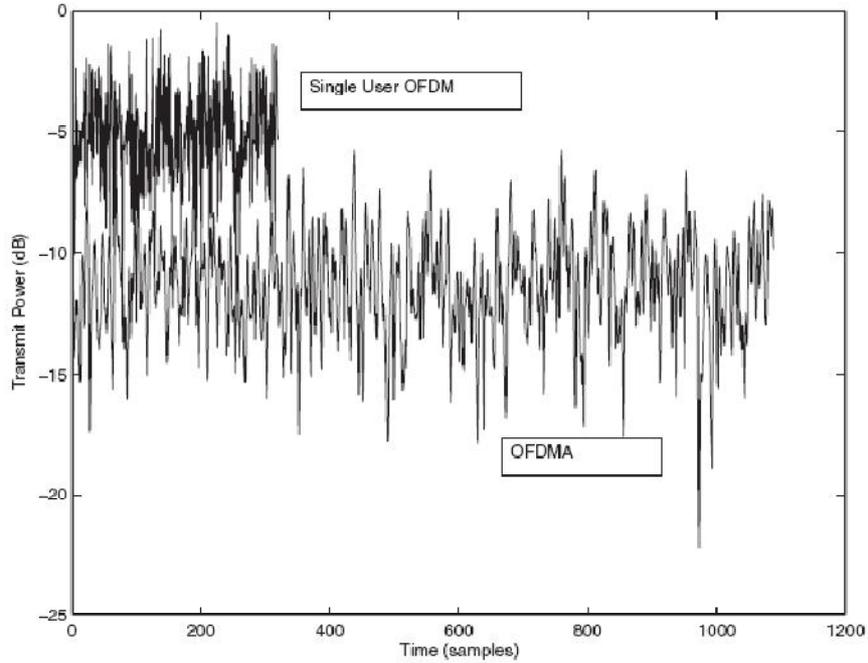


Figura 2.17 Comparación de OFDM usando 256 subportadoras mientras OFDMA sólo 64 de la 256 siendo el uso de potencia el mismo pero en OFDMA con menor consumo

2.2.4.2 Codificación del canal

El proceso de codificación del canal incluye: la aleatorización, codificación FEC, la intercalación, la codificación por repetición y modulación (La repetición sólo debe ser aplicada cuando se utiliza modulación QPSK).

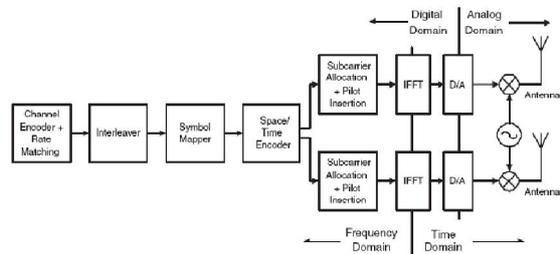


Figura 2.18 Etapas funcionales de la capa PHY

En la figura anterior se muestra como son las etapas funcionales de la capa física en WiMAX usando OFDMA, a continuación presentamos los procesos de codificación de canal en la capa física:¹⁷

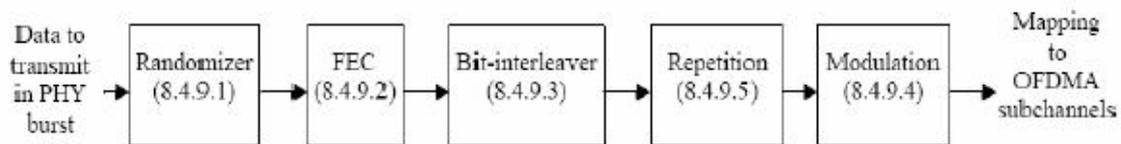


Figura 2.19 Proceso de codificación del canal

2.2.4.2.1 La aleatorización

La aleatorización de los datos es ejecutada en toda la información transmitida en la trama downlink y en la trama uplink. La aleatorización es inicializada en cada bloque FEC. El aleatorizador es inicializado con un vector predeterminado.¹⁸

2.2.4.2.2 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 ranuras de tiempo asignados y la modulación especificada para la transmisión en curso. Este esquema de codificación que se usa en IEEE 802.16e-2005 usa un codificador con una longitud 7 y con un code rate $\frac{1}{2}$. La salida de datos aleatorios es codificada usando este codificador convolucional, que se inicia con el Tail-Biting, los 6 bits del final del

¹⁷ Ibid, idem. P.272

¹⁸ Ibid, idem. P.279

bloque de datos son puestos al inicio para ser usados como ráfagas de bits. Estas ráfagas empujan los bits que se quedaron en la etapa del bloque FEC previo.¹⁹

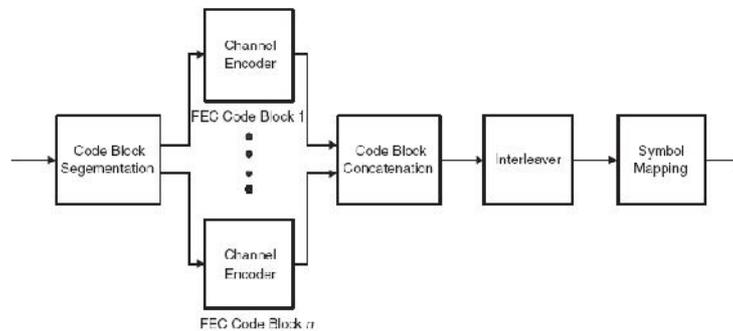


Figura 2.20 Segmentación del código de bloques

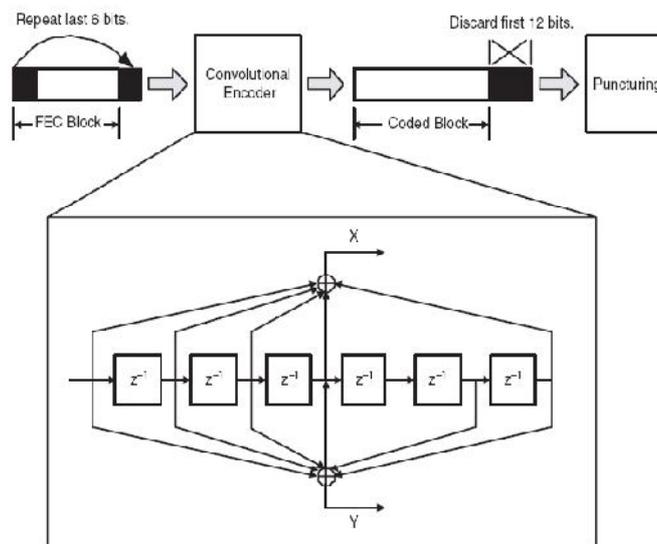


Figura 2.21 Codificador convolucional y Tail-Biting para IEEE 802.16e-2005

2.2.4.2.3 La Intercalación

La intercalación está definida por una permutación de dos pasos. La primera se asegura que los bits codificados adyacentes sean mapeados sobre subportadoras no adyacentes. La segunda permutación asegura que los bits codificados adyacentes sean mapeados alternadamente sobre menos o más

¹⁹ Ibid, idem. P.280

bits significativos de la constelación, evitando así largas ejecuciones de bits poco confiables.

2.2.4.2.4 La codificación por repetición

La codificación por repetición puede ser usada para incrementar ampliamente el margen de la señal sobre la modulación y los mecanismos FEC.²⁰

2.2.4.2.5 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.

2.2.4.2.6 Permutaciones de Subcanal y subportadora

Para crear un símbolo OFDMA en el dominio de la frecuencia, los símbolos modulados son mapeados hacia los subcanales en donde fueron fijados para la transmisión del bloque de datos. Un Subcanal es una colección lógica de subportadoras. El número y la exacta distribución de las subportadoras que constituyen un subcanal dependen del modo de permutación de la subportadora.

²⁰ Ibid, idem. P.281

Es importante recordad que las subportadoras que constituyen un subcanal pueden ser adyacentes o distribuidas a lo largo de la banda de frecuencia, dependiendo en el modo de permutación. Una permutación distribuida de subportadoras nos da como resultado una mejor diversidad de frecuencia, mientras un distribución de subportadoras adyacentes es más usada para sistemas que quieren diversidad de multiusuarios.²¹

2.2.4.2.6.1 Uso full de subportadoras en downlink

En el caso de DL FUSC (Downlink Full Usage of Subcarriers), todas las subportadoras de datos son usados para crear varios subcanales. Cada subcanal esta compuesto de 48 subportadoras de dato, que son distribuidos equitativamente a lo largo de la banda de frecuencia. En FUSC, la suportadora piloto esta colocada primero, luego el resto de subportadoras son mapeadas hacia varios subcanales usando la permutación. El juego de subportadoras piloto es dividido en dos juegos constantes y dos juegos variables. El índice de la subportadora piloto perteneciente al juego variable cambia de símbolo de OFDM, mientras que el índice de la subportadora piloto perteneciente al juego constante no cambia. El juego variable le permite al receptor estimar la respuesta del canal de manera más precisa a lo largo de toda la banda de frecuencia, que es de especial importancia en canales con un largo delay.²²

²¹ Ibid, idem. P.282

²² Ibid, idem. P.283

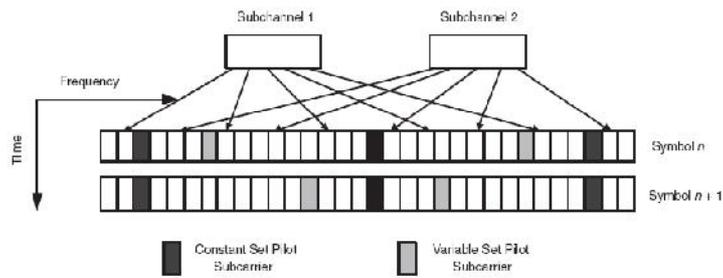


Figura 2.22 Esquema de permutación de subportadoras DL-FUSC

2.2.4.2.6.2 Uso parcial de subportadoras en downlink

DL PUSC (Downlink Partial Usage of Subcarriers) es similar al FUSC, excepto que al principio todas las subportadoras se dividen en seis grupos, esto le permite por grupo la creación de subcanales por la permutación de subportadoras, separando de manera lógica cada grupo. Esta aplicación es muy usada en OFDMA cuando el espectro disponible no es lo suficientemente grande para permitir un reuso de frecuencia.²³

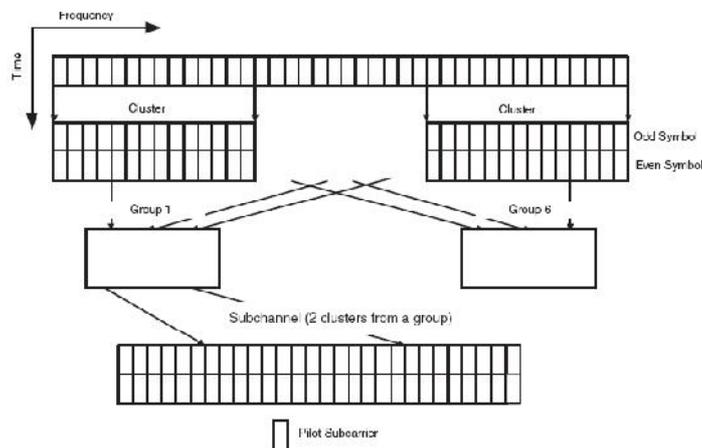


Figura 2.23 Esquema de permutación de subportadoras DL-PUSC

²³ Ibid, idem. P.286

2.2.4.2.6.3 Uso parcial de subportadoras en uplink

En UL PUSC (Uplink Partial Usage of Subcarriers), las subportadoras son divididos primero en varias porciones de ranura. Cada porción consiste en cuatro subportadoras sobre tres símbolos OFDM. La subportadora en una porción esta dividida en ocho subportadoras de datos y cuatro subportadoras piloto.

Este modo de operación permite al sistem un balance entre grandes tasas de transmisión y una forma más precisa de ubicación de canal.²⁴

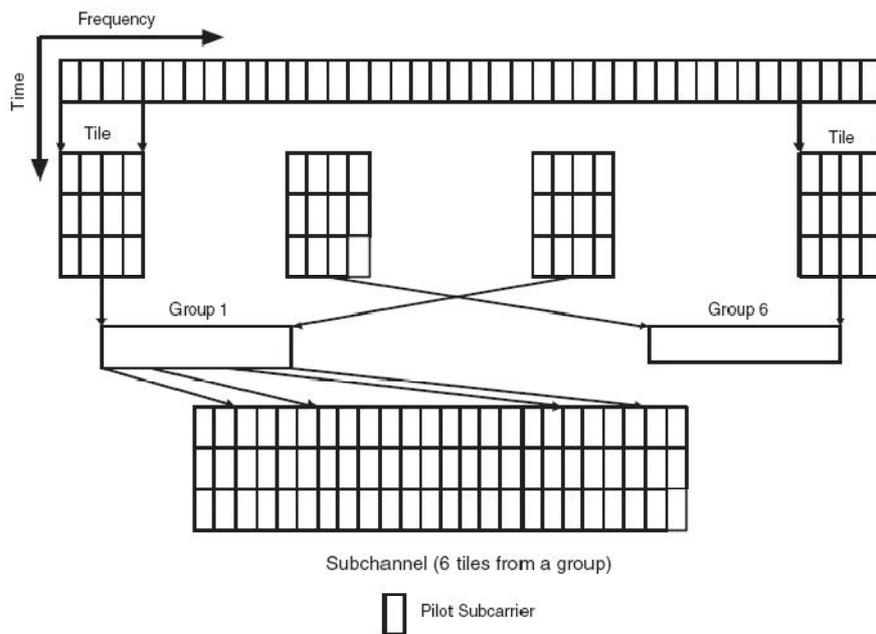


Figura 2.24 Esquema de permutación de subportadoras UL-PUSC

2.2.4.3 Tipos de mecanismos de control

2.2.4.3.1 Ranging

²⁴ Ibid, idem. P.287

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 o cuando la sincronización se pierde.

En segundo lugar es durante la transmisión FDD o TDD periódica.²⁵

2.2.4.3.2 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 la señales de ráfagas 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 o a las fluctuaciones de potencia a velocidades de cómo máximo 30dB/seg.²⁶

2.2.4.4 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 0dBi de ganancia.

²⁵ IEEE, op cit. P.343

²⁶ Ibid, idem. P.346

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 $\pm 0.5\text{dB}$.²⁷

2.2.4.5 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 0dBi de ganancia.²⁸

2.2.4.5.1 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:

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

Donde:

Rss es la sensibilidad del receptor, R es el factor de repetición, SNRrx es la relación señal a ruido en el receptor, Fs es la frecuencia de muestreo en MHz, Nused es el número de subportadoras usadas, Nfft es la potencia más pequeña de las dos más grandes de Nused, ImpLoss es la pérdida en la implementación y su valor es 5dB y por último la NF o figura de ruido y se asume como 8dB.²⁹

2.2.4.5.2 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

²⁷ Ibid, idem. P.353

²⁸ Ibid, idem. P.359

²⁹ Ibid, idem. P.362

de -45dBm. El receptor deberá tolerar una señal máxima de 0dBm sin dañar el circuito.³⁰

2.2.4.6 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 transición uplink.³¹

2.3 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 el modo MESH el tráfico puede ser encaminado hacia otras estaciones suscriptoras e incluso puede ocurrir directamente entre estas.

³⁰ Ibid, idem. P.364

³¹ Ibid, idem. P.368

2.3.1 Plano de Control y Datos

2.3.1.1 Conexiones y direccionamiento

2.3.1.1.1 Conexión Punto-Multipunto

Cada interfaz aire en la estación suscriptora deberá tener una dirección MAC universal de 48 bits. Esta dirección únicamente define la interfaz aire de la estación suscriptora y es usada durante el proceso "Initial Ranging" para establecer las conexiones apropiadas para una estación suscriptora. También es usada como parte del proceso de autenticación por el cual la estación base y la estación suscriptora 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 suscriptora y la estación base, incluso un tercer par de conexiones podrá ser opcionalmente generado. Estos tres pares

de conexiones reflejan el hecho de que existen tres diferentes niveles de QoS (Quality of Service) para administrar el tráfico entre una estación suscriptora 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 suscriptora o la modificación del servicio contratado por la misma estimula a los niveles superiores de la estación base al 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 deberán ser transmitidos sobre conexiones de transporte.³²

2.3.1.1.2 Conexión tipo 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 mensaje unicast como en los mensaje 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.³³

2.3.1.2 Formatos MAC PDU

La capa MAC en WiMAX está dividida en 3 componentes distintos : La subcapa de convergencia de servicio específico (CS, Service-specific convergence sublayer), la subcapa de la parte común (Common-part sublayer) y la subcapa

³² ANDREWS, Jeffrey et al. op cit. P.307

³³ Ibid, idem. P.309

de seguridad. La subcapa CS, que es la interface entre la capa MAC y la capa 3 de la red, recibe los paquetes de datos de la capa superior. Esta capa superior de paquetes es conocida como la SDU (Service Data Units). LA CS es responsable de desarrollar todas la operaciones que son dependientes por naturaleza de los protocolos de capas superiores, como compresión de cabeceras y mapeo de direcciones.

La subcapa de parte común realiza todas las operaciones de los paquetes que son independientes de las capas superiores, como la fragmentación y la concatenación de los SDU hacia la MAC PDU, la transmisión de los mismos y el control de QoS.

Finalmente la subcapa de seguridad esta encargada de la encriptación, la autorización y el intercambio de llaves encriptadas entre la estación base y la estación suscriptora.

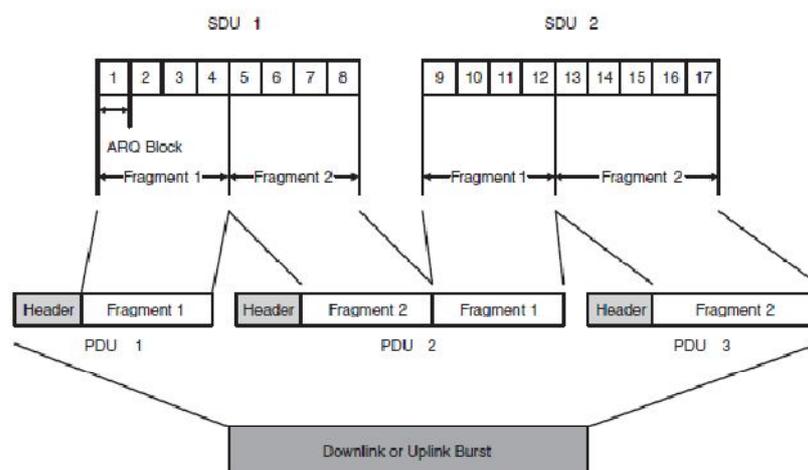


Figura 2.25 Segmentación y concatenación de las SDU hacia la MAC PDU

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 OFDMA³⁴

Los MAC PDU deberán ser de la siguiente manera:

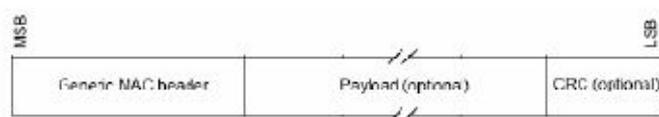


Figura 2.26 Formato MAC PDU

2.3.1.3 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 CID's 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

³⁴ Ibid, idem. P.312

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

2.3.1.3.1 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 del Initial Ranging. Cabe resaltar que un 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.³⁵

2.3.1.3.2 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.

2.3.1.3.3 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

³⁵ Ibid, idem. P.316

cada estación suscriptoras) o de manera grupal (a un grupo de estaciones suscriptoras).

2.3.1.4 Calidad de Servicio (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:

- Conseción de servicio no solicitados (UGS, Unsolicited Grant Service): Esta diseñado para soportar en tiempo real un flujo de servicios que genera un tamaño fijo de paquete de dato en un período dado, como es T1/E1 y VoIP.
- Polling en tiempo real: Esta diseñado para soportar en tiempo real servicios que generan tamaños variables de paquetes de datos en un período dado, como es MPEG video. En esta clase de servicios, la estación base le brinda oportunidades a la estación suscriptora para requerir el ancho de banda necesario para que se cumplan los requerimientos de latencia.
- Polling en tiempo no real: Es similar al anterior excepto que la estación suscriptora no tiene la potestad total de requerir un ancho de banda para Uplink.

- Servicio Best-Effort: Soporta muy poco QoS y es aplicable sólo para servicios que no requieren valores de QoS estrictos. La data es enviada cuando los recursos están disponibles y no son requeridos por otro servicio.
- El servicio extendido de polling en tiempo real: Un nuevo servicio agendado introducido en el estándar IEEE 802.16e, es la combinación perfecta entre UGS y polling en tiempo real, el cual permite periódicamente colocaciones particulares en Uplink a las estaciones suscriptoras para transmisiones de datos o requerimientos de ancho de banda. Esta característica permite acomodar los servicios de datos cuyos anchos de banda varían en el tiempo.³⁶

2.3.1.4.1 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 está caracterizado por un conjunto de parámetros QoS como la latencia, jitter, tasas de transmisión al aire (throughput), entre otros.

2.3.1.5 Proceso de handoff

En WiMAX, como en cualquier otra red celular, el proceso de handoff requiere soporte de las capas 1, 2 y 3 de la red. Aunque la última decisión para el handoff la determina la capa 3, las capas MAC y la PHY juegan un papel

³⁶ Ibid, idem. P.318

importante al enviar la información y activa la ejecución de la movilidad por la capa 3.

Para estar alerta a los cambios en el ambiente de RF, la estación base monitorea y mide las condiciones de radio de las otras estaciones base a través de los terminales. Este proceso se denomina scanning y el tiempo que se toma cada terminal en medir es el scanning interval. Cada scanning interval es seguido por un intervalo de operación normal, referido al interleaving interval. Para empezar el proceso de scanning la estación base manda un mensaje MOB_SCN_REQ, que especifica al terminal la longitud de cada scanning interval, la longitud del interleaving interval y el número de eventos de scanning que requiere ejecutar.

Para reducir el número de mensajes de respuesta desde la estación suscriptora, la estación base puede decirle directamente a la estación suscriptora que realice un escaneo múltiple de eventos. La identidad de las estaciones base vecinas y las frecuencias que la estación suscriptora requieren para escanear los da el mensaje MOB_NBR-ADV que es enviado sobre el canal de broadcast.

En resumen 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 de 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 de HO: Un handover comienza con la decisión por parte de la estación móvil de migrar a 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 HO a través de los mensajes MOB_MSHO-REQ .
- 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_NRB-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 Initial 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 requiere migrar puede realizar una solicitud a la estación base inicial para recepción de la información por parte 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 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).³⁷

³⁷ Ibid, idem. P.329

DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y SOCIO-
ECONÓMICAS DE LIMA

3.1 Información socio-económica de Lima

En el presente capítulo se presentará la información socio-económica más saltante de Lima. Esto apoyará la decisión del proyecto de tesis presentado y demostrará lo eficaz que sería una red de WiMAX móvil de dicha magnitud.

3.1.1 Datos Generales

Lima, capital del Perú, es la ciudad con mayor panorama de crecimiento en todo el país, con una economía muy dinámica que se basa en distintos sectores, con un crecimiento demográfico impresionante y con grandes capacidades tecnológicas que abran paso a nuevos rumbos en el país.

Con una altura de 101 m.s.n.m, Lima está ubicada en la costa central del Perú, en las orillas del océano pacífico con una extensión de arena y mar de casi 130 Km y se extiende en los valles de los ríos Chillón, Lurin y Rimac; fundada en 1535, fue la capital del virreynato durante el régimen español, en la actualidad la ciudad de Lima

cuenta con aproximadamente 9 millones de habitantes lo que representa el 30% de la población del Perú. Con un clima que varía entre los 11 grados en invierno y los 28 en verano, convierte a esta ciudad en una de las pocas con esta diversidad de clima permitiendo una estadia agradable.

Lima fue escenario de importantes fenómenos culturales como la época pre-hispánica con su cultura Lima y cultura Maranga los cuales dejaron legados increíbles como la ciudadela de Pachacamac y los santuarios de Lati, siendo estos conquistados por la cultura Wari para luego formar parte del gran imperio incaico. Siguiendo con los escenarios culturales Lima llegó a la época colonial con la llegada de los españoles quienes conquistaron a los incas, pasando luego por la época republicana con la proclamación de la independencia el 28 de Julio de 1821 por Don José de San Martín y finalmente llegamos a la actualidad del país el cual se encuentra en un

apogeo económico y social con la realización de Cumbres que solo se dan en países con grandes potenciales de desarrollo.¹

3.1.2 El Área Metropolitana de Lima

El área de Lima ocupa un extenso territorio que comprende 49 distritos, para los cuales se diseñará la red WiMAX expresada en el proyecto de tesis, además de eso, se dividen en 4 conos siendo el Norte y el Sur los más importantes, donde la actividad económica se desarrolla con mayor intensidad.

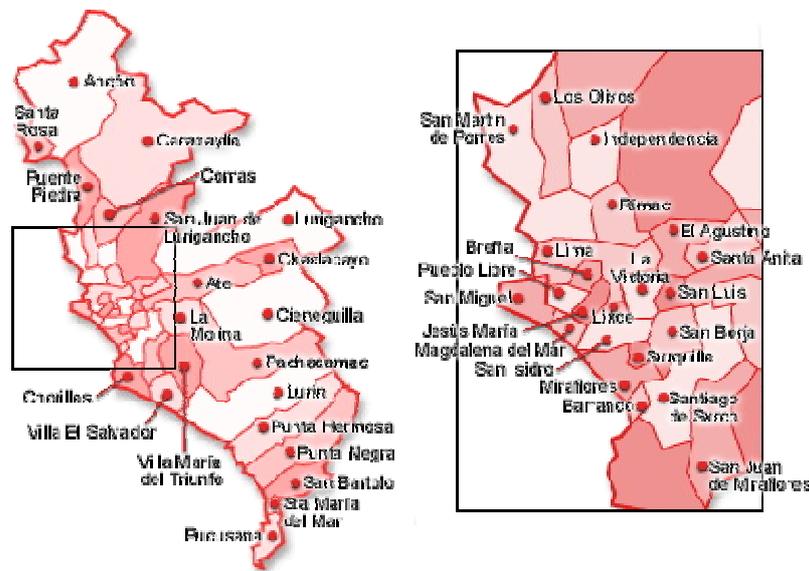


Figura 3.1 Lima Metropolitana

¹ WIKIPEDIA, Lima, 2009 (vi: 20 de Julio del 2009) <http://es.wikipedia.org/wiki/Lima>

Para efectos del diseño la presenta Tesis se han tomado como distritos de Lima a: San Martín de Porres, Los Olivos, Independencia, San Juan de Lurigancho, Rimac, Ate, La Molina, Chorrillos, El Agustino, Santa Anita, San Luis, San Borja, Santiago de Surco, Surquillo, San Juan de Miraflores, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena, Jesús María, Lince, La Victoria, San Miguel, Pueblo Libre, Breña, Ancón, Santa Rosa, Puente Piedra, Cercado de Lima, etc. Hasta llegar a Asia y balnearios.²

3.1.1 Crecimiento Urbano

La ciudad de Lima, al ser la capital del Perú es una ciudad la cual evoluciona muy rápido y muestra hoy en día un crecimiento a pasos grandes, con la exportación, el avance tecnológico y todos los cambios económicos que se vislumbran en el mundo. El crecimiento urbano se da gracias al desarrollo que ha tenido el país en los últimos 5 años. La solidez de la economía fue un factor determinante en el incremento de la población dándose con mayor énfasis en el cono norte provocado por las migraciones de personas de otras provincias del país.

² MUNICIPALIDAD DE LIMA, Lima, 2009 (vi: 2 de Agosto del 2009)
<http://www.munlima.gob.pe/Contenidos/Servicios.aspx>

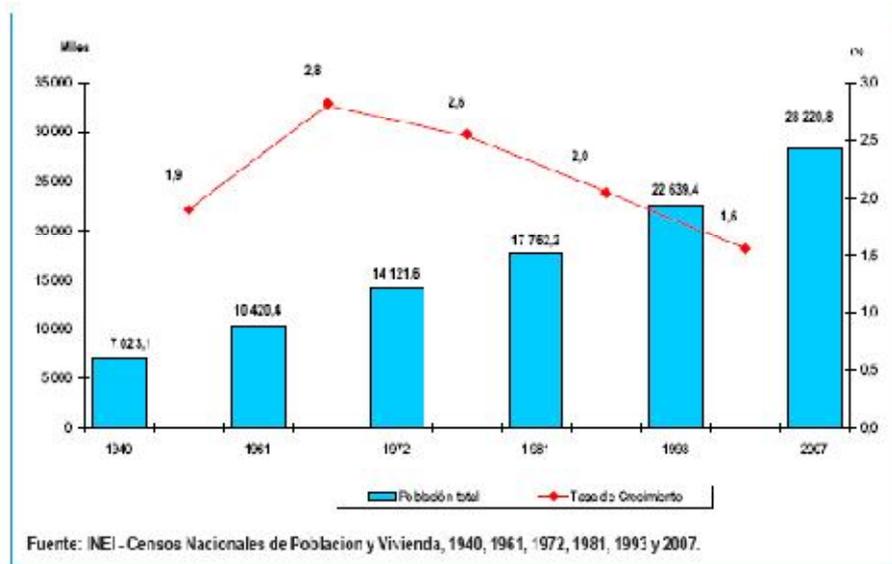


Figura 3.2 Tasa de crecimiento V.S. población total

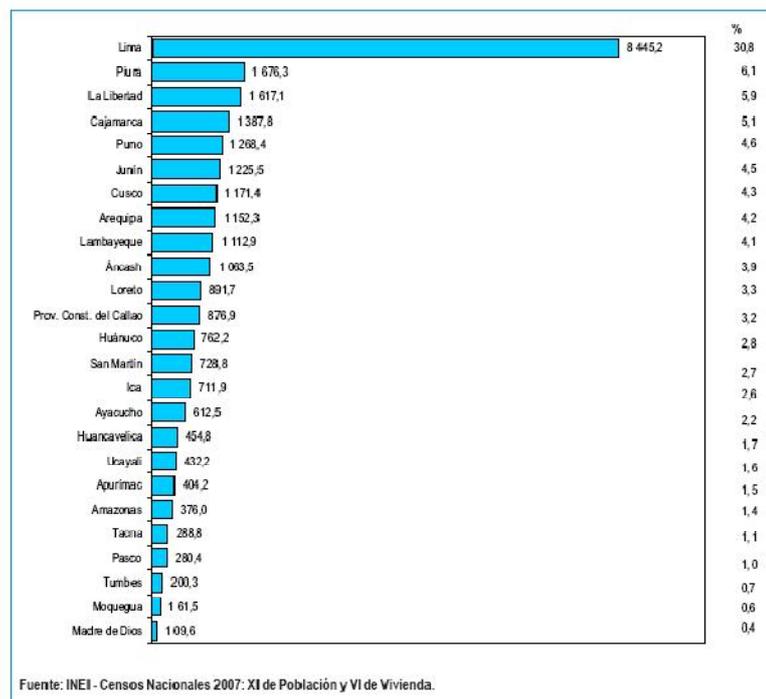


Figura 3.3 Crecimiento poblacional al censo 2007

3.2 Situación de las Telecomunicaciones en Lima

Hemos visto hasta ahora la información socio-económica más relevante de la ciudad de Lima, la misma que fija así ciertos parámetros que servirán de base para el estudio de factibilidad del proyecto que se realizará en capítulos posteriores.

Como todo proyecto en telecomunicaciones, es necesario estar enterados de la situación actual de los servicios de telecomunicaciones que se ofrecen en la localidad donde se pretende emprender el proyecto. Por tal motivo se presenta a continuación una perspectiva de la situación actual del mercado de las telecomunicaciones en Lima con especial enfoque en la comunicaciones fijas y móviles.

3.2.1 Telefonía Fija

Telefónica del Perú, Americatel Perú y Telmex Perú son las empresas de telecomunicaciones que actualmente brindan los servicios de telefonía fija en Lima, sin embargo Telefónica del Perú es la única autorizada y con la infraestructura para dar líneas fijas con cobre.

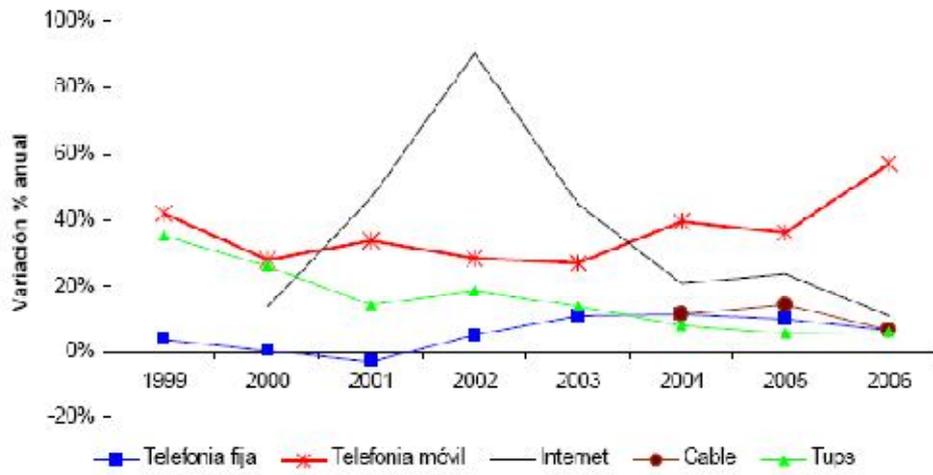


Figura 3.4 Crecimiento del mercado de telecomunicaciones

AÑO	FIJA	
	LÍNEAS EN SERVICIO (1)	DENSIDAD TELEFÓNICA (2)
1993	664,989	2.9
1994	759,191	3.2
1995	1,088,176	4.5
1996	1,332,356	5.5
1997	1,537,341	6.2
1998	1,553,874	6.1
1999	1,609,884	6.3
2000	1,617,582	6.2
2001	1,570,956	5.9
2002	1,656,624	6.1
2003	1,839,165	6.7
2004	2,049,822	7.4
2005	2,250,922	8.3
2006	2,400,604	8.7
2007	2,673,352	9.6
2008 */	2,736,785	9.8

Tabla 3.1 Penetración de líneas fijas en Lima

La tabla anterior muestra valores por cada 100 habitantes y una densidad de 9.8 líneas por cada 100 habitantes, pero como es posible que del 2007 al primer trimestre del 2008 solo hayan aumentado 0.2 líneas y más aún cabe cuestionarse por qué si en las gráficas anteriores se mostró que la ciudad de Lima alberga 8 millones de habitantes, existen sólo casi 3 millones de líneas. Sin embargo lo anterior responde a un tema de infraestructura de telecomunicaciones, pero la solución a este tipo de problemas se pudo encontrar con la telefonía móvil, la cual permitió a mas empresas operadoras por extender su cobertura a los rincones donde la telefonía fija no llega.

3.2.2 Telefonía Móvil

La información recolectada con respecto a los servicios de telefonía móvil nos dará una mejor visión de nuestro mercado meta. Las empresas de telecomunicaciones que brindan el servicio de telefonía móvil en Lima Metropolitana se presentan en la tabla a continuación.

AÑO	TOTAL A/	TELEFÓNICA MÓVILES S.A. 1/	COMUNICACIONES MÓVILES DEL PERÚ (antes Bellsouth) 1/	NEXTEL PERÚ S.A.	AMÉRICA MÓVIL PERÚ
1993	36,000	21,000	15,000	0	0
1994	52,000	30,000	22,000	0	0
1995	75,397	43,397	32,000	0	0
1996	201,895	130,895	71,000	0	0
1997	435,706	319,706	116,000	0	0
1998	736,294	504,995	230,796	503	0
1999	1,045,710	712,117	314,107	19,486	0
2000	1,339,667	898,173	373,091	68,403	0
2001	1,793,284	1,087,152	430,282	110,248	165,602
2002	2,306,943	1,239,056	550,162	129,780	387,945
2003	2,930,343	1,506,637	650,617	146,971	626,118
2004	4,092,558	2,124,776	680,493	184,895	1,102,394
2005	5,583,356		3,383,835	249,475	1,950,046
2006	8,772,154		5,058,497	345,029	3,368,628
2007	15,417,247		9,436,371	472,688	5,508,188
2008 */	18,233,529		11,280,018	561,575	6,391,936

Tabla 3.2 Líneas en servicio de telefonía móvil en el Perú

Como se puede observar en la tabla anterior, Telefónica Móviles, Nextel del Perú y America Móvil S.A.C (Claro) tienen presencia en Lima, la cual es el nicho de mercado de estas grandes empresas. Es decir, el futuro mercado a atender ya se encuentra familiarizado con las tecnologías que ofrecen estos operadores, por lo que el despliegue de una red WiMAX móvil no debería presentar mayores problemas.

De modo que los resultados de las tablas aseguran el futuro de las comunicaciones móviles a comparación de las líneas fijas por lo que se justifica el proyecto de tesis.

3.2.3 Servicio de Internet

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: El FTP, buscadores WEB, E-mail, bajadores de música, Skype, programas de chat, juegos en línea, VoIP, entre otros. El siguiente cuadro nos muestra la modalidad de acceso que ciertos operadores proveen, además de la participación en el mercado local

Modalidad de acceso	Empresas	Participación
ADSL	Telefónica del Peru	99.99%
Accesos via WAP	Nextel	66.50%
	Telefónica Móviles	33.50%
Accesos Conmutados	Telefónica del Peru	73.10%
	Qnet	8.60%
	Americatel	7.70%
Cable Modem	Telefónica Multimedia	66.80%
	Star Global	31.70%
Accesos por líneas dedicadas		
<i>Alámbricas</i>	Telefónica del Peru	38.40%
	Telmex	31.10%
<i>Inalámbricas</i>	Millicom	39.60%
	Gilat to Home	35%

Tabla 3.3 Participación en el mercado local según modalidad de acceso

Actualmente en Lima se vive una revolución en cuanto al acceso de internet, con la llegada de la banda ancha, el aDSL, y el internet inalámbrico se han convertido en algo necesario en todos los ambitos del desenvolvimiento de

nuestra sociedad, es por ello que con la implementación de una red de WiMAX móvil, se logrará aun más cosas con la banda ancha, se podrá incluir servicios que antes no se daban con las empresas operadoras actuales, se puede incluir el concepto de IPTV que ya se está implementando en otros países, mayor calidad de servicio con una mejor optimización del ancho de banda y finalmente poder llevar este servicio no solo a Lima Metropolitana, sino también poder replicarlo en las provincias de Lima, en proyectos sociales, en colegios y en zonas donde el acceso de la información es un privilegio del cual todos tenemos derecho a gozar.

3.2.4 Televisión por Cable

En la tabla 3.4 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 como convergen todos estos servicios en una sola red. La respuesta es en el protocolo TCP/IP que junto de la mano de una red WiMAX basada en una transmisión ALL-IP lograrán que los costos bajen, que la operabilidad de la red sea más confiable, que los servicios que antes eran limitados ahora se descubran más que todo el mundo se pueda resumir a un solo dispositivo electrónico capaz de brindar entretenimiento, seguridad, comunicación e información en todo instante, es sólo cuestión de imaginarlo.

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	22,525
LA LIBERTAD	18,858	24,741	25,996
CUSCO	10,179	14,112	14,112
LAMBAYEQUE	3,565	15,311	15,735
ANCASH	6,466	8,146	8,146
OTROS **/	10,207	17,942	23,660

Tabla 3.4 Usuarios de TV por región

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA Y DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS A
BRINDAR.

**4.1 Analisis de la demanda de servicios de banda ancha en Lima
Metropolitana**

A medida que han transcurrido los años la demanda de mayor capacidad para la transmisión de datos y menores costos para la transmisión de voz ha ido incrementando, dando lugar a que los operadores busquen nuevas tecnologías para incrementar sus capacidades y disminuir sus costos.

Es así que, hoy en día con la llegada de las redes de 3G con UMTS/CDMA, unos brindan acceso a datos con una tasa de transmisión promedio en HSDPA/DO de 3Mbps, cubriendo las necesidades de la población, pero viendo a futuro un rápido crecimiento agotando los recursos de transmisión del operador y limitando la funcionalidad y escalabilidad de la red para mantener las expectativas de los consumidores.

Por estos motivos las redes de tipo WiMAX se vuelven una alternativa muy interesante para cumplir con las demandas de capacidades a futuro de los consumidores ya que en estos momentos se pueden tener hasta 75Mbps de rendimiento.

El rápido despliegue de estas redes y su bajo costo de implementación se presenta como una gran alternativa para una inversión en el campo de la telefonía móvil de banda ancha, con servicios de valor agregado con altas capacidades de transmisión de datos. Llegando así a la conclusión que no solamente será accesible para un mercado principalmente corporativo que exige grandes capacidades sino también será accesible para todo tipo de consumidor del mercado actual.

4.2 Definición del Mercado Meta

Lima como capital del país es la puerta principal para nuevas tecnologías de la información, por lo que con la llegada de éstas será posible replicar el éxito en otros mercados, léase las demás ciudades emergentes del país. Es por ello que el propósito de la tesis es demostrar la gran demanda que tiene hoy en día Lima Metropolitana por mayores anchos de banda en lo que se refiere a la

navegación de internet, mayores aplicaciones a nivel empresarial y menores costos de los servicios de datos.

En una vista hacia el futuro podemos ver que la limitación de las redes móviles de 3G es el ancho de banda, este recurso limitado por la misma tecnología y el recurso aire que se le otorga a las tecnologías emergentes acabaran por colapsar las redes de los operadores haciendola más cara, ante ello se nos presenta la posibilidad de usar WiMAX como una tecnología que le de soporte de ancho de banda exclusivamente para datos, mientras los operadores pasan la transición de migración a esta tecnología de 4G

Modalidad de Acceso		Tipo de Suscriptor				
		Residencial	Empresarial	Cabina Pública 1/.	Otros	Total
Dial - Up 2/.	RTB	46,027	95,830	0	0	141,857
	RDSI	44	1,764	0	0	1,808
	Servicio móvil 3/.	5,508,518	0	0	0	5,508,518
	TOTAL DIAL-UP	5,554,589	97,594	0	0	5,652,183
Líneas Dedicadas Alámbricas	BW <= 64 kbps	0	88	11	18	117
	64 < BW <= 128 kbps	30	227	21	37	315
	128 < BW <= 256 kbps	1	299	41	33	374
	256 < BW <= 512 kbps	1	709	17	48	775
	512 < BW <= 1024 kbps	3	746	48	17	814
	1024 < BW <= 2048 kbps	3	519	65	119	706
	BW > 2048 kbps	0	187	0	33	220
	TOTAL ALÁMBRICOS	38	2,775	203	305	3,321
Líneas Dedicadas Inalámbricas	BW <= 64 kbps	0	66	1	511	578
	64 < BW <= 128 kbps	1	745	14	25	785
	128 < BW <= 256 kbps	75	1,157	40	112	1,384
	256 < BW <= 512 kbps	574	2,543	23	22	3,162
	512 < BW <= 1024 kbps	242	2,893	4	2	3,141
	1024 < BW <= 2048 kbps	6	195	0	0	201
	BW > 2048 kbps	0	16	0	2	18
	TOTAL INALÁMBRICOS	898	7,615	82	674	9,269
Otras Tecnologías	ADSL	479,012	33,767	52,223 4/.	0	565,007
	ADSL: 128/64 kbps	172,891	13	0	0	172,904
	ADSL: 256/128 kbps	228,864	138	0	0	229,002
	ADSL: 512/128 kbps	77,257	33,605	52,144	0	163,006
	ADSL: 2048/300 kbps	0	16	79	0	95
	Cablemódem	10,320	793	1	0	11,114
	WAP	1,018,822	224,691	0	0	1,243,513
	Otros <Paquet Data, IS-95B, Ethernet>	2,195,646	29,703	0	117	2,225,466
TOTAL OTRAS TECNOLOGÍAS	3,703,800	288,959	52,224	117	4,045,100	

Tabla 4.1 Usuarios de internet en Lima Metropolitana

La tabla 4.1 nos muestra los distintos indicadores de uso de internet hasta Diciembre del 2007, esto nos ayudará a elaborar nuestro cuadro del mercado meta. En principio se ejecutará el proyecto dividido en 5 años, siendo el primer año un despliegue en Lima Metropolitana a nivel de los 26 distritos ya mencionados, seguido por el segundo y tercer año donde se completará el despliegue de la red para todo Lima, quedando 2 años para completar el

diseño con pequeñas estaciones que permitan mejorar el nivel de señal, o en caso extremo que permitan aumentar capacidad cuando las dos portadoras no sean suficiente. Pero como se indica es una caso extremo ya que para el diseño de la red se contempla la cobertura al 100%

Usuarios Tentativos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Usuarios	50.000	150.000	225.000	337.500	506.250

Tabla 4.2 Mercado Meta

4.2.1 Evaluación de los servicios a ofrecer y sus expectativas

Hoy en día se vive a nivel mundial un auge en las comunicaciones móviles de banda ancha con UMTS/CDMA 2000 1x, con lo que se cubren las necesidades de comunicación de la población, pero en los años venideros se puede apreciar que la tendencia de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha son las que triunfarán en este mercado competitivo, con VoIP que no tendrá costo alguno y con tasas de transmisión muy grandes que satisfacen las necesidades de información a todo nivel, así como los nuevos aplicativos que convergen a una sola plataforma basado en el protocolo TCP/IP el cual permite un despliegue rapido de infraestructura asi como bajos costos.

Dentro de los servicios a ofrecer, como la demanda de la población lo exige, se brindará el acceso a internet con el lanzamiento de paquetes que permitan rentar el servicio con distintas capacidades de transmisión.

Con el crecimiento de las ventas se incluirá un paquete básico, el cual permita la comunicación gratuita entre teléfonos WiMAX de la misma red que soporten VoIP, ya que entre otros operadores y teléfonos fijos tendrán un recargo mensual; con la inclusión de este paquete se podrá apreciar que el interés por los usuarios de pagar por llamar se verá disminuido, lo cual creará un ambiente de competencia en el mercado de los operadores locales, obligándolos a reducir tarifas y seguir al paso con el avance tecnológico.

tecnológico.

Lo más novedoso, sin duda alguna, será las soluciones de valor agregado que se le de a las empresas; con la oficina móvil para aquellas persona que por razones del mismo trabajo no están ubicados en la oficina pero necesitan estar al tanto de lo que pasa; la video conferencia inclusive en movilidad, sólo por mencionar algunas que ya se brindan actualmente.

El impulso de la tesis por brindar una alternativa de negocio que sirva para el bienestar del país es que se ha incluido en el último año de desarrollo de este proyecto, como manera opcional, un plan piloto para la transmisión de IPTV en conjunto con alguna empresa radiodifusora o algún medio de comunicación gubernamental que se vea interesado en el tema. La solución comprendería de una conexión entre la etapa de transmisión digital de la señal de televisión convertida mediante un MGW (media gateway) hacia la transmisión via WiMAX hacia los usuarios que cuenten con el servicio activo.

Dentro de las expectativas que se tendrán por parte de los usuarios se podrá esperar que demanden un servicio sin restricciones técnicas, de fácil uso, que

no sea limitante en costos y permita evolucionar a nuevas aplicaciones según sus requerimientos y avances tecnológicos.

Con nuestros planes se podrá observar un rápido incremento de usuarios, ya que el recurso y los servicios ofrecidos serán competitivos con el mercado actual así como también aplicativos útiles y personalizados para cada perfil de usuario.

Planes de servicio	Velocidad
Internet A	1 Mbps
Internet B	2 Mbps
Voz	N/A
Voz + Internet A	1 Mbps
Voz + Internet B	2 Mbps

Tabla 4.3 Servicios a ofrecer

4.3 Planes Tarifarios

Dentro de los planes tarifarios a presentar en la tabla 4.4 se tuvo que armar en conjunto con la experiencia comercial de uno de los graduados para estar acorde al mercado local de la telecomunicaciones, mucho de esto depende también del enfoque comercial que el operador o ejecutor del proyecto quiera darle, ya que si se hace una campaña comercial agresiva la cual de a conocer todas las ventajas de la banda ancha en comparación con otros proveedores de los mismos servicios.

Planes de servicio	Velocidad	Costos (USD)
Internet A	1 Mbps	40
Internet B	2 Mbps	70
Voz	N/A	20
Voz + Internet A	1 Mbps	50
Voz + Internet B	2 Mbps	80

Tabla 4.4 Costo del servicio

4.4 Estimación de planes tarifarios por año

En la tabla 4.5 se presenta el cálculo estimado de los posibles servicios que los usuarios adquieran a lo largo del tiempo, ya que esto es variable y se adecúa a una expectativa comercial no real. No se pretende con esto tomar un modelo para garantizar las ganancias de la red.

Usuarios Tentativos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Usuarios	50000	150000	225000	337500	506250
Planes de servicio (%)					
Internet A	45%	55%	13%	7%	3%
Internet B	25%	38%	40%	50%	52%
Voz	15%	17%	17%	5%	2%
Voz + Internet A	10%	13%	20%	25%	30%
Voz + Internet B	5%	7%	10%	12%	13%
Costo usuario	50,000	195000	225000	334125	506250

Tabla 4.5 Costo del servicio por año

DISEÑO DE INGENIERIA DE LA RED WIMAX MOVIL.

5.1 Arquitectura de la red WiMAX

Con el mercado meta establecido para la ciudad de Lima se procede al diseño de la red de WiMAX móvil que soporte la demanda establecida en el capítulo anterior la cual se adecua a la demanda de telecomunicaciones actuales.

Para el diseño de la red se fija primero el lugar donde se implementará toda la red, a continuación se presenta la zona a cubrir para el propósito de esta tesis.

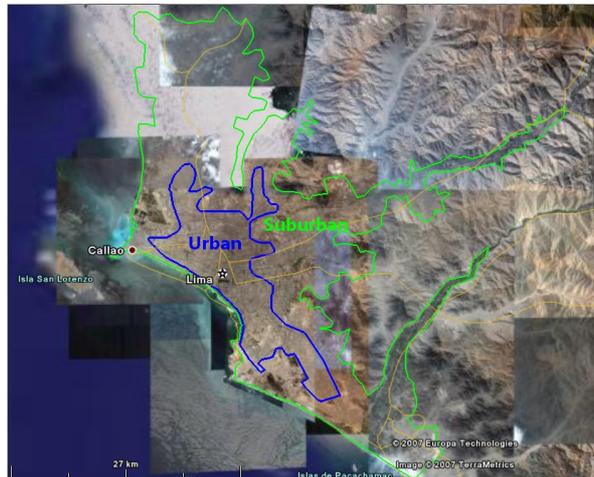


Figura 5.1 Cobertura de Lima

Dentro del diseño se ha considerado también la colocación de una oficina MSO (Mobile Switching Office), la cuál tendrá a su cargo la gestión de la red en un ambiente denominado NOC (Network Operation Center), en ella se podrá acceder a todo lo referente a la red, desempeño de la misma, alarmas existentes y control total sobre cualquier problema que no requiera estar en sitio. Dentro del MSO se encontrará la sala de equipos la cual albergará al ASN (Access Service Network) Gateway y al CSN (Connectivity Service Network) donde se hará la conmutación a otras redes celulares, a la PSTN y a internet.

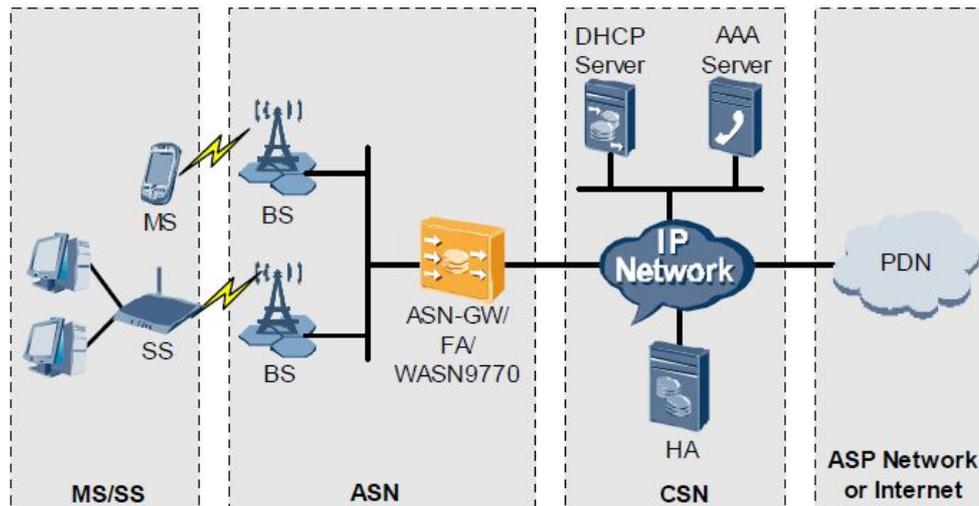


Figura 5.2 Arquitectura de la red WiMAX

La arquitectura de la red WiMAX, como se muestra en la figura 5.2, consta del acceso a la red por parte de los móviles mediante las estaciones base (BTS), las cuales se comunicarán mediante radios microondas al MSO; donde llegarán a un concentrador de radio el cual llevará todo el tráfico entrante a la ASN-GW, la misma que se comunicará con la CSN para derivar el tráfico entrante hacia internet o hacia otras redes celulares y fijas.

5.2 Dimensionamiento de Tráfico

La red será dimensionada para soportar a los usuarios en la hora pico (Busy Hour). Por tal motivo, lo primero que será necesario realizar es una estimación en base a estudios de mercado obtenidos del proyecto de tesis y de la experiencia del mercado local conocido por los graduandos de cuantos de estos usuarios estarán conectados al mismo tiempo en el Busy Hour.

Para tal efecto en la tabla 5.1 se muestra para empezar la tabla de cobertura con la zona a dar servicio, que ya la conocemos, el área en kilómetros cuadrados a cubrir y la población para brindar dicho servicio.

Zona a cubrir	Area (Km ²)	Población
Lima & Callao	2820	8.482.642

Tabla 5.1 Tabla de cobertura

A continuación se presenta la tabla 5.2 la cual tendrá como objetivo el servicio a brindar para dicha cobertura, en ella se plantea los servicios de internet por velocidad de bajada.

Planes de servicio	Velocidad	% de usuarios
A	1 Mbps	80%
B	2 Mbps	20%

Tabla 5.2 Tabla de servicios a ofrecer

Como se mencionó en capítulos anteriores el proyecto consta de 5 años de ampliación para lo cual se tiene un mercado tentativo presentado en la tabla 5.3, el cual nos ayudará a crear el dimensionamiento final para la realización del diseño de RF.

Usuarios Tentativos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Usuarios	50.000	150.000	225.000	337.500	506.250

Tabla 5.3 Proyección de usuarios

Además de la información mostrada se debe tener en consideración para el dimensionamiento ciertos parámetros muy conocidos en las telecomunicaciones, de las cuales por experiencia laboral de los graduandos se considerarán como **constantes**.

- **Average Call Duration Time in Busy Hour: 120s**
- **VoIP Coding Mode: G.729A**
- **Average Throughput per call: 48 Kbps**
- **DL/UL Ratio: 4:1**
- **Duty Ratio for Internet User in Busy Hour: 10%**
- **Overbooking for Internet User in Busy Hour: 20**

Con los datos antes mostrados:

$$VoIP = \frac{Calltime \sin BH \times AveragecalldurationenBH \times Averagepercall}{3600s}$$

$$BHCA = On_{net} + Off_{net}$$

Se llega a la tabla 5.4 que contiene finalmente el dimensionamiento para un lapso de 5 años de la cantidad de datos que tendrá que soportar la red a diseñar.

Zona	Población	VoIP	BHCA	On Net	Off Net	VoIP port	E1 TDM	Remark
Lima & Callao	8.483.000	40.718	3.257	1.140	2.117	570	68	Año 1
	8.483.000	81.437	6.515	2.280	4.235	1.140	137	Año 2
	8.483.000	122.155	9.772	3.420	6.352	1.710	205	Año 3
	8.483.000	142.514	11.401	3.990	7.411	1.995	239	Año 4
	8.483.000	122.155	9.772	3.420	6.352	1.710	205	Año 5

Tabla 5.4 Modelo de tráfico a soportar por la red

5.3 Diseño de RF

5.3.1 Planeamiento de Frecuencia

De acuerdo a lo establecido en el plan nacional de atribución de frecuencias (PNAF), la banda comprendida entre los 2300 y 2400 MHz está atribuida a título primario para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso móviles y fijo-inalámbricos. Para el caso de este proyecto de tesis se estará tomando el rango de frecuencias mostrado en la tabla 5.5.

Información del Sistema	
Banda de Frecuencia (MHz)	2330-2358
Ancho de Banda del canal (MHz)	5
Configuración de la celda	S111
Modo de permutación	PUSC con todo SC 1*3*5 5MHz
Duplex	TDD

Tabla 5.5 información del sistema

Asumiendo la concesión de la banda de frecuencia de los 2300 MHz se podría manejar canales de 5 MHz ó 10 MHz sin tener que cambiar el diseño de RF. Sin embargo, al tratarse de una red que no requiere tanta a capacidad en sus inicios de puesta en marcha se optará por una canalización de 5 MHz. Queda a opción del cliente u operadora el poder aumentar a 10 MHz a discreción.

5.3.1.1 Canalización

Como se muestra en la tabla 5.5 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.

Como se explicó anteriormente, se utilizarán canales de 5 MHz lo cual permite, en la banda de frecuencia a trabajar, hasta 5 canales disponibles para el planeamiento de frecuencia. Si bien las capacidades de las estaciones base se pueden incrementar fácilmente cambiando el ancho de banda del canal o agregando más portadoras no será necesario para este proyecto ya que la red posteriormente se optimizará logrando su máximo desempeño atendiendo los requerimientos de tráfico dimensionado.

En la tabla 5.5 se hace referencia al modo de permutación PUSC con Single Carrier (1, 3 o 5) subportadoras de 5 MHz cada una. Para este proyecto se usarán 5 subportadoras que podrán ser utilizadas por cada sector de las estaciones base, este modo de permutación se usará tanto en el Uplink como en el Downlink.

En la tabla 5.6 se muestra las frecuencias para dicha permutación.

ID de Frecuencia	Recurso de frecuencia
Banda de guarda	2330-2331.5
F1	2331.5-2336.5
F2	2336.5-2341.5
F3	2341.5-2346.5
F4	2346.5-2356.5
F5	2351.5-2356.5
Banda de guarda	2356.5-2358

Tabla 5.6 Frecuencias de subportadoras

Cada una de esas subportadoras será representada en la figura 5.3



Figura 5.3: Estructura de Subportadoras OFDMA

5.3.2 Diseño por Cobertura

Dentro del diseño de la red se debe cumplir los requerimientos establecidos tanto en cobertura como en capacidad. Para lograr dicha cobertura se debe tener en cuenta la zona a cubrir, en la tabla 5.1 se muestra a Lima en kilómetros cuadrados, lo cual nos permitirá dimensionar la red para cubrir el 100% de lo requerido.

5.3.2.1 Link Budget

Es la representación matemática de la propagación de la señal, desde la estación base hasta el móvil, ello representa todas la pérdidas

comprendidas en el trayecto y parámetros que envuelven este concepto, así como también el hallar la máxima pérdida permitida para Uplink como Downlink y lo más importante el radio de cobertura de la celda.

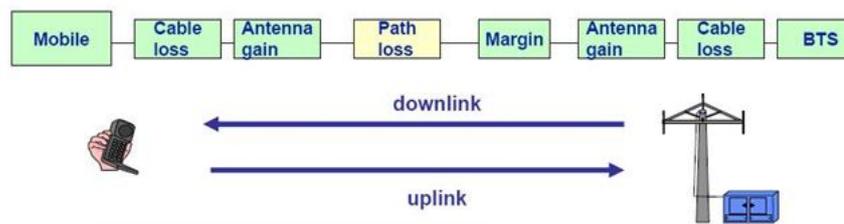


Figura 5.4: Estructura de Link Budget

Dentro de los parámetros asumidos por la industria de las telecomunicaciones y por la experiencia de los graduados tenemos que:

- **BS Antenna Height:** 30m zona urbana
- **Std.Dev.of slow fading:** 8dB
- **Morphology:** Dense Urban & Urban
- **Cable Loss + Connectro Loss:** 1.5dB
- **Subscriber station type:** Indoor CPE, USB modem (dongle)
- **Transmission Power:** BTS=40dBm, SS=23dBm (dongle), SS=27dBm (CPE)
- **Multiple Antenna Technology:** MIMO A&B 4T4R CDD
- **Antenna Gain:** 18dBi fot BTS in Dense Urban and Urban, 0dBi dongle, 6dBi CPE

5.3.2.1.1 Modelo de Propagación

El modelo de propagación, como su nombre, lo indica es un modelo matemático el cual refleja teóricamente la propagación de la onda de acuerdo a la morfología de la zona donde la red será desplegada. Para el caso de la tesis se usará el modelo de propagación de Okumura-Hata (conocido también como HATA MODEL), que es un modelo empírico, tomado de la práctica. De acuerdo a la frecuencia de propagación de la onda el modelo Hata tiene 2 tipos: El Hata que aplica para frecuencias desde 150 MHz hasta los 1500 MHz y el Hata (Cost-231) que aplica para frecuencias por encima del valor mostrado.

Para nuestro diseño se usará el COST-231 el cual se muestra efectiva para una altura de antena entre 30m a 200m y para una posición del móvil entre 1 y 10 mts.

A continuación se muestra la formula en mención:

$$MAPL = 46.3 + 33.9 \times \text{Log}(f) - 13.82 \times \log(Hbs) + (44.9 - 6.55 \times \log(Hbs)) \times \log(d) \\ - (1.1 \times \log(f) - 0.7) \times Hss + (1.56 \times \log(f) - 0.8) + Cm$$

Donde:

- *MAPL* : Maximum Allowed Propagation Loss
- *f* : Frequency Band
- *d* : distance from BS
- *Hbs* : Antenna Height of BS
- *Hss* : Antenna Height of SS
- *Cm* : Modification Factor (-3 for Dense Urban, -6 for Urban)

5.3.2.2 Parámetros de Link Budget

A continuación se presentarán las tablas que contienen los parámetros de diseño tanto para zona urbana como para zonas densamente urbanas, esto con la finalidad de saber los radios de cobertura de las estaciones base y como se comportan ante los distintos SS (dongle y CPE).

En resumen la tabla 5.7 muestra los radios de cobertura para las diferentes situaciones

	Coverage Radius (Km)		
Morphology	Indoor CPE	USB Dongle	Remark
Dense Urban	0.88	0.46	$R=POWER(10,((L-K)/B))$
Urban	1.3	0.68	$R=POWER(10,((L-K)/B))$

Tabla 5.7 Resumen de radios de cobertura

Parameters for Dense Urban Indoor USB dongle			Remark
Scenario	DL Traffic	UL Traffic	
Morphology	Dense Urban		
Channel Model	PB3		
Sectorization	3 sector		
Channel Bandwidth (MHz)	5		
NFFT	1024		
Edge Modulation Mode	QPSK 1/2	QPSK 1/2	
Antenna Configuration	MIMO - BF 4x2	1x4	
SS Type	USB Dongle		
SS Location	Indoor		
Permutation Zone	PUSC	PUSC	
Available Sub-Carriers	840	840	
Allocated Sub-Channels	30	3	
Number of Occupied Data Sub-Carriers	720	48	
Number of Occupied Sub-Carriers	840	72	
Max Edge PHY Bit Rate (Mbps)	4.18	0.17	
Tx	DL	UL	
Max TX Power Per Antenna (dBm)	40	23	
Number of Tx Antennas	4	1	b
Power Combining Gain (dB)	6.02	0	c
Power Offset of Pilot SC to Data SC (dB)	2.5	0	d
Pilot Power Boosting Gain (dB)	-0.46	0	e
Cable Loss (dB)	1.5	0	i
Antenna Gain (dBi)	18	0	f
EIRP (dBm)	62.06	23	a
Rx	DL	UL	
Antenna Gain(dBi)	0	18	h
Cable Loss (dB)	0	1.5	m
Body Loss (dB)	0	0	
Noise Figure (dB)	6.5	4	
Background Noise Level (dBm/Hz)	-174	-174	g
Sub-Carrier Spacing (kHz)	10.94	10.94	
Repetition Coding / Initial Ranging Symbols	1	1	
Repetition Code Gain (dB)	0	0	
CINR Required (dB)	-1.4	-0.7	
RX Sensitivity Per Sub-Carrier (dBm)	-128.51	-130.31	x
RX Sensitivity Compositod (dBm)	-99.27	-111.74	y
Minimum Signal Strength Required (dBm)	-99.27	-128.24	w
MAPL	DL	UL	
Indoor Loss (dB)	18		
Indoor Std. Dev. Of Slow Fading (dB)	8		n
Area Coverage Probability Requirement	90%		o
Indoor Edge Coverage Probability Requirement	75%		k
Slow Fading Margin (dB)	5.43		p=NORMINV(o,0,n)
Fast Fading Margin (dB)	2	2	
Interference Margin (dB)	2	1	l=10*log[1/(1-k)]
Total Margin (dB)	27.43	26.43	
System Gain (dB)	161.33	151.24	r=c+d+e+f
Maximum Allowed Path Loss (dB)	133.9	124.81	q=a+r-(l*z+m)-x-y+w-p
Cell Coverage	DL	UL	
SS Antenna Height (m)	1.5		
BS Antenna Height (m)	30		z
Carrier Frequency (MHz)	2300		
Propagation Model Used	Cost231-Hata		

Tabla 5.8 LB para DU con USB indoor

Indoor CPE Dense Urban			Remark
Scenario	DL Traffic	UL Traffic	
Morphology	Dense Urban		
Channel Model	PB3		
Sectorization	3 sector		
Channel Bandwidth (MHz)	5		
NFFT	1024		
Edge Modulation Mode	QPSK 1/2	QPSK 1/2	
Antenna Configuration	MIMO - BF 4x2	1x4	
SS Type	CPE		
SS Location	Indoor		
Permutation Zone	PUSC	PUSC	
Available Sub-Carriers	840	840	
Allocated Sub-Channels	30	3	
Number of Occupied Data Sub-Carriers	720	48	
Number of Occupied Sub-Carriers	840	72	
Max Edge PHY Bit Rate (Mbps)	4.18	0.17	
Tx	DL	UL	
Max TX Power Per Antenna (dBm)	40	27	
Number of Tx Antennas	4	1	b
Power Combining Gain (dB)	6.02	0	c
Power Offset of Pilot SC to Data SC (dB)	2.5	0	d
Pilot Power Boosting Gain (dB)	-0.46	0	e
Cable Loss (dB)	1.5	0	i
Antenna Gain (dBi)	18	0	f
EIRP (dBm)	62.06	33	a
Rx	DL	UL	
Antenna Gain(dBi)	6	18	h
Cable Loss (dB)	0	1.5	m
Body Loss (dB)	0	0	
Noise Figure (dB)	6.5	4	
Background Noise Level (dBm/Hz)	-174	-174	g
Sub-Carrier Spacing (kHz)	10.94	10.94	
Repetition Coding / Initial Ranging Symbols	1	1	
Repetition Code Gain (dB)	0	0	
CINR Required (dB)	-1.4	-0.7	
RX Sensitivity Per Sub-Carrier (dBm)	-128.51	-130.31	x
RX Sensitivity Composited (dBm)	-99.27	-111.74	y
Minimum Signal Strength Required (dBm)	-105.27	-128.24	w
MAPL	DL	UL	
Indoor Loss (dB)	18		
Indoor Std. Dev. Of Slow Fading (dB)	8		n
Area Coverage Probability Requirement	90%		o
Indoor Edge Coverage Probability Requirement	75%		k
Slow Fading Margin (dB)	5.43		p=NORMINV(o,0,n)
Fast Fading Margin (dB)	2	2	
Interference Margin (dB)	2	1	l=10*log[1/(1-k)]
Total Margin (dB)	27.43	26.43	
System Gain (dB)	167.33	161.24	r=c+d+e+f
Maximum Allowed Path Loss (dB)	139.9	134.81	q=a+r-(l*z+m)-x-y+w-p
Cell Coverage	DL	UL	
SS Antenna Height (m)	1.5		
BS Antenna Height (m)	30		z
Carrier Frequency (MHz)	2300		
Propagation Model Used	Cost231-Hata		

Tabla 5.9 LB para DU con CPE

Parameters for Urban Indoor USB dongle			Remark
Scenario	DL Traffic	UL Traffic	
Morphology	Urban		
Channel Model	PB3		
Sectorization	3 sector		
Channel Bandwidth (MHz)	5		
NFFT	1024		
Edge Modulation Mode	QPSK 1/2	QPSK 1/2	
Antenna Configuration	MIMO - BF 4x2	1x4	
SS Type	USB Dongle		
SS Location	Indoor		
Permutation Zone	PUSC	PUSC	
Available Sub-Carriers	840	840	
Allocated Sub-Channels	30	3	
Number of Occupied Data Sub-Carriers	720	48	
Number of Occupied Sub-Carriers	840	72	
Max Edge PHY Bit Rate (Mbps)	4.18	0.17	
Tx	DL	UL	
Max TX Power Per Antenna (dBm)	40	23	
Number of Tx Antennas	4	1	b
Power Combining Gain (dB)	6.02	0	c
Power Offset of Pilot SC to Data SC (dB)	2.5	0	d
Pilot Power Boosting Gain (dB)	-0.46	0	e
Cable Loss (dB)	1.5	0	i
Antenna Gain (dBi)	18	0	f
EIRP (dBm)	62.06	23	a
Rx	DL	UL	
Antenna Gain(dBi)	0	18	h
Cable Loss (dB)	0	1.5	m
Body Loss (dB)	0	0	
Noise Figure (dB)	6.5	4	
Background Noise Level (dBm/Hz)	-174	-174	g
Sub-Carrier Spacing (kHz)	10.94	10.94	
Repetition Coding / Initial Ranging Symbols	1	1	
Repetition Code Gain (dB)	0	0	
CINR Required (dB)	-1.4	-0.7	
RX Sensitivity Per Sub-Carrier (dBm)	-128.51	-130.31	x
RX Sensitivity Composited (dBm)	-99.27	-111.74	y
Minimum Signal Strength Required (dBm)	-99.27	-128.24	w
MAPL	DL	UL	
Indoor Loss (dB)	18		
Indoor Std. Dev. Of Slow Fading (dB)	8		n
Area Coverage Probability Requirement	90%		o
Indoor Edge Coverage Probability Requirement	75%		k
Slow Fading Margin (dB)	5.43		p=NORMINV(o,0,n)
Fast Fading Margin (dB)	2	2	
Interference Margin (dB)	2	1	l=10*log[1/(1-k)]
Total Margin (dB)	24.43	23.43	
System Gain (dB)	161.33	151.24	r=c+d+e+f
Maximum Allowed Path Loss (dB)	136.9	127.81	q=a+r-(l*z+m)-x-y+w-p
Cell Coverage	DL	UL	
SS Antenna Height (m)	1.5		
BS Antenna Height (m)	30		z
Carrier Frequency (MHz)	2300		
Propagation Model Used	Cost231-Hata		

Tabla 5.10 LB para UL con USB indoor

Indoor CPE Urban			Remark
Scenario	DL Traffic	UL Traffic	
Morphology	Urban		
Channel Model	PB3		
Sectorization	3 sector		
Channel Bandwidth (MHz)	5		
NFFT	1024		
Edge Modulation Mode	QPSK 1/2	QPSK 1/2	
Antenna Configuration	MIMO - BF 4x2	1x4	
SS Type	CPE		
SS Location	Indoor		
Permutation Zone	PUSC	PUSC	
Available Sub-Carriers	840	840	
Allocated Sub-Channels	30	3	
Number of Occupied Data Sub-Carriers	720	48	
Number of Occupied Sub-Carriers	840	72	
Max Edge PHY Bit Rate (Mbps)	4.18	0.17	
Tx	DL	UL	
Max TX Power Per Antenna (dBm)	40	27	
Number of Tx Antennas	4	1	b
Power Combining Gain (dB)	6.02	0	c
Power Offset of Pilot SC to Data SC (dB)	2.5	0	d
Pilot Power Boosting Gain (dB)	-0.46	0	e
Cable Loss (dB)	1.5	0	i
Antenna Gain (dBi)	18	0	f
EIRP (dBm)	62.06	33	a
Rx	DL	UL	
Antenna Gain(dBi)	6	18	h
Cable Loss (dB)	0	1.5	m
Body Loss (dB)	0	0	
Noise Figure (dB)	6.5	4	
Background Noise Level (dBm/Hz)	-174	-174	g
Sub-Carrier Spacing (kHz)	10.94	10.94	
Repetition Coding / Initial Ranging Symbols	1	1	
Repetition Code Gain (dB)	0	0	
CINR Required (dB)	-1.4	-0.7	
RX Sensitivity Per Sub-Carrier (dBm)	-128.51	-130.31	x
RX Sensitivity Composited (dBm)	-99.27	-111.74	y
Minimum Signal Strength Required (dBm)	-105.27	-128.24	w
MAPL	DL	UL	
Indoor Loss (dB)	15		
Indoor Std. Dev. Of Slow Fading (dB)	8		n
Area Coverage Probability Requirement	90%		o
Indoor Edge Coverage Probability Requirement	75%		k
Slow Fading Margin (dB)	5.43		p=NORMINV(o,0,n)
Fast Fading Margin (dB)	2	2	
Interference Margin (dB)	2	1	l=10*log[1/(1-k)]
Total Margin (dB)	24.43	23.43	
System Gain (dB)	167.33	161.24	r=c+d+e+f
Maximum Allowed Path Loss (dB)	142.9	137.81	q=a+r-(l*z+m)-x-y+w-p
Cell Coverage	DL	UL	
SS Antenna Height (m)	1.5		
BS Antenna Height (m)	30		z
Carrier Frequency (MHz)	2300		
Propagation Model Used	Cost231-Hata		

Tabla 5.11 LB para UL con CPE

5.3.3 Diseño por Capacidad

Como se mencionó con anterioridad, dentro del diseño de la red se debe cumplir los requerimientos establecidos tanto en cobertura como en capacidad. Para lograr que la capacidad de la red cumpla con los parámetros de modelado de tráfico se deberá tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{Throughput} = N_{data_subcarrier} \times \left(\frac{\text{information bits per symbol}}{\text{symbol period}} \right)$$

$$\text{Throughput} = N_{data_subcarrier} \times M_r \times C_r \times \left[\frac{(n \times B_w) / (1 + CP)}{N_{FFT}} \right]$$

Donde:

- N : number of data subscribers
- M_r : modulation ranks
- CP : Cyclic Prefix, the value is 1/8
- C_r : number of code ranks
- N_{FFT} : number of subcarriers
- n : sample rate, 28/25
- B_w : channel bandwidth

Con la fórmula mostrada se puede calcular el pico máximo para cada modo de modulación, con lo cual se podrá saber el pico promedio de consumo de ancho de banda, asumiendo que se trabaja con un canal de 5 MHz, PUSC en todas las portadoras, el tiempo de escala TDD es DL:UL=29:18, matriz A&B, estación base con configuración de antena 4T4R se obtendrá el siguiente resultado obtenido en la tabla 5.12

Throughput promedio por BTS		
	DL	UL
Throughput promedio por BTS (Mbps)	20.16	6.03

Tabla 5.12 promedio de Throughput

Considerando un total de 214 estaciones base para cubrir el 100% de la zona mencionada se tiene la tabla 5.13 que contiene el planeamiento final de capacidad por año.

Planeamiento de capacidad						
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Throughput promedio por BTS (Mbps)	DL	20.16	20.16	20.16	20.16	20.16
	UL	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03
Requerimiento total (Mbps)	DL	308.99	1226.96	2603.92	4660.38	7724.84
	UL	83.99	326.96	691.42	1229.13	2015.465
Total BTS		214				
Requerimiento total por BTS (Mbps)	DL	0.76	3.03	6.43	11.51	19.07
	UL	0.21	0.81	1.71	3.03	4.98

Tabla 5.13 Throughput final por año

Una vez obtenido el cálculo de throughput por BTS, se calcula lo necesario por servicio con la siguiente formula:

$$TotalThroughput = VoIP + int ernet$$

$$VoIP = \frac{Calltime \sin BH \times AVERAGEcalldurationtimeinBH \times averagepercall}{3600}$$

$$Internet = \frac{totalusaemumber \times activeratioinBH \times accessspead}{overbookingBH}$$

Con estas fórmulas se completa la tabla 5.14 y 5.15 las cuales muestran el Throughput calculado por año y por servicio a brindar tanto para Uplink como para Downlink

DL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
VoIP Throughput (Mbps)	8.99	1200	53.92	85.38	112.34
Internet Throughput (Mbps)	300	1200	2550	4575	7612.5
Total Throughput (Mbps)	308.99	1226.96	2603.92	4660.38	7724.84

Tabla 5.14 Throughput por servicio y por año en DL

UL	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
VoIP Throughput (Mbps)	8.99	1200	53.92	85.38	112.34
Internet Throughput (Mbps)	75	300	637.5	1143.75	1903.125
Total Throughput (Mbps)	83.99	326.96	691.42	1229.13	2015.465

Tabla 5.15 Throughput por servicio y por año en UL

5.3.4 Simulación

Luego de haber diseñado tanto por capacidad como por cobertura se tiene un resultado de 214 BTS que se deben instalar para cumplir con dicho diseño, estas deben contar con la configuración S111, que significa una portadora por sector (3 sectores) y con antenas MIMO tipo 4T4R que sean adaptativas y permitan el mejor desempeño RF. Bajo estas consideraciones se presenta a continuación el layout de los sitios a ser contemplados para la simulación.

En la Figura 5.5 y 5.6 se puede apreciar claramente la zona de cobertura de las 214 BTS, que abarcan desde el Norte pasando Ancón hasta Asi por el Sur pasando por Chosica .

En la Figura 5.7 y 5.8 se muestra la simulación en mención de las 214 BTS que forman parte del diseño, a tener en cuenta se debe tener en lo colores que salen en la simulación, el color azul demuestra una señal de -55dBm, la de color celeste demuestra una señal de -65dBm, la de color verde se demuestra una señal de -75dBm, la de color amarillo demuestra -85dBm y

la de color rojo demuestra -95dBm. Estas dos últimas son las que hay que evitar porque existe la posibilidad que no se concreten llamadas, o que la calidad de la señal de RF no sea la más óptima.

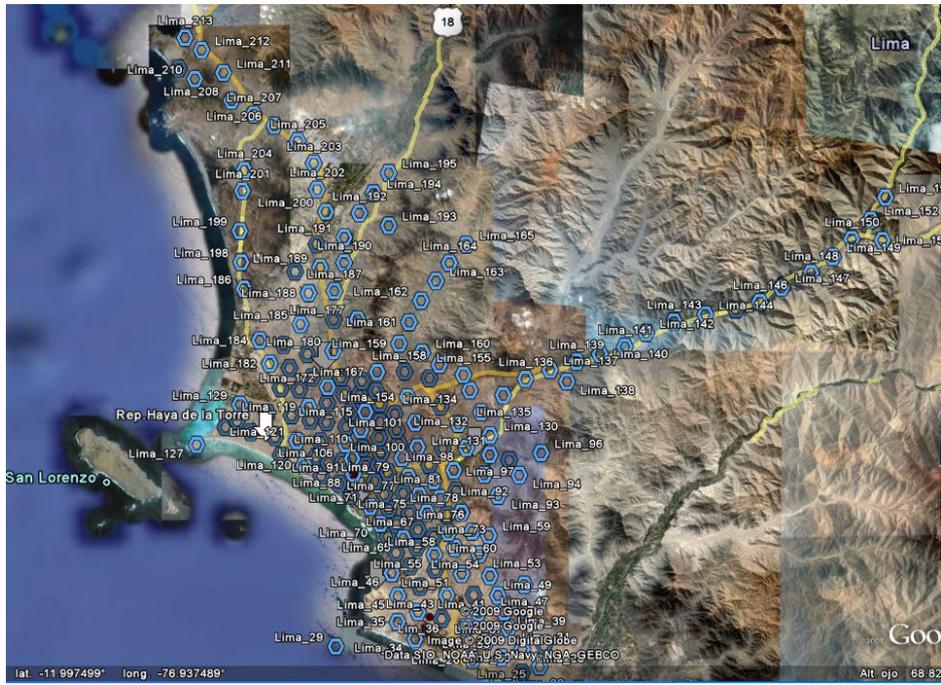


Figura 5.5 Layout 1 de BTS

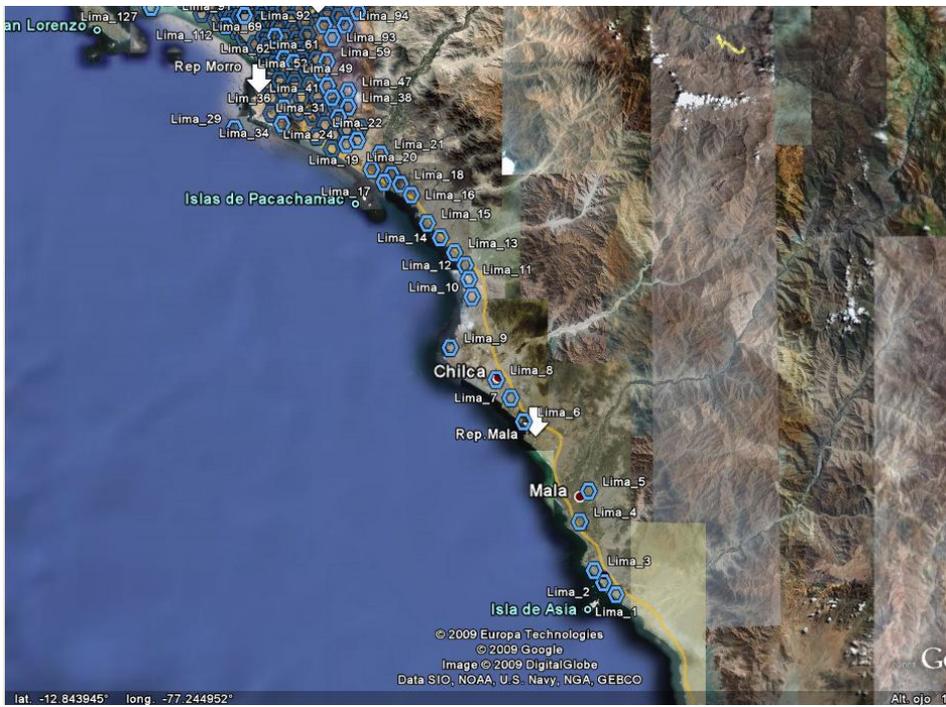


Figura 5.6 Layout 2 de BTS

Name	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Height(m)	Configuration	Region
Lima_1	-76.594962	-12.781045	[5]	30	S111	Lima
Lima_10	-76.770653	-12.422181	[132]	30	S111	Lima
Lima_100	-77.000016	-12.073873	[184]	30	S111	Lima
Lima_101	-77.001487	-12.056001	[206]	30	S111	Lima
Lima_102	-77.028174	-12.066769	[141]	30	S111	Lima
Lima_103	-77.038171	-12.087023	[111]	30	S111	Lima
Lima_104	-77.026811	-12.078502	[135]	30	S111	Lima
Lima_105	-77.057772	-12.100183	[74]	30	S111	Lima
Lima_106	-77.052755	-12.071379	[108]	30	S111	Lima
Lima_107	-77.040510	-12.074452	[120]	30	S111	Lima
Lima_108	-77.027612	-12.055539	[157]	30	S111	Lima
Lima_109	-77.027750	-12.042144	[159]	30	S111	Lima
Lima_11	-76.774301	-12.401084	[21]	30	S111	Lima
Lima_110	-77.041622	-12.061293	[134]	30	S111	Lima
Lima_111	-77.052174	-12.058947	[119]	30	S111	Lima
Lima_112	-77.070904	-12.094316	[63]	30	S111	Lima
Lima_113	-77.065496	-12.085032	[77]	30	S111	Lima
Lima_114	-77.071472	-12.069333	[86]	30	S111	Lima
Lima_115	-77.038244	-12.048050	[152]	30	S111	Lima
Lima_116	-77.049197	-12.048314	[130]	30	S111	Lima
Lima_117	-77.066908	-12.055538	[97]	30	S111	Lima

Lima_118	-77.078722	-12.054351	[80]	30	S111	Lima
Lima_119	-77.079958	-12.044417	[78]	30	S111	Lima
Lima_12	-76.778827	-12.384251	[35]	30	S111	Lima
Lima_120	-77.083492	-12.086660	[57]	30	S111	Lima
Lima_121	-77.088697	-12.068952	[58]	30	S111	Lima
Lima_122	-77.100529	-12.079369	[43]	30	S111	Lima
Lima_123	-77.104665	-12.066211	[41]	30	S111	Lima
Lima_124	-77.092697	-12.050482	[56]	30	S111	Lima
Lima_125	-77.122652	-12.062654	[27]	30	S111	Lima
Lima_126	-77.141252	-12.058837	[6]	30	S111	Lima
Lima_127	-77.162568	-12.071523	[5]	30	S111	Lima
Lima_128	-77.110322	-12.048568	[35]	30	S111	Lima
Lima_129	-77.130607	-12.042579	[10]	30	S111	Lima
Lima_13	-76.791958	-12.369128	[21]	30	S111	Lima
Lima_130	-76.946474	-12.065453	[259]	30	S111	Lima
Lima_131	-76.969744	-12.057133	[245]	30	S111	Lima
Lima_132	-76.952938	-12.048591	[277]	30	S111	Lima
Lima_133	-76.982696	-12.044367	[243]	30	S111	Lima
Lima_134	-76.961240	-12.032702	[276]	30	S111	Lima
Lima_135	-76.936688	-12.036341	[318]	30	S111	Lima
Lima_136	-76.920267	-12.024470	[354]	30	S111	Lima
Lima_137	-76.902094	-12.018086	[382]	30	S111	Lima
Lima_138	-76.889765	-12.026507	[406]	30	S111	Lima
Lima_139	-76.882680	-12.012186	[426]	30	S111	Lima
Lima_14	-76.809228	-12.351111	[31]	30	S111	Lima

Lima_140	-76.865432	-12.006720	[447]	30	S111	Lima
Lima_141	-76.847020	-12.001503	[479]	30	S111	Lima
Lima_142	-76.831369	-11.991444	[520]	30	S111	Lima
Lima_143	-76.810880	-11.983362	[564]	30	S111	Lima
Lima_144	-76.787763	-11.978133	[611]	30	S111	Lima
Lima_145	-76.765274	-11.974686	[671]	30	S111	Lima
Lima_146	-76.747577	-11.969233	[707]	30	S111	Lima
Lima_147	-76.731528	-11.958760	[741]	30	S111	Lima
Lima_148	-76.709833	-11.948177	[811]	30	S111	Lima
Lima_149	-76.693660	-11.936565	[850]	30	S111	Lima
Lima_15	-76.825022	-12.333616	[29]	30	S111	Lima
Lima_150	-76.679715	-11.923685	[908]	30	S111	Lima
Lima_151	-76.657078	-11.924643	[982]	30	S111	Lima
Lima_152	-76.665676	-11.909918	[1,024]	30	S111	Lima
Lima_153	-76.654690	-11.893441	[1,069]	30	S111	Lima
Lima_154	-77.007228	-12.037479	[189]	30	S111	Lima
Lima_155	-76.965989	-12.021425	[263]	30	S111	Lima
Lima_156	-77.009235	-12.018989	[208]	30	S111	Lima
Lima_157	-76.990948	-12.023919	[223]	30	S111	Lima
Lima_158	-76.983629	-12.014072	[237]	30	S111	Lima
Lima_159	-77.013212	-11.998721	[220]	30	S111	Lima

Lima_16	-76.844446	-12.299427	[27]	30	S111	Lima
Lima_160	-76.996259	-12.005422	[234]	30	S111	Lima
Lima_161	-77.005716	-11.983208	[232]	30	S111	Lima
Lima_162	-76.996952	-11.967573	[264]	30	S111	Lima
Lima_163	-76.985859	-11.953346	[324]	30	S111	Lima
Lima_164	-76.975950	-11.940297	[391]	30	S111	Lima
Lima_165	-76.963611	-11.927007	[494]	30	S111	Lima
Lima_166	-77.030085	-12.033140	[148]	30	S111	Lima
Lima_167	-77.029364	-12.019194	[150]	30	S111	Lima
Lima_168	-77.040501	-12.025814	[124]	30	S111	Lima
Lima_169	-77.042403	-12.035829	[132]	30	S111	Lima
Lima_17	-76.877519	-12.283886	[4]	30	S111	Lima
Lima_170	-77.053684	-12.035472	[115]	30	S111	Lima
Lima_171	-77.066328	-12.041523	[99]	30	S111	Lima
Lima_172	-77.065868	-12.030129	[94]	30	S111	Lima
Lima_173	-77.056041	-12.023135	[106]	30	S111	Lima
Lima_174	-77.100475	-12.030818	[42]	30	S111	Lima
Lima_175	-77.086786	-12.031649	[65]	30	S111	Lima
Lima_176	-77.077283	-12.022853	[75]	30	S111	Lima
Lima_177	-77.043775	-11.980968	[164]	30	S111	Lima
Lima_178	-77.061192	-11.981268	[68]	30	S111	Lima
Lima_179	-77.093967	-12.016140	[44]	30	S111	Lima
Lima_18	-76.857686	-12.286328	[5]	30	S111	Lima
Lima_180	-77.061553	-12.003754	[77]	30	S111	Lima
Lima_181	-77.080660	-12.006009	[59]	30	S111	Lima
Lima_182	-77.108510	-12.012910	[30]	30	S111	Lima
Lima_183	-77.098232	-11.999428	[37]	30	S111	Lima

Lima_184	-77.115897	-11.996030	[20]	30	S111	Lima
Lima_185	-77.085712	-11.984463	[44]	30	S111	Lima
Lima_186	-77.127181	-11.958583	[2]	30	S111	Lima
Lima_187	-77.060701	-11.960413	[83]	30	S111	Lima
Lima_188	-77.079659	-11.961847	[73]	30	S111	Lima
Lima_189	-77.071088	-11.943302	[97]	30	S111	Lima
Lima_19	-76.892790	-12.268586	[7]	30	S111	Lima
Lima_190	-77.053457	-11.939844	[108]	30	S111	Lima
Lima_191	-77.053237	-11.921537	[136]	30	S111	Lima
Lima_192	-77.042125	-11.904039	[174]	30	S111	Lima
Lima_193	-77.020614	-11.913043	[269]	30	S111	Lima
Lima_194	-77.031732	-11.889557	[196]	30	S111	Lima
Lima_195	-77.020405	-11.874841	[238]	30	S111	Lima
Lima_196	-77.089657	-11.946144	[70]	30	S111	Lima
Lima_197	-77.073600	-11.926417	[106]	30	S111	Lima
Lima_198	-77.129187	-11.939197	[23]	30	S111	Lima
Lima_199	-77.130158	-11.916529	[19]	30	S111	Lima
Lima_2	-76.610400	-12.766640	[3]	30	S111	Lima
Lima_20	-76.868665	-12.274912	[12]	30	S111	Lima
Lima_200	-77.066773	-11.902833	[139]	30	S111	Lima
Lima_201	-77.128226	-11.887428	[40]	30	S111	Lima
Lima_202	-77.073189	-11.886660	[159]	30	S111	Lima
Lima_203	-77.075576	-11.867676	[184]	30	S111	Lima
Lima_204	-77.126728	-11.872564	[28]	30	S111	Lima
Lima_205	-77.087445	-11.851566	[190]	30	S111	Lima
Lima_206	-77.104514	-11.840141	[195]	30	S111	Lima
Lima_207	-77.119689	-11.832040	[242]	30	S111	Lima
Lima_208	-77.136042	-11.821872	[225]	30	S111	Lima
Lima_209	-77.174921	-11.798339	[27]	30	S111	Lima
Lima_21	-76.882007	-12.249632	[31]	30	S111	Lima

Lima_210	-77.162987	-11.806054	[88]	30	S111	Lima
Lima_211	-77.142025	-11.801787	[92]	30	S111	Lima
Lima_212	-77.158032	-11.785112	[40]	30	S111	Lima
Lima_213	-77.170172	-11.776001	[12]	30	S111	Lima
Lima_214	-77.028571	-12.086614	[125]	30	S111	Lima
Lima_22	-76.910424	-12.233330	[107]	30	S111	Lima
Lima_23	-76.941312	-12.243641	[6]	30	S111	Lima
Lima_24	-76.923446	-12.237693	[106]	30	S111	Lima
Lima_25	-76.938567	-12.226661	[123]	30	S111	Lima
Lima_26	-76.959855	-12.228460	[118]	30	S111	Lima
Lima_27	-76.907135	-12.218085	[96]	30	S111	Lima
Lima_28	-76.923110	-12.220644	[183]	30	S111	Lima
Lima_29	-76.979730	-12.218257	[6]	30	S111	Lima
Lima_3	-76.621946	-12.751984	[10]	30	S111	Lima
Lima_30	-76.949659	-12.214627	[116]	30	S111	Lima
Lima_31	-76.933176	-12.205323	[205]	30	S111	Lima
Lima_32	-76.982502	-12.198457	[63]	30	S111	Lima
Lima_33	-76.964800	-12.204734	[66]	30	S111	Lima

Lima_34	-77.002140	-12.213029	[7]	30	S111	Lima
Lima_35	-77.015077	-12.200661	[7]	30	S111	Lima
Lima_36	-77.000002	-12.193420	[29]	30	S111	Lima
Lima_37	-76.955488	-12.194036	[105]	30	S111	Lima
Lima_38	-76.921438	-12.193102	[273]	30	S111	Lima
Lima_39	-76.936521	-12.193691	[193]	30	S111	Lima
Lima_4	-76.639283	-12.693252	[3]	30	S111	Lima
Lima_40	-77.132798	-12.054510	[12]	30	S111	Lima
Lima_41	-76.941055	-12.181583	[150]	30	S111	Lima
Lima_42	-76.958885	-12.181171	[155]	30	S111	Lima
Lima_43	-76.978724	-12.181287	[68]	30	S111	Lima
Lima_44	-76.998445	-12.175050	[47]	30	S111	Lima
Lima_45	-77.014750	-12.181651	[35]	30	S111	Lima
Lima_46	-77.019200	-12.165182	[51]	30	S111	Lima
Lima_47	-76.921549	-12.173947	[341]	30	S111	Lima
Lima_48	-77.055037	-12.084034	[93]	30	S111	Lima
Lima_49	-76.946845	-12.167416	[167]	30	S111	Lima
Lima_5	-76.628393	-12.656346	[54]	30	S111	Lima
Lima_50	-76.987101	-12.162805	[68]	30	S111	Lima
Lima_51	-76.967680	-12.165799	[103]	30	S111	Lima

Lima_52	77.005534	12.160241	[64]	30	S111	Lima
Lima_53	76.954600	12.151698	[172]	30	S111	Lima
Lima_54	76.972709	12.146843	[125]	30	S111	Lima
Lima_55	76.987745	12.151958	[79]	30	S111	Lima
Lima_56	77.000584	12.146605	[82]	30	S111	Lima
Lima_57	77.015925	12.150317	[68]	30	S111	Lima
Lima_58	76.977422	12.136007	[113]	30	S111	Lima
Lima_59	76.947513	12.138041	[252]	30	S111	Lima
Lima_6	76.707974	12.572596	[1]	30	S111	Lima
Lima_60	76.959859	12.135210	[216]	30	S111	Lima
Lima_61	76.988133	12.138560	[102]	30	S111	Lima
Lima_62	76.999762	12.133695	[102]	30	S111	Lima
Lima_63	76.978631	12.122976	[130]	30	S111	Lima

Lima_64	-	-	[77]	30	S111	Lima
Lima_65	-	-	[83]	30	S111	Lima
Lima_66	-	-	[114]	30	S111	Lima
Lima_67	-	-	[129]	30	S111	Lima
Lima_68	-	-	[91]	30	S111	Lima
Lima_69	-	-	[131]	30	S111	Lima
Lima_7	-	-	[5]	30	S111	Lima
Lima_70	-	-	[80]	30	S111	Lima
Lima_71	-	-	[85]	30	S111	Lima
Lima_72	-	-	[100]	30	S111	Lima
Lima_73	-	-	[192]	30	S111	Lima
Lima_74	-	-	[171]	30	S111	Lima
Lima_75	-	-	[141]	30	S111	Lima
Lima_76	-	-	[153]	30	S111	Lima
Lima_77	-	-	[150]	30	S111	Lima

Lima_78	-76.987989	-12.098490	[164]	30	S111	Lima
Lima_79	-77.011278	-12.081724	[158]	30	S111	Lima
Lima_8	-76.741180	-12.522009	[7]	30	S111	Lima
Lima_80	-76.991413	-12.086668	[185]	30	S111	Lima
Lima_81	-76.973175	-12.090584	[193]	30	S111	Lima
Lima_82	-77.013633	-12.071186	[160]	30	S111	Lima
Lima_83	-77.015258	-12.061368	[166]	30	S111	Lima
Lima_84	-77.024360	-12.107930	[111]	30	S111	Lima
Lima_85	-77.031572	-12.098550	[110]	30	S111	Lima
Lima_86	-77.074931	-12.080777	[71]	30	S111	Lima
Lima_87	-77.049253	-12.108584	[73]	30	S111	Lima
Lima_88	-77.047088	-12.092941	[95]	30	S111	Lima
Lima_89	-77.016633	-12.049879	[177]	30	S111	Lima
Lima_9	-76.797391	-12.483258	[21]	30	S111	Lima
Lima_90	-77.021806	-12.091924	[129]	30	S111	Lima
Lima_91	-77.047977	-12.081935	[104]	30	S111	Lima
Lima_92	-76.950806	-12.093920	[235]	30	S111	Lima
Lima_93	-76.940738	-12.109191	[284]	30	S111	Lima
Lima_94	-76.925070	-12.094290	[299]	30	S111	Lima
Lima_95	-76.932434	-12.083393	[259]	30	S111	Lima
Lima_96	-76.908912	-12.078341	[312]	30	S111	Lima
Lima_97	-76.946678	-12.079512	[242]	30	S111	Lima
Lima_98	-76.963905	-12.074439	[230]	30	S111	Lima
Lima_99	-76.981279	-12.074718	[208]	30	S111	Lima

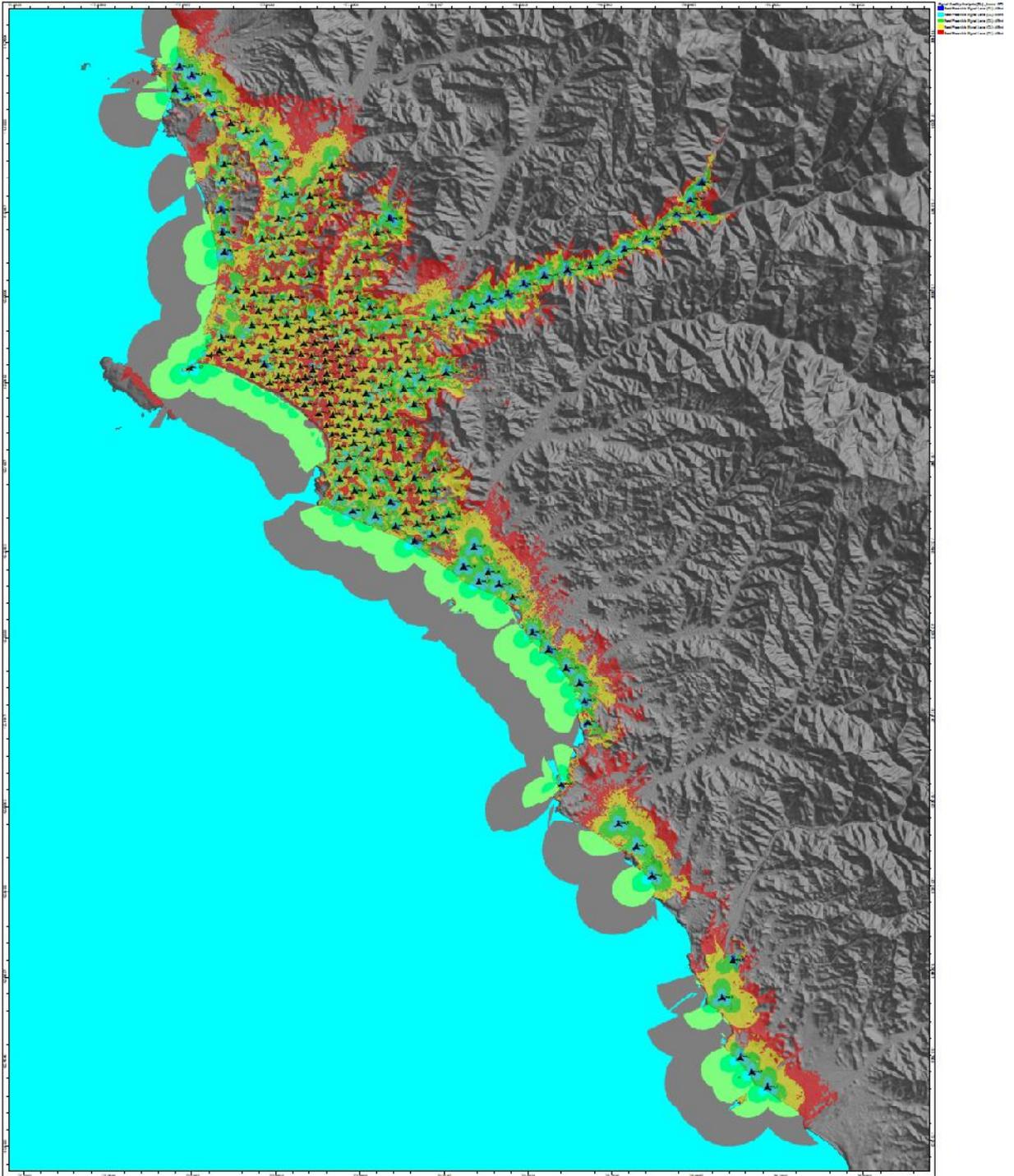


Figura 5.7 Simulación para indoor CPE

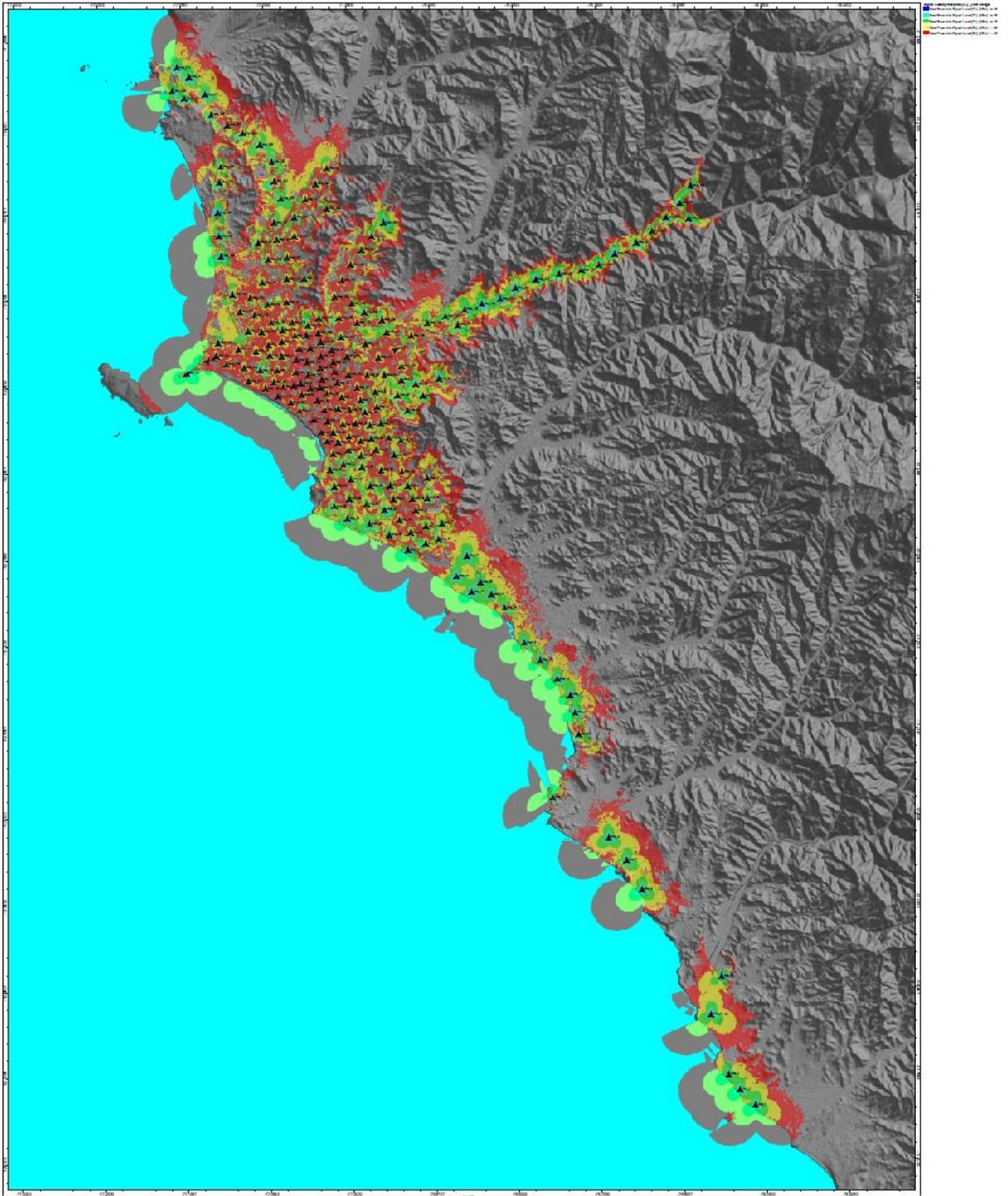


Figura 5.8 Simulación para USB Dongle

5.4 Diseño de la red de Transporte

Para la red WiMAX del proyecto en mención se usará como medio de transporte del tráfico de las BTS, los enlaces MW (Microwave), ya que son muy rápidos de desplegar, confiables y en comparación a una red METRO tendida con F.O, más económicos.

El diseño de la red de MW tendrá como capacidad máxima un STM-1 o 155 Mbps por enlace, esto es lo máximo que puede dar un enlace MW SDH debido a que la interfaz aire es un problema cuando se trabaja con grandes capacidades de transmisión.

Debido a que como parte del servicio se brindará internet a velocidades de máximo 2 Mbps. La capacidad de STM-1 por enlace es más que suficiente para futuras ampliaciones, aunque debido al tema de licencias por parte de los proveedores de MW se tendrá que evaluar en un futuro si se compran licencias de 32x2 Mbps o de 16x2 Mbps.

Para el caso de Lima se usarán 5 repetidoras: Milla, Haya de la Torre, Morro, Molina y MSO, los cuales albergarán todo el tráfico de la red de MW para ser derivada al Core Network alojado en el MSO. Como adicionales se estarán usando 2 repetidores al sur de Lima para traer el tráfico generado por las estaciones base alojadas a lo largo de las playas del litoral peruano.

5.4.1 Consideraciones de diseño

5.4.1.1 Pérdidas en el espacio libre

Las pérdidas en el espacio libre en todo enlace MW son esenciales para poder validar cuánto nivel de recepción podemos contar cuando nuestro enlace se acerca o se aleja del punto donde lo necesitamos, dicho valor varia con la

frecuencia y la distancia; es decir, mientras más frecuencia de trabajo y mayor distancia existe, una mayor atenuación de la señal por pérdidas en espacio libre.

En la figura 5.9 se muestra un diagrama de enlace MW, el cual muestra la potencia de salida de la señal, y cómo por la trayectoria hasta llegar a su destino va cayendo hasta cierto umbral por el cual nuestro diseño no debe llegar para evitar desvanecimiento de la señal.

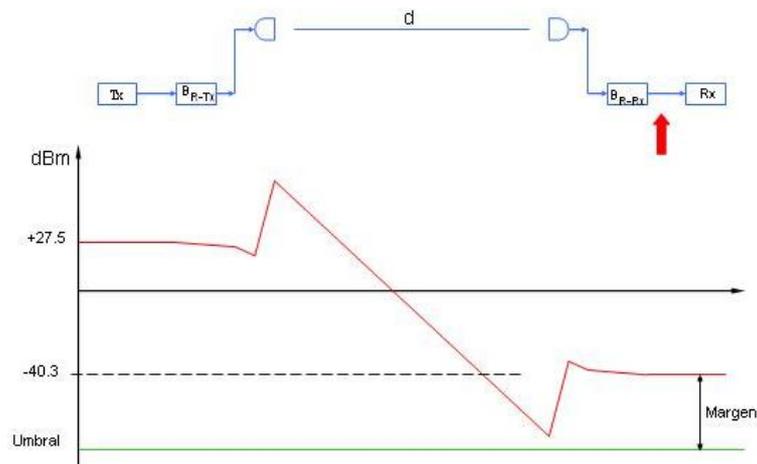


Figura 5.9 Diagrama de Pathloss

La pérdida de espacio libre se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Pathloss = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

Donde:

d esta dada en Km y f en MHz.

5.4.1.2 Potencia de Recepción

Sabiendo la frecuencia de operación y la distancia entre el transmisor y el receptor se puede calcular la pérdida del espacio libre como lo muestra la fórmula anterior. Una vez obtenido este cálculo se procede a calcular la potencia de recepción con la siguiente fórmula:

$$P_{Rx} (dBm) = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_{RF} - Pathloss$$

Se considera un enlace satisfactorio cuando la sensibilidad del receptor es menor a esta potencia calculada. También debemos tener en cuenta que el parámetro L_{RF} puede variar y ser considerable si es que entre la radio y la antena hay una gran distancia.

5.4.1.3 Curvatura del Haz

Otro de los parámetros a considerar en el diseño de un enlace de MW es la refracción, entendido como un fenómeno causado por la curvatura de la tierra, la cual dispersa el haz de señal causando pérdida. Que, aunque nosotros lo vemos en línea recta, lo cierto es que se curva la señal. El factor es $K = \frac{4}{3}$

Curvatura del haz

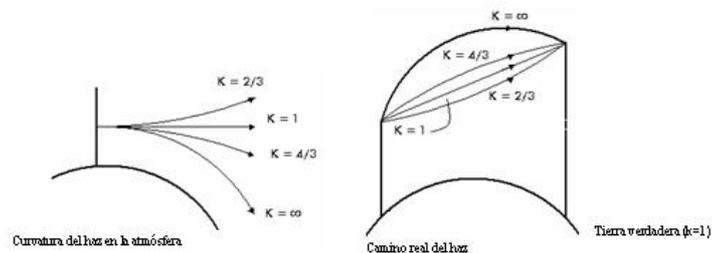


Figura 5.10 Curvatura del Haz

5.4.1.4 Zona de Fresnel

Otro de los parámetros a considerar dentro de todo diseño de MW es la difracción, que ocurre cuando en el trayecto del enlace MW se encuentra con algún obstáculo. Es aquí donde entra a tallar el concepto de radio de

FRESNEL o la zona de FRESNEL que es la mínima distancia que debe estar despejado el enlace para que no ocurra este fenómeno.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) propone que en un enlace punto a punto se puede realizar satisfactoriamente si se alcanza una visibilidad mínima equivalente al 60% de la primera zona de FRESNEL.

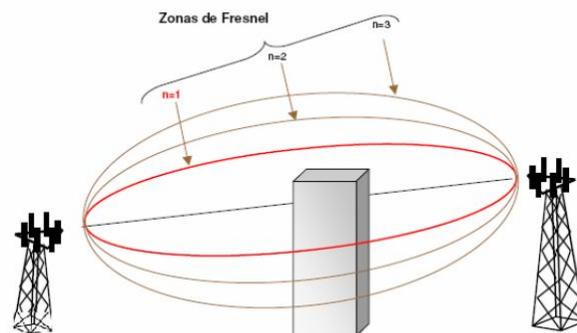


Figura 5.11 Zona de Fresnel

5.4.1.5 Antenas

5.4.1.5.1 Antenas Reflectoras

Las antenas reflectoras y en particular el reflector parabólico, son las antenas más utilizadas en aplicaciones de microondas y para efectos del proyecto se usarán este tipo de antenas. Son muchos los tipos de reflectores utilizados en diversas antenas

. Desde el reflector plano, reflector diédrico a los reflectores frecuentes del tipo cilindro parabólico o paraboloides de revolución.

El reflector más usual es el parabólico, que está formado por un paraboloides de revolución metálico con una antena alimentadora situada en el foco. La reflexión del campo en el reflector, transforma una onda incidente con frentes de fase esféricos en una onda plana, consiguiendo en el plano de su apertura

un campo en fase y bastante uniforme en amplitud, lo que supone un diagrama muy directivo en la dirección normal a dicho plano. Las antenas utilizadas como alimentadores pueden ser muchas, aunque las más frecuentes son las tipo dipolo.

La antena alimentadora debe concentrar el campo en la dirección del reflector, para evitar que una parte de la potencia que genera se pierda fuera de la zona de reflexión. Por otro lado, para conseguir una variación de amplitud, es necesario que el diagrama de la alimentadora sea lo más uniforme posible hacia el reflector.

En general las características de ganancia y polarización se degradan al aumentar el ángulo con que se ve el reflector desde el foco ($2\theta_0$), o lo que es lo mismo al reducir la relación de distancia focal a diámetro (f/d). El valor óptimo se estima para $f/d=0.5$, lo que supone un ángulo de $\theta_0 = 53^\circ$. En la figura 5.12 se presenta un dibujo esquemático de una sección de paraboloide, donde se indican las dimensiones más importantes.

La superficie del paraboloide viene dada por una ecuación que en esféricas y si tomamos el eje que pasa por el centro del foco, se puede poner como:

$$P = \frac{2n}{1 + \cos(\gamma_r)}$$

La ecuación que liga la relación diámetro a distancia focal con el semiángulo de apertura del paraboloide viene dada por:

$$\frac{n}{S} = \frac{1}{4} c \tan\left(\frac{\gamma_r + \gamma_i}{2}\right)$$

Además de la variación de amplitud en la apertura o la potencia no incidente en el reflector, otros efectos que influyen sobre la directividad son la sombra del alimentador, la rugosidad del reflector y otros muchos que dependen de los tamaños y frecuencia de trabajo. En esas condiciones, el rendimiento de apertura de un reflector es del orden del 50 al 60%, de forma que la directividad se puede poner aproximadamente como:

$$D = 0.5 \left(\frac{\pi * S}{\lambda} \right)^2$$

Además del reflector simple, en antenas muy grandes o de prestaciones especiales, se utilizan reflectores dobles como en las antenas Casagrain. En este caso la onda generada en el alimentador es reflejada primero en un reflector hiperbólico para producir otra onda esférica que incide sobre el reflector parabólico principal.

Este sistema tiene ventajas en grandes antenas porque evitan llevar la señal con líneas de transmisión hasta el foco.

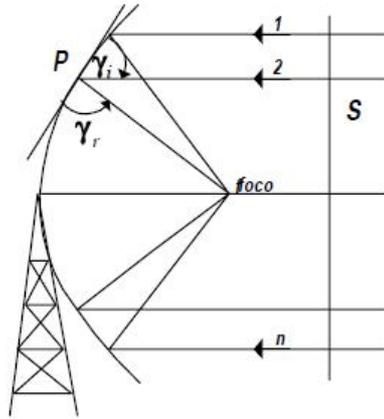


Figura 5.12 Esquema de reflector parabólico

5.4.1.5.2 Antena Cassegrain

Como alternativa de la explicación de antenas parabólicas, la antena Cassegrain está basada en un doble reflector diseñado por Cassegrain en el siglo XVIII para telescopios ópticos. Está formada por un reflector principal y otro auxiliar que corresponde a una porción de paraboloides. Esta antena se usa para producir elevadas atenuaciones en el lóbulo secundario y obtener pequeños ángulos de irradiación. El sistema Cassegrain permite ubicar el alimentador con un tramo de guía de onda menor, pero el subreflector bloquea gran parte de la apertura y el desbordamiento aumenta los lóbulos laterales

Cassegrain

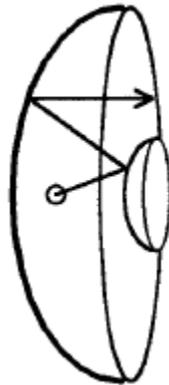


Figura 5.13 Antena tipo Cassegrain

5.4.2 Diseño MW

Para el diseño de los enlaces MW se considerará lo siguiente:

- Antenas MW de foco primario cuyo diámetro son: 0.3m, 0.6m y 1.2m
- Cable IF tipor RG-8 para distancias menores a 60m
- Enlaces del tipo 1+1 HSB
- Capacidad del enlace 16x2 Mbps, 32x2 Mbps y hasta STM-1 valor teórico de 155 Mbps.
- Frecuencia de 7GHz, 15GHz y 23GHz
- Modulación 16QAM, 64QAM y QPSK
- Potencia de Tx de 17dBm~21dBm (valor común 19dBm)
- Potencia de Rx de -39dBm a -60dBm (valor común 40dBm)

A continuación se presenta el diseño de la red de MW y la elaboración de algunos perfiles de los enlaces a implementar. Para el caso del diseño se considerará las antenas de 0.3m para enlaces de 23GHz en donde las estaciones base están cerca de repetidores o son inicios de ramas, donde el tráfico no requiere antenas de mayor diámetro; para las de 0.6m se usa en la frecuencia de 15GHz y se colocará en las estaciones base donde se concentren entre 2 a 8 nodos; y las antenas de 1.2m se usarán en los casos que los nodos B que sean mayores a 8 por rama y se tengan distancias grandes que recorrer para lo cual se empleará la frecuencia de 7MHz.

Polarización	Modelo	Diámetro	Ganancia (dBi)			3dB BW(°)	VSWR		F/B Ratio
			Bajo	Medio	Alto		Std	Bajo	
Simple	WTG03-144D	0.3	30.5	30.8	31.1	4.7	1.20	1.15	52
Simple	WTG06-144D	0.6	36.5	36.8	37.1	2.4	1.20	1.15	58
Simple	WTG12-144D	1.2	42.6	42.8	43.1	1.2	1.15	1.10	65

Tabla 5.16 Modelos de antenas MW a utilizar

Para las potencias, tanto de recepción como de transmisión, mucho dependerá de las distancias de los enlaces, así como también de la capacidad del mismo, por lo que se pone un rango de valores en los cuales se trabajará para la implementación futura del proyecto de tesis.

En la figura 5.14 y 5.15 se presenta el diseño MW donde se puede apreciar que los enlaces en rojo pertenecen a los repetidores Milla, Molina, Haya, Morro y MSO.

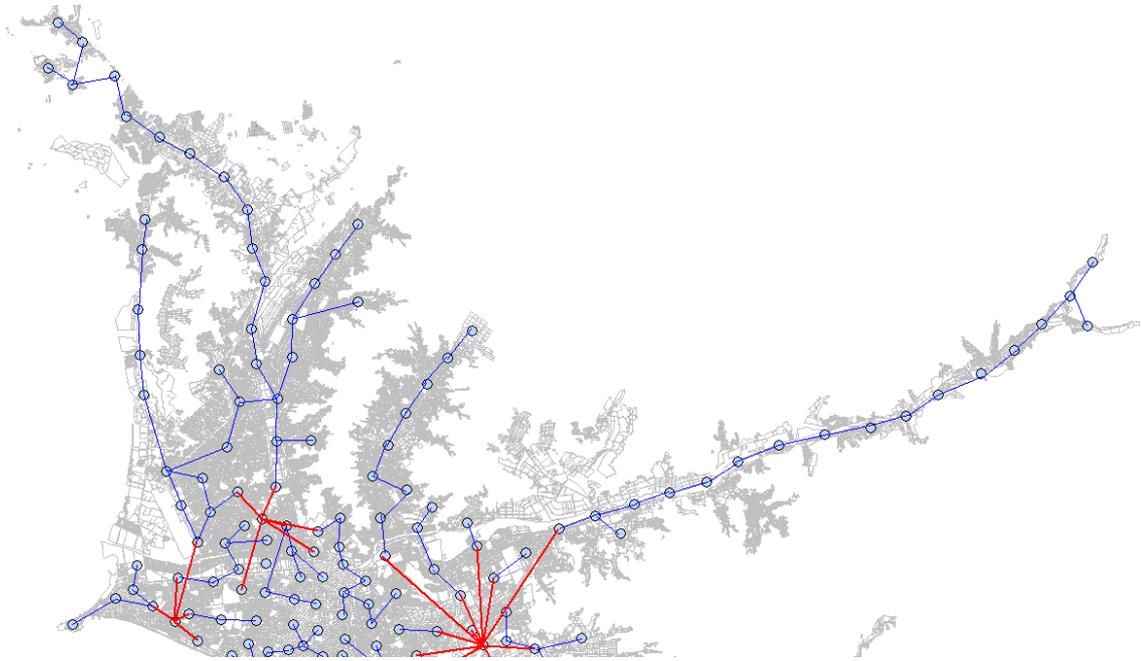


Figura 5.14 Diseño MW parte 1

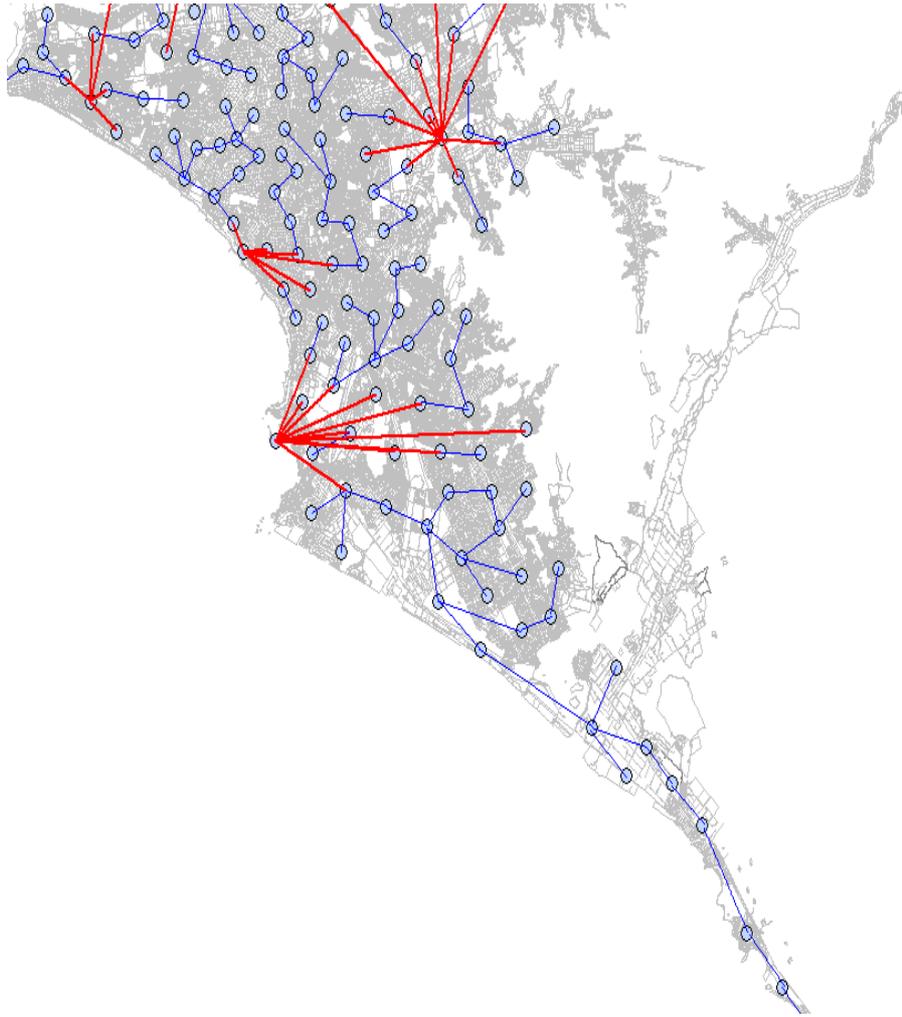


Figura 5.15 Diseño MW parte 2

Para una mejor visualización de parte del diseño de enlaces microondas, se muestra dos perfiles de enlaces para este proyecto.

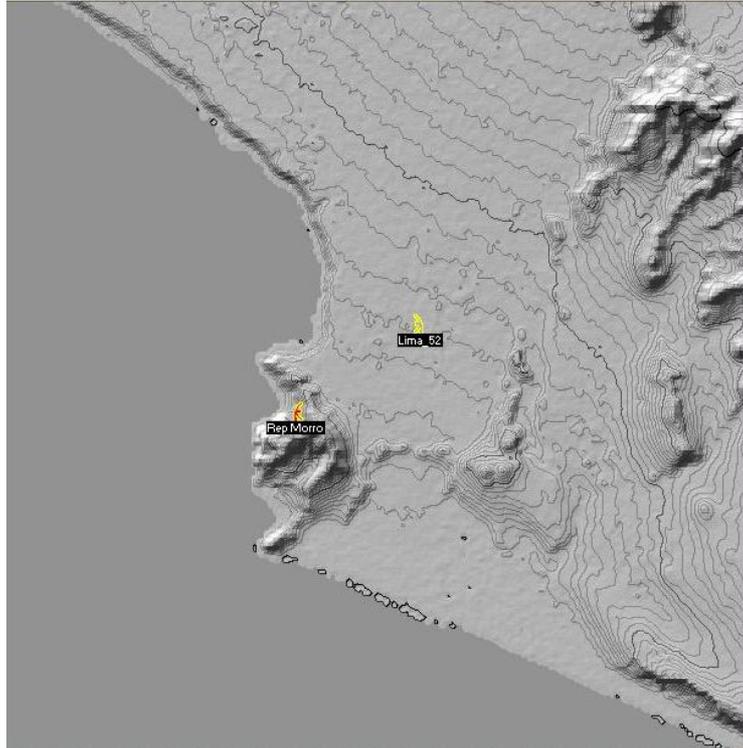


Figura 5.16 Layout enlace Morro con Lima_52

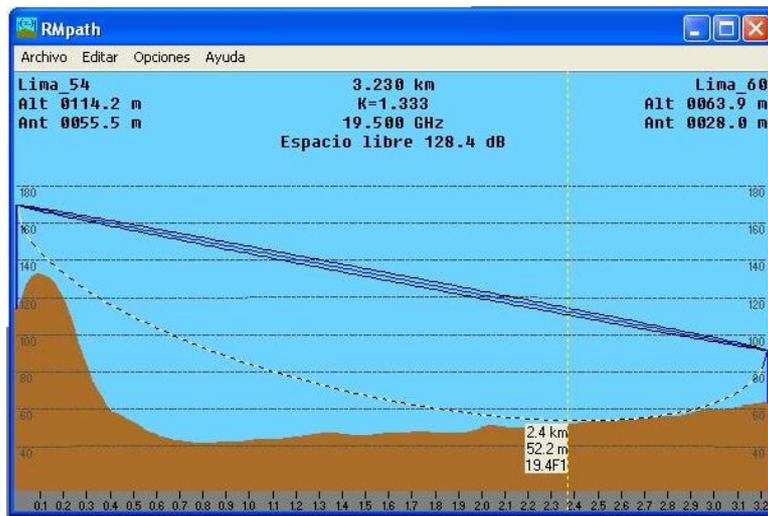


Figura 5.17 Perfil enlace Morro con Lima_52

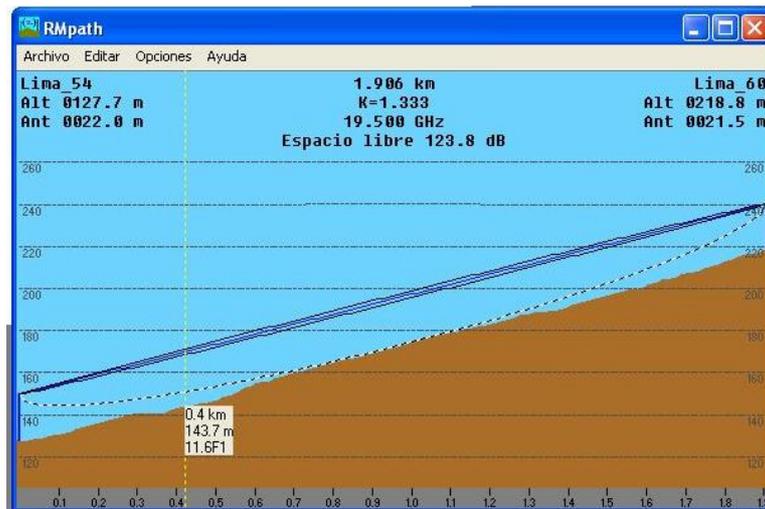


Figura 5.18 Perfil Lima_54 con Lima_60

5.5 Diseño de Core Network

Dentro del diseño de la red WiMAX móvil se tiene una de las partes más importantes de la red, el Core Network, que es un sistema capaz de controlar, tarifcar, gestionar y conmutar cualquier paquete, dato o sistema de la red en mención. Este centro de control tiene que ser capaz de soportar el tráfico calculado en el diseño de RF y a su vez futuras ampliaciones. Como toda red móvil éste contiene un Gateway de acceso a la red que le permite discriminar si la sesión generada desde la estación base es de voz o de datos.

Cuando es tráfico de voz, como se trate de VoIP, se crea una sesión de datos pero si ésta se genera para ser llamada a otro operador o telefonía fija viaja a la PSTN convirtiendose en E1 trama TDM.

Cuando es datos esta se deriva hacia un AAA que autentifica al usuario y le da acceso a la red internet.

5.5.1 Servicios de Internet

Dentro de la solución de acceso a la red se encuentran diferentes escenarios los cuales la tecnología WiMAX se puede adecuar sin ningun problema reduciendo el CAPEX y el OPEX, este sistema permite crear perfiles pre-pago o simplemente post-pago para una mayor diversificación comercial.

Para que un MS pueda conectarse a internet dentro de la red WiMAX se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- **Autenticación y Autorización:** Autenticar el MS y autorizarlo para el acceso a la red WiMAX y distribuir el perfil del usuario desde un servidor AAA hacia el MS.
- **Initial Service Flow (ISF):** El ISF puede tener configurado un DHCP para la entrega de direcciones IP a los usuarios que ingresan a la red, en el caso de WiMAX el ASN-GW contiene un servidor DHCP capaz de completar esta función.
- **Flujo de servicio y entrega de IP:** Crea el provisionamiento previo del flujo de servicio y la ruta de datos. Diferentes niveles de calidad de servicio (QoS) de flujo de servicio serán usados para diferentes servicios.

Cuando el flujo de servicio y la ruta de datos es creada , el usuario estará conectado a internet, sólo si se usa CPE y este no es usado por un largo periodo entra en un estado IDLE, y cuando quiera restablecer conexión el ASN-

GW activa el procedimiento paging para poder conectarlo otra vez. En la figura 5.19 se muestra el flujo de servicio hacia internet de un usuario.

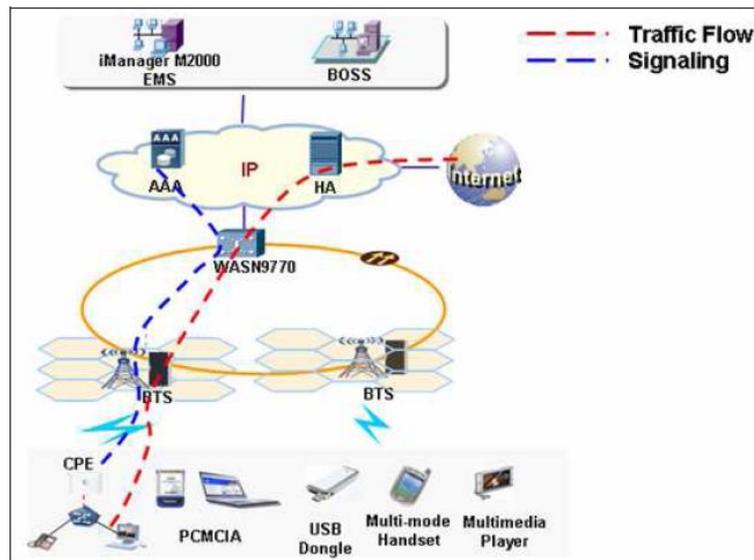


Figura 5.19 Flujo de servicio

5.5.2 VPN para creación de flujo de servicio

WiMAX utiliza lo que se denomina Provider Provisioned VPN (PPVPN) basado en una plataforma IP que básicamente se enfoca en el propósito del servicio, es decir VPN para los usuarios que deseen acceder a la red desde un móvil o un CPE de casa u oficina.

También se enfoca en la jerarquía de la red, es decir la VPN existe en capa 3 y capa 2 para distintos escenarios y aplicaciones.

Por último se enfoca en la tecnología de túneles virtuales como: GRE, VLAN, MPLS y L2TP. Estos túneles virtuales pueden ser encriptados en IPSec.

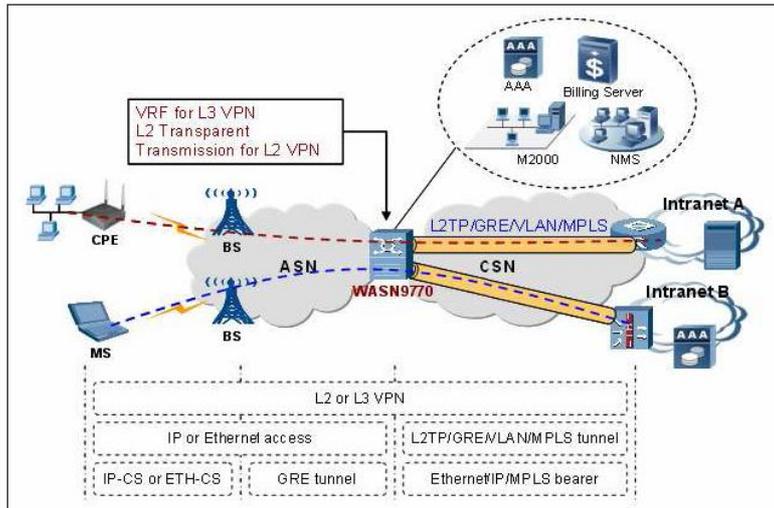


Figura 5.20 Solución VPN

5.5.3 Servicios de Voz

Para usuarios del servicio VoIP, se debe completar los mismo pasos descritos, con anterioridad con la diferencia que cuando el flujo de servicio y la ruta de datos este creada, esta será derivada para uso de VoIP. Para ello se requiere de los siguientes pasos:

- Registro: El usuario final envía el registro de información hacia P-CSCF a través de SE2300. P-CSCF graba la información del registro después de la autenticación.
- Control de sesión (saliente): SE2300 recibe la invitación SIP del usuario final, después de procesar QoS y seguridad, SE2300 se lo envía a CSCF el cual enruta tanto la llamada entrante como la saliente.

- Control de sesión (entrante): Cuando el usuario final de la llamada es la PSTN/CS, el BGCF escoge un apropiado MGCF para la interconexión de la IMS con la PSTN. A través de H.248, MGCF controla el IM-MGW para convertir el formato de la trama en TDM para que lo interprete la PSTN.

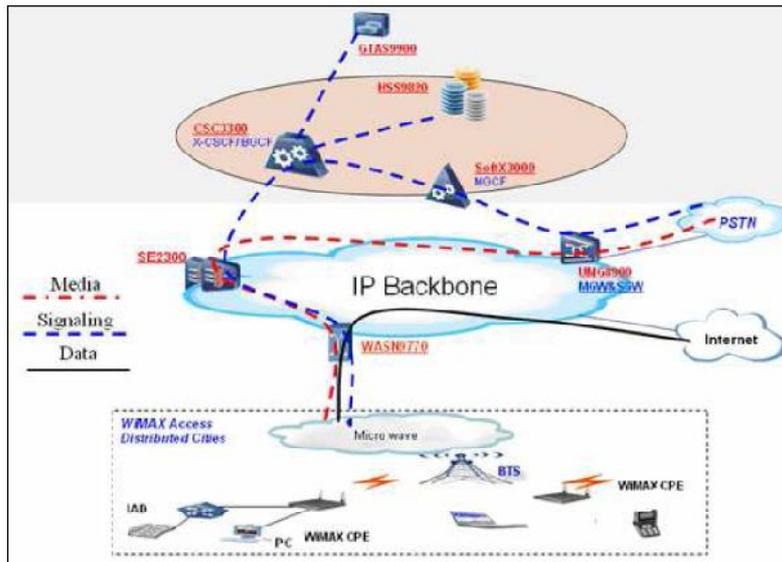


Figura 5.21 Solución VoIP

5.5.4 WiMAX IMS

Para la red WiMAX móvil se utilizará la plataforma IMS que cumple con la 3GPP y el Wimax Forum la cual añade nuevos elementos de red a la arquitectura haciendo la red más flexible y con mejores aplicaciones para futuros servicios y total compatibilidad con otras tecnología. Dentro de lo más importantes que se puede destacar, es que añade al Core Network un softswitch para conmutación y ubicación, un UMG (universal media gateway) para la comunicación más fluida con la PSTN y SG (signaling gateway) el

mismo que la opera como un traductor entre distintos protocolos, y entre distintas capas para la mejor comunicación de los equipos de la red. En la figura 5.16 se muestra la plataforma IMS que se usará para el proyecto.

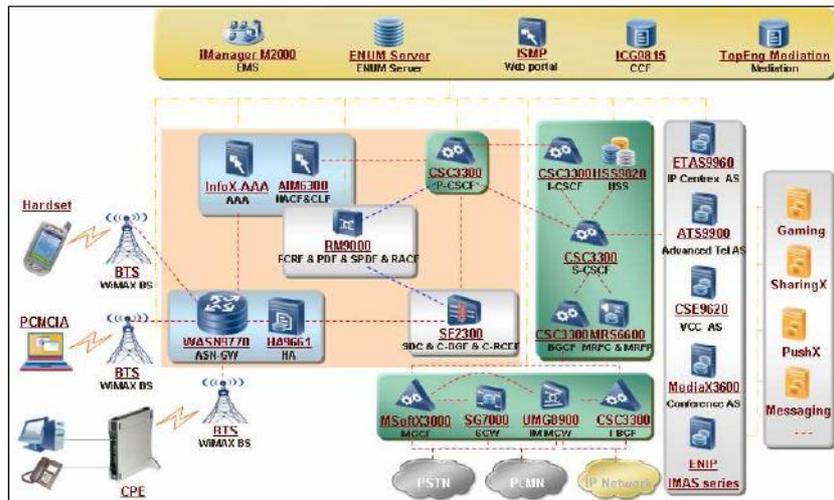


Figura 5.22 Plataforma IMS

5.6 Diseño de Infraestructura del proyecto

En el presente punto de explicará brevemente los subsistemas de protección y energía que se tendrán en consideración a la hora de implementar la red de acceso, además de indicar el tipo de torres a utilizar para nuestro proyecto.

5.6.1 Subsistema de protección

La instalación del sistema de puesta a tierra deberá ser realizada por un experto en la materia, el cual deberá verificar el tipo de terreno donde se colocará la estación base así como garantizar el correcto funcionamiento del

sistema puesto a tierra una vez hecho. Existen varios tipos de sistema puestas a tierra como:

- Electrodo de varilla simple
- Electrodo de múltiples varillas
- Electrodo de placa enterrada
- Electrodo enterrado tipo rejilla

Dentro de todas estas, la más usada en la industria, es la de múltiples varillas la cuales nos darán una medición regida por la IEEE de 1-2 Ω

5.6.2 Subsistema de energía

El rol principal de este subsistema es proveer de energía a los distintos equipos que integran la red de acceso, adaptándose a estos requerimientos de carga. Adicionalmente proveen de resguardo de energía con la utilización de un banco de baterías, con la cual se brinda autonomía suficiente para que los equipos trabajen normalmente en caso de inusual corte de energía comercial, pero por un lapso no mayor de 4 horas, dependiendo del uso de la celda puede extenderse a 6 horas.

Las estaciones base están conformadas por una unidad de banda base y las unidades de radio remotas. Estos equipos al igual que los radios utilizados para los enlaces microondas trabajan a -48VDC, que es lo estándar en la industria. El trabajo de conversión de los 220VAC comercial a los -48VDC lo hacen los rectificadores.

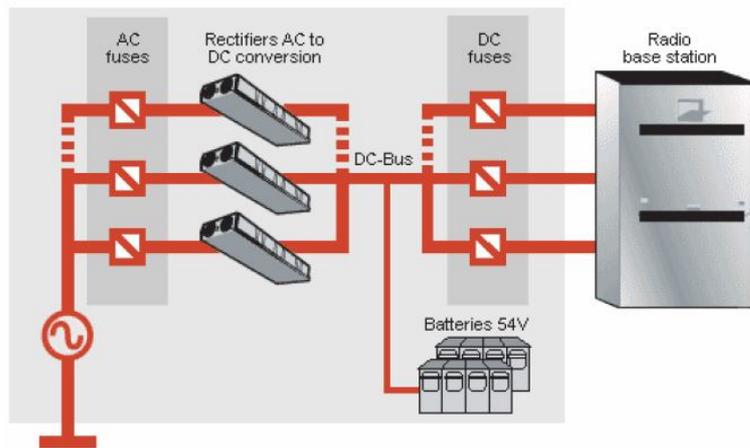


Figura 5.23 Subsistema de energía

Adicionalmente se instalarán interruptores termomagnéticos (Breakers) dependiendo de la capacidad de los equipos a utilizar, para el caso específico del proyecto se usará un breaker de 32A, esto nos ayudará a proteger a los equipos ante cualquier posible corto circuito que se presente o alguna sobrecarga.

5.6.3 Subsistema de torres

Para el presente proyecto se emplearán 2 tipos de torres: las autosoportadas, que como su nombre lo indica son aquellas estructuras que se soportan así mismas, no requieren de vientos para estabilizarlas y usualmente son muy caras. La otra torre a utilizar, son las arriostradas o ventadas que son más

ligeras en peso usualmente se utilizan en alturas hasta de 25m en ciudad, por lo que en la mayoría de casos se usarán estos tipos de torres.



Figura 5.24 Torre Arriestrada



Figura 5.25 Torre Ventada



Figura 5.26 Torre Autosoportada

Otra posibilidad es alquilar un espacio en las torres que operadores como Claro, Movistar y Nextel ya tienen instaladas en la ciudad de Lima. Con esto se podría reducir 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 garantía de poder realizar el alquiler.

5.7 Equipamiento de la red WiMAX

5.7.1 DBS3900 Wimax Node B

Dentro de la red WiMAX el Node B es la interfaz entre el usuario y la red WiMAX ya sea a internet u a otro operador con voz, este equipo puede ser conectado a una topología de red tipo estrella ya que se conectan todos las BTS hacia en ASN-GW mediante la transmisión de un solo puerto FE/GE en la tarjeta BMPT. El nodo B incluye la BBU 3900 que es un equipo de 2U que contiene las tarjeta de procesamiento en banda base, la RRU, que es la unidad remota de radio la cual se encarga de manejar RF; y por último las antenas sectoriales que en este caso serán 3



Figura 5.27 DBS 3900

Dentro de la BBU podemos encontrar:

- BBBI: Es la tarjeta que procesa la banda base y es la interfaz con las unidades remotas de radio RF con puertos de F.O
- BMPT: Es la tarjeta principal la cual controla la BBU además de ser la tarjeta de interfaz para la transmisión y para el O&M
- UPEU: Es la unidad de energía y la interfaz para alarmas externas
- FAN: El ventilador de la BBU

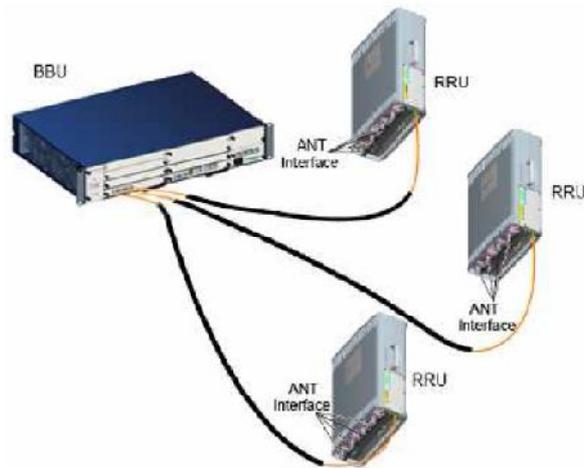


Figura 5.28 Configuración típica de la DBS 3900 con 3 RRU's

5.7.2 IDU PTN 910

La PTN 910 es una radio SDH de Huawei, la cual es muy flexible para todo tipo de despliegue de redes móviles, su máxima capacidad por enlace es de STM-1 o 155Mbps, radios ethernet, con modulación QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM y 128QAM. Tiene la opción de manejar QoS, MPLS, la cual crea L3 VPN que conectan tuneles virtuales para encapsular la información llevándola hacia la ASN de forma segura y confiable. Para el propósito de este proyecto se usarán en las configuraciones 1+1 HSB o 1+0



Figura 5.29 Configuración típica 1+1 HSB



Figura 5.30 IDU PTN910

Este equipo cuenta con:

- Tarjetas IF1B: son la tarjeta de Frecuencia Intermedia, la interfaz entre la IDU y la ODU es la que convierte la señal de baja frecuencia hacia alta frecuencia para sus transmisión en el enlace
- CXPB: Es la tarjeta principal de la IDU, procesa el servicio a realizar, guarda la dirección IP del NE, aloja los puertos de servicio donde se

colocará en Node B u otros MW en el caso que sea un punto de acopio para más enlaces.

5.7.3 WASN9770-GW

La ASN-GW, es un gateway de paquetes de servicio para WiMAX el cual como descripción puede reenviar paquetes de datos, controlar el acceso, manejo de QoS y flujo, contabilidad y movilidad IP.

Es uno de los elementos fundamentales en la red ya que brinda acceso al dominio del sistema. Como un gateway puede dar acceso al usuario a envío de paquetes externos como el internet e internos como voz dentro de la misma red.

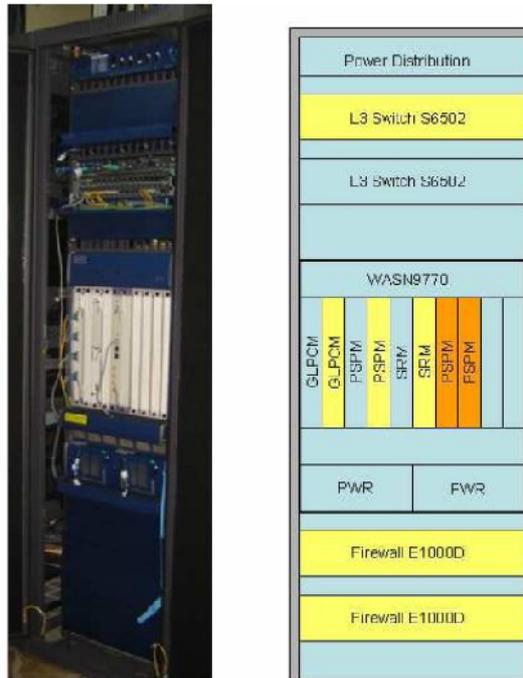


Figura 5.31 ASN-GW

Dentro de lo que puede manejar el ASN se encuentra:

- Establecimiento conectividad de la capa 2 entre el Node B y el móvil
- Establecimiento conectividad de la capa 3 entre el Node B y el móvil para transferencia de mensajes como la locación de dirección IP.
- Transferencia de mensajería de autenticación con la AAA.
- Provee de tuneles VPN
- Provee manejo de recursos de radio
- Manejo de perfiles de la información de usuarios temporales
- Funciona como DHCP en la red IP

5.7.4 AAA

Es un servidor en el cual se encuentra los perfiles de los usuarios lo cuales se utilizan para validar cada vez que se inicia sesión para verificar si tienen los permisos correspondientes para acceder a la red. Dentro de las características encontramos que :

- Aloja la IP del móvil y los parámetros de sesión de los usuarios.
- Provee acceso a internet
- Provee AAA proxy server
- Provee la tarificación del usuario

- Provee de QoS y de control de admisión basado en parámetros del sistema
- Maneja la movilidad inter-ASN
- Establece túneles entre la ASN y la CSN



Figura 5.32 AAA

5.7.5 Antenas Sectoriales para DBS3900

En el diseño de la red Wimax móvil se contemplo el uso de celdas con antenas sectoriales. Esta celda sectorizada sería divida en 3 sectores los cuales con

ciertos ajustes de optimización nos permitirían la cobertura necesaria por diseño.

Para el caso de este proyecto de tesis se utilizaría la antena de marca SHENGLU modelo SL12432A que tiene un rango de frecuencia de los 2300MHz a los 2700MHz y una apertura de 60°, ideal para zonas urbanas.

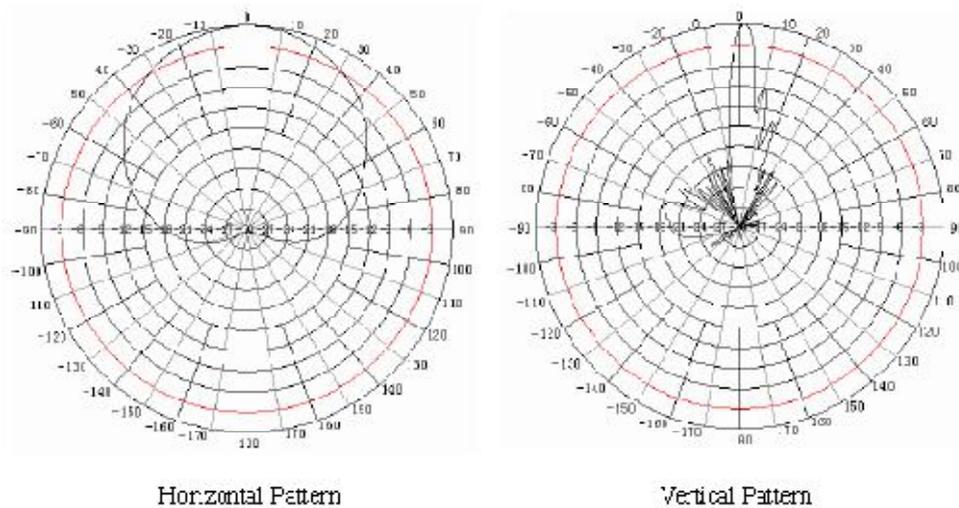


Figura 5.33 Patrón de radiación antena sectorial

5.7.6 Antenas Microondas para DBS3900

Para la red microondas que soportará el tráfico de los Nodos distribuidos se usará el tipo de antena microonda de foco primario de la marca ANTESKY de modelos WTB03-144D, WTB06-144D y WTB12-144D.



Figura 5.34 Foto de antenas MW



Figura 5.35 Foto de antena MW de 1.2m

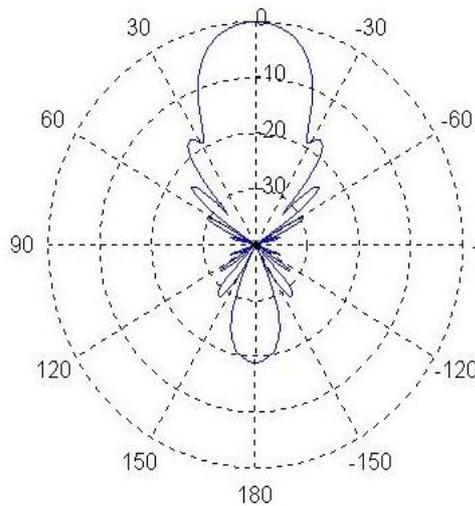


Figura 5.36 Patrón de Radiación antena MW

5.8 Otras aplicaciones de Ingeniería aplicando Wimax

Dentro de las aplicaciones de ingeniería que se le puede dar a la tecnología WiMAX se encuentra 2 particulares que pueden ser materia de otra investigación de tesis o de una aplicación comercial por parte de algún operador local.

5.8.1 WiMAX como Broadband access para tecnologías 2G/3G

En las tecnologías celulares tanto en 2G como 3G la limitante es el ancho de banda que proporcionan estas redes para descarga y navegación de internet, muchas de ellas no son suficiente y muchas veces cuando adquieren más usuarios, se tornan tan lentas, que se vuelven perceptibles para los usuarios. Es aquí donde WiMAX se presenta como una solución al problema del ancho de

banda, ya que al ser una tecnología de banda ancha y fácil de coexistir con otras tecnologías, se pueden instalar estaciones bases co-site con las estaciones 2G/3G, que permitan darle un soporte de ancho de banda a la red de datos, que puede albergar hasta 75 Mbps de carga de datos de manera teórica, presentándose como una alternativa buena para explotarlo comercialmente.

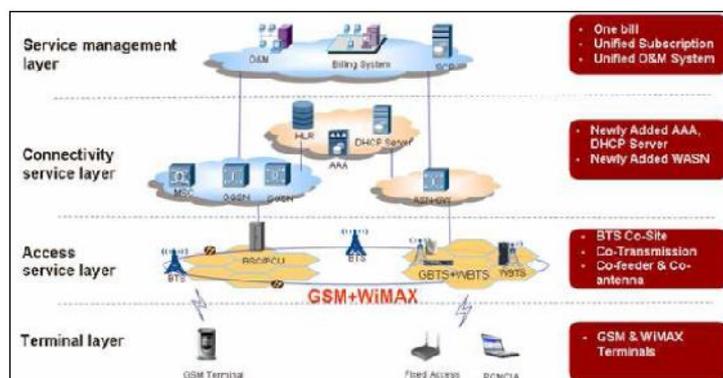


Figura 5.37 Arquitectura co-site WiMAX&GSM

5.8.2 WiMAX como servicios de Backhaul

Otra de las aplicaciones interesantes de la tecnología presentada en este proyecto, es que se puede utilizar como medio de transmisión para enviar grandes volúmenes de información como servir a otras tecnologías. De esta

forma alguna empresa puede proveer servicios de “carrier” para llevar la información de algun arrendador del servicio

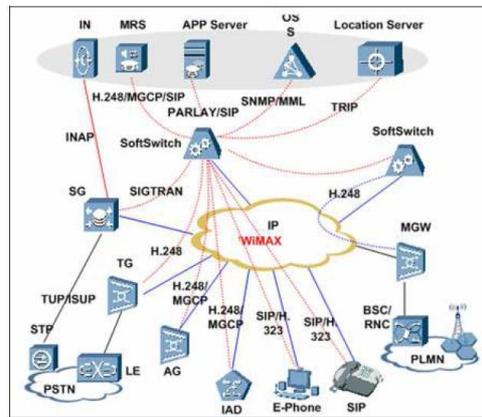


Figura 5.38 WiMAX como Backhaul

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

6.1 Costos de Inversión

Una vez presentado el diseño de la red WIMAX, tanto en acceso como en la parte de Core Network, procedemos a realizar el flujo de caja del proyecto considerando la instalación total de las 214 estaciones base y la instalación del MSO con los equipos del Core Network los cuales nos darán los servicios ofrecidos. La razón principal del estudio económico es demostrar que la red Wimax puede ser rentable para que cualquier empresa operadora pueda evaluar un proyecto de esta magnitud.

Para poder realizar el flujo de caja del proyecto se ha procedido a tener en cuenta los precios de Huawei del Perú S.A.C, que es una de las empresas con mayor horizonte dentro del mundo de las telecomunicaciones y basado en la prestación de servicios presentamos los resultados a continuación.

6.1.1 Red de Acceso

Los costos relacionados con la red de acceso son:

- Node B (DBS 3900, RRU, antenas, jumpers RF y fibras)
- Material Local para el Node B

- Sistema de energía para las estaciones base
- Sistema de puesta a tierra
- Torres
- Adquisición de locales y obras civiles
- Costo de instalación (cooperadores)
- Conectores para antenas
- Herramientas (brújula, inclinómetro, equipos de medición)

6.1.2 Red de Transporte

Los costos relacionados con la red de transporte son:

- Radio Enlaces (IDU, ODU y antena)
- Mástiles para las torres
- MW Brackets para la antena y ODU
- Sistema de energía

- Cable RG-8
- Conectores
- Sistema de puesta a tierra
- Cable de tierra
- Etiquetas
- Costo de instalación (cooperadores)

6.1.3 Core Network

Los costos relacionados con el Core Network son:

- ASN-GW
- AAA
- Firewall
- UMG8900
- SoftX3000
- SG7000
- IPCLK
- M2000
- Cables (Ethernet, Fibra óptica)
- Costo de instalación (cooperadores)

Debido a que algunos de los equipos comparten materiales de instalación , sistema de energía, pozo de tierra asi como trabajos de instalación y espacio en torre, estos gastos serán compartidos con el fin de no incluirlos más de una vez en el flujo de caja.

6.2 Costos de Operación

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

- Costos por operación de la red
- Ingeniería de instalación
- Canon Radioeléctrico
- Mantenimiento preventivo
- Gastos de ventas y marketing
- Alquiler de local para la BTS
- Gastos administrativos
- Impuestos, deudas, etc
- Respuestos

6.3 Factibilidad del Proyecto

6.3.1 CAPEX

Para el CAPEX del proyecto se consideró las 214 BTS que cubren la capacidad requerida, así como también las radios para el transporte del tráfico y los sistemas de Core Network para el procesamiento del tráfico demandado. Se consideró también la compra de terminales para las pruebas en campo y se menciona la infraestructura que la red demanda, obteniendo lo siguiente:

Equipamiento WiMAX		Precio Unit	Qty	Precio total (USD)
BTS/RAS (4T4R)		33,921	214	7,259,115
ASN-GW/ACR WASN9770 (855kusers/2099Mbps Throughput each)		667,625	1	667,625
EMS		447,745	1	447,745
AAA		1,319,396	1	1,319,396
Firewall		86,852	1	86,852
PTN 910		25,473	428	10,902,444
IPCLK		19,784	2	39,568
Accesory				
Antenas y cables opticos		3,530	214	755,420
UPS				
Rectificadores con 4 horas de autonomia (incluye gabinete y baterias)		3,556	214	760,984
Total 1				22,239,149
Infraestructura del proyecto				
Sistema de puesta a tierra		500	214	107,000
Torres		3,000	214	642,000
Costo de instalación de equipos, Site Suney, Comisionamiento y Pruebas		2,947	214	630,658
Adquisición de local y obras civiles		2,340	214	500,760
Costo de instalación de equipos CORE, Comisionamiento y Pruebas		116,163	1	116,163
Total 2				1,996,581
Terminales				
Terminales CPE		250	214	53,500
Terminales USB		150	214	32,100
Total 3				85,600
Total CAPEX				24,321,330

Tabla 6.1 CAPEX

6.3.2 OPEX

A continuación se presenta la tabla con los gastos de operación de la red

Costo promedio por tráfico	Total (USD)
Lima&Callao	1,000,000
Costos de Explotación	
Operaciones de la red	575,472
Mano de obra instalación CPE	46,875
Canon Radioelectrico	3,500
	625,847
Costos de Mantenimiento de equipos	
Mantenimiento Preventivo anual BTS	97,625
Repuestos	25,000
Mantenimiento operativo CPE	65,625
	188,250
Costos de difusión y gastos generales	
Gastos de ventas y marketing	287,736
Alquiler de local BTS	66,000
Compra de local MSO	350,000
Gastos administrativos	345,283
	1,049,019
Externalidades	
Carga tributaria	1,611,320
Total OPEX	4,474,436

Tabla 6.2: OPEX

6.3.3 Flujo de Caja

En la tabla 5.3 se muestra el flujo de caja obtenido para el proyecto WiMAX

Flujo de Caja del Proyecto						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS						
Lima&Callao	0	2500000	7500000	11250000	16875000	25312500
EGRESOS						
Inversión Inicial (CAPEX)	-24,321,330	0	0	0	0	0
Gastos Operativos (OPEX)		4,124,436	5,868,247.44	7,172,975.05	7,986,690.74	7,984,263.68
Costo por tráfico		1,000,000	1,621,743.69	2,162,324.92	2,522,712.41	2,702,906.15
Costo por explotación		625,847	831,355.27	999,322.82	1,113,243.23	820,833.72
Costo por Mantenimiento		188,250	207,075	227,783	239,172	251,130
Gastos de Marketing		287,736	402,829.93	489,150.63	546,697.77	575,471.33
Gastos Administrativos		345,283	483,395.92	489,150.63	437,358.21	345,282.80
Alquileres		66,000	66,000	66,000	66,000	66,000
Cargas Tributarias		1,611,320	2,255,847.63	2,739,243.55	3,061,507.49	3,222,639.47
FLUJO ECONÓMICO	-24,321,330	-1624436	1,631,752.56	4,077,024.95	8,888,309.27	17,328,236.32

COK mensual	1.17%
COK anual	15%
Valor Actual Neto	-8,122,218.4
TIR	5%
PayBack	3

Tabla 6.3: Flujo de caja para el proyecto

Como era de esperarse naturalmente la cantidad de usuarios irá en aumento conforme pasen los años pero como se ve la inversión inicial no se extenderá debido a que se cuenta con el diseño inicial del 100% de cobertura para la zona de Lima. En cuanto al tráfico, el hecho que aumente la ventaja de la tecnología a implementar es que se puede abrir una segunda portadora en donde se requiera por el tráfico de usuarios sin afectar cobertura y aumentando capacidad y con la ayuda de la configuración 4T4R se puede llegar a cubrir futuras necesidades sin tener que aumentar la inversión.

Dado esto se puede ver que el PayBack del proyecto se da en 3 años a pesar de tener el primer año perdida, pero se debe dejar en claro que todo es una suposición ya que no es una red en comercial aún.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Para contar con un buen diseño en telecomunicaciones bajo cualquier tecnología lo primordial es tener claro a quienes queremos llegar, la cobertura que tenemos que ofrecer, la capacidad para ello. Una vez obtenido estos datos se puede empezar el diseño de la red de acuerdo a la tecnología a utilizar por el operador o mediante el documento RFP. En el caso de WiMAX, al ser una tecnología netamente de datos, ya que no se divide en plano de conmutación de circuitos, es vital, además de todo lo anterior mencionado, las capacidades de los servicios a ofrecer y el recurso en Mbps del mismo.

Para el diseño de RF se debe tener en cuenta la división del diseño en las 2 partes principales de todo diseño. La cobertura que te garantiza el cumplimiento de los estatutos impuestos por el MTC cuando se licencia una banda para uso comercial. La capacidad que rige el margen comercial de la operadora a desplegar la red, juntos se puede llevar a cabo un diseño de la red que sólo te deja espacio para la optimización sin necesidad de correcciones en el diseño.

Se puede concluir que las redes desplegadas con tecnología IP son mucho más baratas y versátiles en cuanto a mantenimiento y confiabilidad que las redes de E1, por ejemplo si se quiere desplegar una red con transmisión E1 como Claro no puede crecer en capacidad por las radios que manejan pueden soportar hasta 8E1. Para una red WiMAX, ya que se habla de banda Ancha, se debe pensar en una red de transporte SDH con MW o con redes METRO de F.O (DWDM, Routers de Borde). Para el proyecto se escogió MW ya que es rápido de desplegar y no incurre en costos de obras civiles.

Se puede apreciar con el payback de 3 años que la red de Wimax Móvil es rentable bajo toda condición, quizá se necesita un poco más de apoyo gubernamental para fomentar el desarrollo de nueva tecnología y la implementación de la misma con el fin de tener proyectos como este, en los cuales los inversionistas pueden ver que la inversión es factible y se puede atender a partes de la población que aún se encuentran desatendidos.

Si bien es cierto, se trata de un proyecto de pre-inversión, cuando pase a cotización e implementación el costo no será muy elevado ya que se está considerando el despliegue total de los nodos B para tener la cobertura deseada y así poder atender la demanda planificada.

Ello nos da cierta ventaja ante cualquier otro operador que realiza el despliegue por fases, lo cual hace aún más interesante el proyecto de tesis.

Con el presente trabajo de tesis podemos concluir que la hipótesis planteada al inicio del presente trabajo queda demostrada teóricamente como una solución al problema de ancho de banda, de la que carecen las redes actuales de 3G.

CITAS DE FIGURAS

Figura 2.3: NORTEL NETWORKS, WiMAX, 2007 (vi: 20 de Mayo del 2009) www.nortel.com/solutions/wimax/Nortel%20mobile.pdf

Figura 2.4: IEEE: Estándar for local and metropolitan area networks (IEEE 802.16e- 2005). New York, 2005. p.317

Figura 2.5: Ibid, idem. p.325

Figura 2.6: ANDREWS, Jeffrey et al. Fundamentals of Wimax. Pearson Education, Inc. New Jersey:2007. P.200

Figura 2.7: IEEE, op cit. P.343 Figura 2.8: Ibid, idem. p.351 Figura 2.9: Ibid, idem. p.368

Figura 2.10: Ibid, idem. p.381

Figura 2.11: ANDREWS, Jeffrey et al, op cit. P.343 Figura 2.12: Ibid, idem. p.291

Figura 2.13: IEEE, op cit. P.345

Figura 2.14: ANDREWS, Jeffrey et al, op cit. P.346

Figura 2.15: IEEE, op cit. P.363 Figura 2.16: Ibid, idem. p.384

Figura 2.17: ANDREWS, Jeffrey et al, op cit. P.374 Figura 2.18: Ibid, idem. p.333

Figura 2.19: Ibid, idem. p.289 Figura 2.20: IEEE, op cit. P.431

Figura 2.21: ANDREWS, Jeffrey et al, op cit. P.352 Figura 2.22: Ibid, idem. p.368
Figura 2.23: Ibid, idem. p.373 Figura 2.24: Ibid, idem. p.365 Figura 2.25: Ibid, idem. p.346
Figura 2.26: Ibid, idem. p.368 Figura 2.27: IEEE, op cit. P.512
Figura 3.1: MUNICIPALIDAD DE LIMA, Lima, 2009 (vi: 2 de Agosto del 2009)
<http://www.munlima.gob.pe/Contenidos/Servicios.aspx>
Figura 3.2: INEI, Peru, 2007 (vi: 14 de Julio del 2009) <http://www.inei.gob.pe/censo> Figura
3.3: Ibid idem. <http://www.inei.gob.pe/censo>
Figura 3.4: OSIPTEL, Peru, 2006 (vi: 20 de Agostodel 2009)
<http://www.osiptel.gob.pe/mercadotelco>
Figura 5.2: HUAWEI, Wimax, 2007 (vi: 3 de Setiembre del
2009) <http://support.huawei.com/ASN.apx>
Figura 5.3: OFDMA, Wimax, 2007 (vi: 3 de Setiembre del 2009) <http://www.atdi-ics.com/nG>
Figura 5.4: LINK BUDGET, Wimax, 2006 (vi: 10 de setiembre del 2009)
<http://www.zte.com.cn/intranet/suppportcdma>
Figura 5.9: MIRANDA, Jose Miguel, et al. Ingenieria de Microondas. Prentice-hall,
Madrid:2002. P.58
Figura 5.10: Ibid, idem. P. 63 Figura 5.11: Ibid, idem. P.66 Figura 5.12: Ibid, idem. P.113
Figura 5.13: Ibid, idem. P.116
Figura 5.19: HUAWEI, Wimax, 2007 (vi: 18 de Setiembre del
2009) <http://support.huawei.com/ASN9770.apx>
Figura 5.20: Ibid, idem. <http://support.huawei.com/ASN9770.apx> Figura 5.21: Ibid, idem.
<http://support.huawei.com/ASN9770.apx>
Figura 5.22: Ibid, idem. <http://support.huawei.com/ASN9770.apx>
Figura 5.23: ELTEK, Eltek1,2001 (vi: 10 de Agostodel 2009)
<http://www.eltk.com/products/eltek1>
Figura 5.28: HUAWEI, Wimax, 2007 (vi: 18 de Setiembre del
2009) <http://support.huawei.com/DBS3900.apx>
Figura 5.33: HUAWEI, op cit. <http://support.huawei.com/ASN9770.apx> Figura 5.34: Ibid,
idem. <http://support.huawei.com/ASN9770.apx>

WEBGRAFIA

- [Huawei] Huawei Co. URL: www.huawei.com y <http://support.huawei.com/wimax/equipments>
- [Nortel2007] Propuesta tecnologica de Nortel. URL: [www.nortel.com /products/wimax](http://www.nortel.com/products/wimax)
- [MLM2007] Municipalidad Metropolitana de Lima. URL: <http://www.munlima.gob.pe/Contenidos/Servicios.aspx>
- [INEI2007] Instituto Nacional de Estadisticas e Informatica. URL: [www.inei.gob.pe /censo](http://www.inei.gob.pe/censo)
- [ZTE] ZTE Corp. URL: [www.zte.com.cn /products/wimax](http://www.zte.com.cn/products/wimax)
- [OSIPTEL2006] Organismo regulador de las telecomunicaciones. URL: www.osiptel.gob.pe
- [MTC2008] Ministerio de transporte y comunicaciones. URL: www.mtc.gob.pe

BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, Jeffrey y otros
Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking, Edit. Prentice-Hall. 2007 2da Edi.
- BLAKE, Roy
Sistemas Electronicos de comunicaciones, Edit. Thomson. 2004 2da Edi. KUHN, Volker
Wireless Communications over MIMO channels, Edit Wiley. 2006 2da Edi. MIRANDA, Jose y otros
Ingenieria de Microondas: Tecnicas Experimentales, Edit. Prentice-hall. 2002. 1era Edi.
- SMITH, Clint y otros
3G Wireless with wimax and Wi-Fi 802.16 and 802.11, Edit. McGrawhill. 2005. 2da