



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

**“DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE
BANDA ANCHA QUE PERMITA PROVEER SERVICIO DE TRIPLE
PLAY PARA LA CIUDAD DE GUARANDA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Para optar el Grado Académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA: DIANA CAROLINA ATI ANDALUZ

TUTOR: ING. OSWALDO MARTINEZ GUASHIMA

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Diana Carolina Ati Andaluz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo tecnológico: **DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA QUE PERMITA PROVEER SERVICIO DE TRIPLE PLAY PARA LA CIUDAD DE GUARANDA**, de responsabilidad de la señorita Diana Carolina Ati Andaluz, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación

DR. WASHINGTON LUNA
DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

ING. FRANKLIN MORENO
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
TELECOMUNICACIONES Y REDES

ING. OSWALDO MARTÍNEZ
DIRECTOR DE TESIS

ING. DAVID MORENO
MIEMBRO DE TESIS

Yo, Diana Carolina Ati Andaluz, soy responsable por las ideas, criterios, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo y el patrimonio del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Diana Carolina Ati Andaluz

DEDICATORIA

A Dios por ser quien me ha guiado cada día para cumplir una de mis principales metas y por cada una de sus bendiciones.

A mis padres por estar presentes en cada etapa de mi vida y quienes con sus consejos me han apoyado de forma incondicional. A mi hermana por brindarme palabras de motivación, superación y por compartir momentos agradables y que en base a mi ejemplo continué con su formación académica.

Diana Carolina Ati Andaluz

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres y hermana por demostrarme que con amor, dedicación y perseverancia se puede alcanzar todas las metas planteadas.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo quien me abrió las puertas para obtener una formación académica y a cada uno de los docentes quienes con sus exigencias y conocimientos me enseñaron a vencer cualquier obstáculo que se me presente.

Un agradecimiento especial a mi Director de Tesis Ing. Oswaldo Martínez quien contribuyo con su paciencia, guía y asesoramiento para que esta meta sea posible.

A mis familiares, amig@s y novio quienes me han acompañado en todo el trayecto de mi carrera Universitaria.

Gracias a todos de corazón.

Diana Carolina Ati Andaluz

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1. MARCO REFERENCIAL	5
1.1 Redes Inalámbricas.....	5
1.1.1 Definición de redes inalámbricas	5
1.1.2 Características de redes inalámbricas	5
1.1.2.1 Microondas terrestres	5
1.1.2.2 Microondas por satélite	5
1.1.2.3 Infrarrojos.....	6
1.1.3 Tipos de redes inalámbricas.....	6
1.1.3.1 WPAN (Wireless Personal Area Network).....	6
1.1.3.2 WLAN (Wireless Local Area Network)	7
1.1.3.3 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)	7
1.1.3.4 WWAN (Wireless Wide Area Network).....	7
1.1.4 Aplicaciones de redes inalámbricas.....	7
1.2 Tecnología WiMax	8
1.2.1 Definición de la Tecnología WiMax.....	8
1.2.2 Evolución de estándares WiMax	9
1.2.3 Características Técnicas de WiMax	10
1.2.3.1 Topologías de Red.....	10
1.2.3.2 Calidad de Servicio	13
1.2.3.3 Disponibilidad del espectro WiMax.....	16
1.2.3.4 Seguridad	18
1.2.3.5 Características Adicionales	18
1.2.4 Funcionamiento de la red WiMax.....	19
1.2.5 Tipos de redes WiMax.....	21
1.2.5.1 Acceso Fijo.....	21

1.2.5.2	<i>Acceso Móvil</i>	21
1.2.5.3	<i>Acceso Portátil</i>	22
1.2.5.4	<i>Acceso Nomádico</i>	22
1.2.6	<i>Aplicaciones que ofrece WiMax</i>	22
1.3	Tecnología LTE	23
1.3.1	<i>Definición de LTE</i>	23
1.3.2	<i>Características de LTE</i>	24
1.3.3	<i>Parámetros Básicos</i>	24
1.3.4	<i>Arquitectura del sistema LTE</i>	25
1.3.4.1	<i>Arquitectura general del sistema LTE</i>	25
1.3.5	<i>Canales de comunicación LTE</i>	29
1.3.5.1	<i>Canales Lógicos</i>	29
1.3.5.2	<i>Canales de Transporte</i>	30
1.3.5.3	<i>Canales Físicos</i>	31
1.3.6	<i>Numeración y direccionamiento de LTE</i>	31
1.3.6.1	<i>Numeración</i>	31
1.3.6.2	<i>Direccionamiento</i>	32
1.4	Tecnología Wi-Fi	32
1.4.1	<i>Evolución del estándar de Wi-Fi</i>	32
1.4.2	<i>Definición de Wi-Fi</i>	34
1.4.3	<i>Funcionamiento de la red Wi-Fi</i>	34
1.4.3.1	<i>Modo Sin Infraestructura</i>	34
1.4.3.2	<i>Modo Infraestructura</i>	35
1.4.4	<i>Arquitectura general de Wi-Fi</i>	35
1.4.4.1	<i>Elementos de una red Wi-Fi</i>	35
1.4.5	<i>Técnicas de Modulación</i>	36
1.4.5.1	<i>FHSS (espectro esparcido por salto de frecuencia)</i>	36
1.4.5.2	<i>DSSS (Espectro esparcido por secuencia directa)</i>	37
1.4.5.3	<i>OFDM (Modulación por división de frecuencias ortogonal)</i>	37
1.4.6	<i>Aplicaciones de Wi-Fi</i>	37
1.4.6.1	<i>Redes Privadas</i>	37
1.4.6.2	<i>HotSpot</i>	38
1.4.6.3	<i>Operadores WAN</i>	38
1.5	Servicio Triple Play	38

1.5.1	<i>Definición</i>	39
1.5.2	<i>Funcionamiento</i>	39
1.5.3	<i>Elementos</i>	39
1.5.3.1	<i>Distribuidores de servicio</i>	40
1.5.3.2	<i>Red de Transporte</i>	40
1.5.3.3	<i>Red de Acceso</i>	40
1.5.3.4	<i>Red de Abonado</i>	40
1.5.4	<i>Fundamentos de Tráfico</i>	40
1.5.4.1	<i>Calidad de Servicio</i>	41
1.5.4.2	<i>Perturbaciones en Servicios de Voz</i>	41
1.5.4.3	<i>Perturbaciones en Servicios de Video</i>	41
1.5.4.4	<i>Perturbaciones en Servicios de Datos</i>	41
1.5.5	<i>Descripción de los Servicios Triple Play</i>	42
1.5.5.1	<i>Voz</i>	42
1.5.5.2	<i>Video</i>	42
1.5.5.3	<i>Internet</i>	43
1.6	TEORIA DE ANTENAS	43
1.6.1	<i>Parámetros de las antenas</i>	43
1.6.1.1	<i>Impedancia</i>	44
1.6.1.2	<i>ROE (Relación de onda estacionaria)</i>	44
1.6.1.3	<i>Intensidad de radiación</i>	44
1.6.1.4	<i>Directividad</i>	44
1.6.1.5	<i>Polarización</i>	44
1.6.1.6	<i>Ancho de Banda</i>	45
1.6.1.7	<i>Ganancia</i>	45
1.6.1.8	<i>Eficiencia</i>	45
1.6.1.9	<i>Diagrama de Radiación</i>	46
 CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	47
2.1	Metodología de Investigación	47
2.1.1	<i>Tipos de investigación</i>	47
2.1.1.1	<i>Investigación Analítica</i>	47

2.1.1.2	<i>Investigación Descriptiva</i>	47
2.1.1.3	<i>Investigación Bibliográfica</i>	47
2.2	Metodología del diseño de la red inalámbrica WiMax	48
2.2.1	Descripción de fabricantes	48
2.2.1.1	<i>Alvarion Technologies</i>	48
2.2.1.2	<i>Airspan</i>	48
2.2.1.3	<i>Albenia Systems</i>	49
2.2.1.4	<i>Aperto Networks</i>	49
2.2.1.5	<i>Mercury Networks</i>	49
2.2.1.6	<i>Ubiquiti Networks</i>	50
2.2.2	Descripción de los equipos utilizados	50
2.2.2.1	<i>Enlaces Punto a Punto</i>	51
2.2.2.2	<i>Enlaces Punto a Multipunto</i>	54
2.2.2.3	<i>Otros Equipos</i>	59
2.2.3	Radioenlaces Digitales	60
2.2.3.1	<i>Características de radioenlaces</i>	60

CAPITULO III

3.	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA WIMAX	64
3.1	Introducción	64
3.2	Condiciones para el desarrollo	64
3.2.1	<i>Interferencia</i>	64
3.2.2	<i>Rendimiento</i>	64
3.2.3	<i>Escalabilidad</i>	65
3.2.4	<i>Frecuencia a Utilizar</i>	65
3.2.4.1	<i>Reglamentos de Telecomunicaciones en Ecuador</i>	65
3.2.4.2	<i>Canales Operables</i>	66
3.2.5	<i>Topología de Red</i>	66
3.3	Factibilidad Técnica	66
3.3.1	<i>Esquema de conexión mediante la tecnología WiMax</i>	66
3.3.2	<i>Planificación de Frecuencias</i>	67
3.3.2.1	<i>Enlace Punto a Punto</i>	67
3.3.2.2	<i>Enlace Punto a Multipunto</i>	68

3.4	Software de Simulación	68
3.4.1	<i>Radio Mobile</i>	69
3.4.2	<i>Google Earth</i>	69
3.5	Análisis Informativo.....	69
3.5.1	<i>Análisis Topográfico</i>	70
3.6	Desarrollo del Diseño	70
3.6.1	<i>Equipo activo</i>	70
3.6.2	<i>Simulación de Enlaces</i>	71
3.6.2.1	<i>Coordenadas Geográficas.</i>	71
3.6.2.2	<i>Enlace Punto a Punto</i>.....	73
3.6.2.3	<i>Enlace Punto a Multipunto</i>	78
3.6.2.4	<i>Cobertura del Sistema Estación Base (BS)</i>.....	81
3.7	Factibilidad Económica	84
3.7.1	<i>Costo de materiales para la red</i>.....	84
3.7.3	<i>Backhaul</i>.....	85
3.7.4	<i>Gastos Instalación</i>.....	85
	 CONCLUSIONES	 75
	RECOMENDACIONES	77
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Evolución y descripción del estándar WiMax IEEE 802.16.	9
Tabla 2-1:	Asignación mundial de bandas autorizadas.....	17
Tabla 3-1:	Parámetros básicos LTE.....	24
Tabla 4-1:	Canales lógicos utilizados por LTE.....	29
Tabla 5-1:	Canales transporte utilizados por LTE.....	30
Tabla 6-1:	Numeración de un área de la red LTE.....	31
Tabla 7-1:	Estándares utilizados en las redes Wi-Fi.....	32
Tabla 1-2:	Especificaciones técnicas de Antena AirMax.....	51
Tabla 2-2:	Ubiquiti M5 Radiotransmisor Rocket.....	54
Tabla 3-2:	Especificaciones técnicas de Antena AirMax Sectorial.....	55
Tabla 4-2:	Especificaciones técnicas del Transmisor ROCKET M2.....	56
Tabla 5-2:	Especificaciones técnicas del LOCO serie M2.....	59
Tabla 1-3:	Valores de enlace punto a punto (Transmisor).....	67
Tabla 2-3:	Valores de enlace punto a punto (Receptor).....	68
Tabla 3-3:	Cobertura Sistema Estación Base (Transmisor).....	68
Tabla 4-3:	Cobertura Sistema Estación Base (Receptor).....	68
Tabla 5-3:	Parámetros descriptivos.....	69
Tabla 6-3:	Equipos principales.....	71
Tabla 7-3:	Coordenadas Geográficas y altitud.....	71
Tabla 8-3:	Equipamiento de Estación Base.....	84
Tabla 9-3:	Equipamiento de Unidades Suscriptoras.....	85
Tabla 10-3:	Equipamiento para el Backhaul.....	85
Tabla 11-3:	Gastos Instalación.....	86
Tabla 12-3:	Gastos de Implementación Total.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Tipos de redes inalámbricas, según su cobertura	6
Figura 2-1:	Logotipo de la marca WiMax	8
Figura 3-1:	Red WiMax y sus aplicaciones	9
Figura 4-1:	Topología WiMAX enlace Punto a Punto	11
Figura 5-1:	Topología WiMAX enlace Punto a Multipunto.....	12
Figura 6-1:	Topología WiMAX enlace en Mallas	12
Figura 7-1:	Fases de Implementación de QoS	14
Figura 8-1:	Flujos de Servicio QoS	15
Figura 9-1:	Diferencia en la ubicación del CPE y enlace NLOS.....	16
Figura 10-1:	Funcionamiento de WiMax.....	19
Figura 11-1:	Enlace LOS y primera zona de Fresnel.....	20
Figura 12-1:	Enlace NLOS y la zona de Fresnel	21
Figura 13-1:	Logotipo LTE.....	23
Figura 14-1:	Esquema general de la arquitectura del sistema LTE	26
Figura 15-1:	Arquitectura de UMTS en la Red (E-UTRAN)	27
Figura 16-1:	Descripción de la arquitectura (E-UTRAN)	28
Figura 17-1:	Logotipo de la marca WiFi	34
Figura 18-1:	Entornos de la WiFi	37
Figura 19-1:	Diagrama de Triple Play	39
Figura 20-1:	Servicios triple play	42
Figura 21-1:	Polarización.....	45
Figura 22-1:	Diagrama de Irradiación, a) Isotrópico, b) Omnidireccional, c) Directivo	46
Figura 1-2:	Equipos para WiMax	50
Figura 2-2:	Antena AirMax ROCKETDISH RD-5G34	51
Figura 3-2:	Diagrama de radiación de la Antena AirMax	52
Figura 4-2:	Ubiquiti M5Radiotransmisor Rocket	53
Figura 5-2:	Enlace PtP con Radiotransmisor	53
Figura 6-2:	Vista lateral de laAntena AirMax Sectorial	54
Figura 7-2:	Diagrama de radiación de la Antena sector 2G-16-90.....	55
Figura 8-2:	Transmisor ROCKET M2.....	56
Figura 9-2:	Transmisor ROCKET M2.....	57

Figura 10-2:	Diagrama de radiación y pérdida de retorno de la antena Nano estación	58
Figura 11-2:	BreezeNET B100 5.4 GHz	59
Figura 12-2:	Características Zona de Fresnel	61
Figura 1-3:	Esquema de conexión	67
Figura 2-3:	Ubicación de la Estación Base (Cerro Guanguliquin)	70
Figura 3-3:	Cerro Guanguliquin lugar donde se ubicará la estación base (BS)	72
Figura 4-3:	Ubicación de la estación base, puntos de acceso y entrada del backhaul.	72
Figura 5-3:	Ubicación de la BS, puntos de acceso y backhaul en Google Earth.	73
Figura 6-3:	Enlace entre Estación Base y el Backhaul en Radio Mobile.	73
Figura 7-3:	Simulación con los valores determinados para el enlace PtP.	74
Figura 8-3:	Valores determinados por el simulador en el Backhaul.....	75
Figura 9-3:	Umbral del receptor.	75
Figura 10-3:	Umbral estadístico requerido del Backhaul.	76
Figura 11-3:	Vista de 80° del Backhaul.....	76
Figura 12-3:	Enlace entre BS y Backhaul en Google Earth.....	77
Figura 13-3:	Línea de vista real desde el cerro Guanguliquin hacia la matriz.....	77
Figura 14-3:	Enlace entre Estación Base y el U1 en Radio Mobile.....	78
Figura 15-3:	Simulación con los valores predeterminados de BS y U1.	78
Figura 16-3:	Valores determinados de BS y el U1.	79
Figura 17-3:	Umbral estadístico requerido entre BS y Backhaul.....	79
Figura 18-3:	Vista de 20° de la BS al U1.	80
Figura 19-3:	Enlace entre BS y el U1 en Google Earth.....	80
Figura 20-3:	Enlaces entre de BS, Usuarios y Backhaul.	81
Figura 21-3:	Vista 3D de los enlaces entre de BS, Usuarios y Backhaul.	81
Figura 22-3:	Cobertura de la BS en 3D.	82
Figura 23-3:	Enlace entre BS, Usuarios y el Backhaul en Google Earth.....	82
Figura 24-3:	Cobertura final	83
Figura 25-3:	Vista real de la Zona de Cobertura a la ciudad de Guaranda	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Enlaces Punto a Multipunto

Anexo B: Especificaciones técnicas de Equipos Utilizados

RESUMEN

El presente Trabajo de Titulación tuvo como objetivo el diseñar y planificar una red inalámbrica de banda ancha que permita proveer servicio de triple play dentro de la ciudad de Guaranda, para la cual se efectuó una investigación teórica y científica de las redes: WiMax, LTE y WiFi. Además, se analizaron las tecnologías existentes que cumplen con los parámetros y características necesarias para brindar servicios de banda ancha y proveer de la mejor manera servicios de triple play. De acuerdo al análisis realizado se determinó que la red inalámbrica WiMax cumple con los requerimientos deseados que nos permite efectuar el diseño y la planificación de la red. Posteriormente se eligieron los equipos adecuados que contienen características inalámbricas permitiendo la implementación de los servicios antes mencionados. Se utilizó el software de planificación Radio Mobile, con el cual se realizaron simulaciones de radioenlaces para obtener perfiles y cálculos con muy poco margen de error, por ende, el correcto funcionamiento de los enlaces y coberturas se aproximan a valores reales para ofrecer resultados factibles los mismos que se exportaron a Google Earth, que contiene mapas y topografía adecuada para la arquitectura de red, de esta manera se pudieron visualizar los resultados en ambientes 3D. Luego de los análisis correspondientes, se concluye que la red inalámbrica WiMax es más flexible, escalable, viable y admisible para dar servicio triple play (voz, video y datos), por lo tanto, se recomienda la implementación de esta red debido a su gran ancho de banda y seguridad.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <COMUNICACIONES INALÁMBRICAS>, <RED INALAMBRICA>, <WIMAX (TECNOLOGÍA)>, <RADIO MOBILE (SOFTWARE)>, <BANDA ANCHA>, <TRIPLE PLAY>.

SUMMARY

The purpose of the current graduation work was to design and plan a Wireless broadband that allows providing triple play service in the city of Guaranda, for this, it was necessary to carry out a theoretical and scientific research of WiMAX, LTE and Wi-Fi networks. In addition, the existing technologies fulfilling the necessary parameters and characteristics were analyzed to offer broadband services as well as providing the triple play services in an optimal way. According to the analysis carried out, it was determined that WiMAX wireless network meets the required parameters, this allows implementing the design and the planning of the network. Then, the appropriate equipment containing wireless characteristics was selected, this permitted to implement the services previously mentioned. The Radio Mobile planning software was used to make radio trunking simulations in order to obtain profiles and calculations with very low error rate. Therefore, the right performance of links and coverages are approximate to real values to offer feasible results that were exported to Google Earth, they contain maps and appropriate topography for network architecture; in this way, it was possible to visualize the results in 3D. After making the corresponding analysis it was concluded that WiMAX network is flexible, scalable, viable and admissible to provide triple play (voice, video and data) service, thus it is recommended to implement this network due to its large bandwidth and safety.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE> <TELECOMMUNICATIONS>
<WIRELESS COMMUNICATIONS> <WIRELESS NETWORK> <WIMAX (TECHNOLOGY)>
<RADIO MOBILE (SOFTWARE)> < BROADBAND> <TRIPLE-PLAY>

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

En la actualidad es fundamental mantenernos en constante comunicación, por esta razón la red inalámbrica en las zonas urbanas y rurales de nuestro país se ha ido extendiendo junto con los avances tecnológicos para satisfacer las necesidades del ser humano.

En el Ecuador existen pocas ciudades que poseen tecnología inalámbrica ya que su adquisición de equipos para los usuarios tiene un valor costoso, es por esta razón que se trata de encontrar formas para acceder a estos servicios, una de las soluciones es realizar un estado de arte sobre las tecnologías inalámbricas entre ellas esta: WiMax, LTE y Wi-fi, una de estas tecnologías debe tener características específicas que nos permita cumplir con nuestras expectativas.

El diseño de redes que permiten el acceso a servicios de telecomunicaciones a las zonas menos favorecidas del país, contribuye con la disminución de esta brecha; aquí la importancia trascendental de un diseño que cumpla con los requerimientos de los usuarios, que sea escalable y viable.

Las tecnologías inalámbricas permiten servicios de calidad, fomenta el acceso universal a los servicios de telecomunicaciones brindando la adecuada cobertura y promoviendo el establecimiento eficiente del aprendizaje, comunicación, información, entretenimiento y un sin número de actividades.

De lo expuesto anteriormente nace la necesidad de realizar este proyecto y utilizar tecnología inalámbrica de banda ancha que permita proveer servicios de triple play en una zona urbana.

La experiencia que se adquirirá con este estudio brinda un beneficio personal al poder ampliar conocimientos y aportar el estudio de una posible solución inalámbrica para un futuro proyecto en la ciudad. Desarrollar destrezas y habilidades adquiridas a lo largo de la utilización del software, poniendo estas en práctica.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible realizar el diseño y planificación de una red inalámbrica de banda ancha que permita proveer servicio de triple play para la ciudad de Guaranda?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Para dar solución al problema planteado, es necesario ir respondiendo durante el desarrollo del trabajo las siguientes interrogantes:

¿Cómo se realizará el diseño para dar servicio triple play?

¿Qué características debe tener el diseño para que funcione correctamente el servicio triple play?

¿Qué software de simulación es recomendable para cubrir los objetivos planteados?

¿Cómo influirá el diseño y que beneficios se podría obtener del mismo?

JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Hoy en día las redes inalámbricas son muy importantes porque nos permiten enviar y compartir información de manera satisfactoria para tener una mejor comunicación. Además, existen pocos proyectos que se han desarrollado en nuestro país por esta razón hemos decidido contribuir con este plan que nos permite realizar el respectivo estudio para conocer el estado del sector donde se va a efectuar la planificación, el requerimiento de servicios y el diseño de la cobertura analizando las diferentes tecnologías.

En la ciudad donde se desea aplicar el proyecto existe un solo proveedor que no abarca con toda la población y no brinda este servicio a los lugares remotos de la misma. El servicio triple play es esencial e indispensable para la comunicación ya que está influyendo en el desarrollo del individuo y la sociedad.

Este proyecto dará más conocimiento con respecto a las presentes tecnologías inalámbricas como WiMax, LTE y Wi-Fi, las cuales puedan brindar diferentes servicios como datos, voz y video con un ancho de banda potencial para poder trabajar con mayor desempeño.

Además, se evaluará la factibilidad técnica y económica para una posible implementación con la finalidad de brindar mayores velocidades de acceso a los servicios antes mencionados en la ciudad de Guaranda.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

Este trabajo dejara las bases establecidas para su posterior ejecución mostrando a organizaciones gubernamentales y privadas de telecomunicaciones de la ciudad y país los diferentes beneficios de esta tecnología inalámbrica.

Debido a esto se presenta el diseño y planificación de una red inalámbrica para proveer el servicio triple play, por ende, el trabajo presentado será un aporte dando mayores beneficios al usuario. También se investigará las diferentes características y funcionamiento de cada una de las tecnologías inalámbricas para poder obtener un resultado exitoso lo cuales cumplan con todos los requerimientos deseados.

El diseño en si consiste en poner una estación base que cuente con los dispositivos para soportar la tecnología inalámbrica adecuada y así transmitir hacia sus receptores cercanos en el rango de espacio que ocupa esta red.

Para la cobertura que tendrá la estación base, utilizaremos software y simuladores los cuales permitan mostrar el rango posible a alcanzar y la cantidad de receptores que pueden conectarse, así mismo en la parte de los receptores se considera el tipo de conexión y las pérdidas que se obtendrían al momento de prestar los servicios.

Se realizará un presupuesto para saber el costo de implementación de esta red, para así dar a conocer a la empresa interesada, la cantidad de dinero que debería invertir para obtener este servicio y pueda mejorar las condiciones de vida de las personas.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Diseño y planificación de una red inalámbrica de banda ancha que permita proveer servicio de triple play.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un estado de arte de las tecnologías como WIMAX, LTE y WIFI.
- Analizar la tecnología que cumpla con los requerimientos técnicos para diseñar la red inalámbrica.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica del proyecto.
- Efectuar la planificación de la red inalámbrica de banda ancha que permita proveer servicio triple play en la ciudad de Guaranda

CAPITULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Redes Inalámbricas

1.1.1 Definición de redes inalámbricas

Una red inalámbrica es aquella que permite conectar diversos nodos sin utilizar una conexión física, sino estableciendo la comunicación mediante ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción de los datos requieren de dispositivos que actúan como puertos.

1.1.2 Características de redes inalámbricas

Las características de las redes inalámbricas se establecen de acuerdo al rango de frecuencias que se utiliza para la transmisión correspondiente, el medio de transmisión pueden ser las microondas terrestres o por satélite y los infrarrojos.

1.1.2.1 Microondas terrestres

Se utilizan antenas parabólicas con un diámetro aproximado de unos tres metros. Tienen una cobertura de kilómetros, pero con el inconveniente de que el emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados. Por eso, se acostumbra a utilizar en enlaces punto a punto en distancias cortas. En este caso, la atenuación producida por la lluvia es más importante ya que se opera a una frecuencia más elevada. Las microondas comprenden las frecuencias desde 1 hasta 300 GHz.

1.1.2.2 Microondas por satélite

Se hacen enlaces entre dos o más estaciones terrestres que se denominan estaciones base. El satélite recibe la señal (denominada señal ascendente) en una banda de frecuencia, la amplifica y la retransmite en otra banda (señal descendente). Cada satélite opera en unas bandas concretas. Las fronteras frecuenciales de las microondas, tanto terrestres como por satélite, con los infrarrojos y las

ondas de radio de alta frecuencia se mezclan bastante, así que puede haber interferencias con las comunicaciones en determinadas frecuencias inalámbricas.

1.1.2.3 Infrarrojos

Se enlazan transmisores y receptores que modulan la luz infrarroja no coherente. Deben estar alineados directamente o con una reflexión en una superficie. No pueden atravesar las paredes. Los infrarrojos van desde 300 GHz hasta 384 THz.

1.1.3 Tipos de redes inalámbricas

Existen distintos tipos de comunicación inalámbrica, dependiendo del alcance definido por cada estándar se clasifican en la siguiente forma:

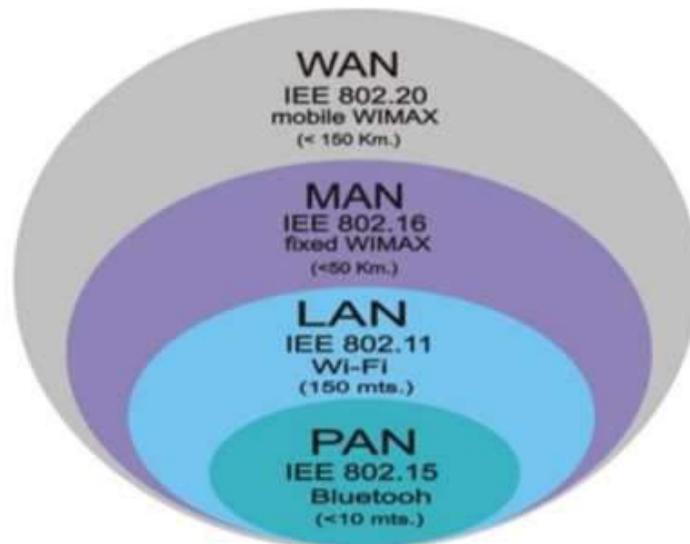


Figura 1-1: Tipos de redes inalámbricas, según su cobertura

Fuente: IEEE 802 Wireless Standards

1.1.3.1 WPAN (Wireless Personal Area Network)

WPAN significa Red de Área Personal Inalámbrica tiene como finalidad comunicar cualquier dispositivo personal (ordenador, terminal móvil, PDA, etc.) con sus periféricos, así como permitir una comunicación directa a corta distancia entre estos dispositivos. Tiene un alcance máximo de 10 metros y puede aumentar juntando varias piconets formando una Scatternet.

1.1.3.2 WLAN (Wireless Local Area Network)

WLAN significa Red de Área Local Inalámbrica pueden presentar mejoras con respecto a la velocidad según sus estándares y alcanza una distancia de hasta 20 Km. Utiliza Access Point para distribuir equipos de comunicación inalámbricos, y ese mismo forma una red inalámbrica que interconecta dispositivos móviles o tarjetas de red inalámbricas. Pueden conectarse a una red de espacios públicos, campus empresariales o edificios corporativos y permiten disminuir las conexiones cableadas.

1.1.3.3 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

WMAN significa Red de Área Metropolitana Inalámbrica permiten alcanzar mayor cobertura y ancho de banda entre varias ubicaciones geográficas muy extensas, en una cobertura de 50 Km, sin el alto costo que supone una implementación con cables de cobre o fibra óptica y el alquiler de las líneas.

1.1.3.4 WWAN (Wireless Wide Area Network)

WWAN significa Red de Área Extensa Inalámbrica utilizan tecnologías de red celular de comunicaciones móviles como para transferir los datos y también incluye LMDS y Wi-Fi autónoma para conectar a internet mediante el uso de sistemas satelitales o antenas ubicadas estratégicamente para garantizar la cobertura del servicio.

1.1.4 Aplicaciones de redes inalámbricas

- Mediante las microondas terrestres, existen diferentes aplicaciones basadas en protocolos como Bluetooth o ZigBee para interconectar ordenadores portátiles, PDAs, teléfonos u otros aparatos. También se utilizan las microondas para comunicaciones con radares (detección de velocidad u otras características de objetos remotos) y para la televisión digital terrestre.
- Las microondas por satélite se usan para la difusión de televisión por satélite, transmisión telefónica a larga distancia y en redes privadas.
- Los infrarrojos tienen aplicaciones como la comunicación a corta distancia de los ordenadores con sus periféricos. También se utilizan para mandos a distancia, ya que así no

interfieren con otras señales electromagnéticas, por ejemplo, la señal de televisión. Otros usos que tienen los infrarrojos son técnicas como la termografía, la cual permite determinar la temperatura ("calor") de objetos a distancia.

1.2 Tecnología WiMAX

1.2.1 Definición de la Tecnología WiMAX

WiMAX (World Interoperability for Microwave Access que significa Interoperabilidad Mundial para Acceso Microondas) es un sistema inalámbrico desarrollado para áreas metropolitanas, en áreas rurales su alcance es reducido por lo cual es conocida como una tecnología de "última milla".



Figura 2-1: Logotipo de la marca WiMAX

Fuente: IEEE Wireless

Esta tecnología ofrece servicios de WIFI, tales como: telefonía y datos; solo que a una mayor distancia; puede ser empleada como tecnología viable para enlaces en zonas de difícil acceso.

WiMAX es un estándar de transmisión inalámbrica de datos diseñado para ser utilizado en el área metropolitana o MAN proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 50 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 75 Mbps.

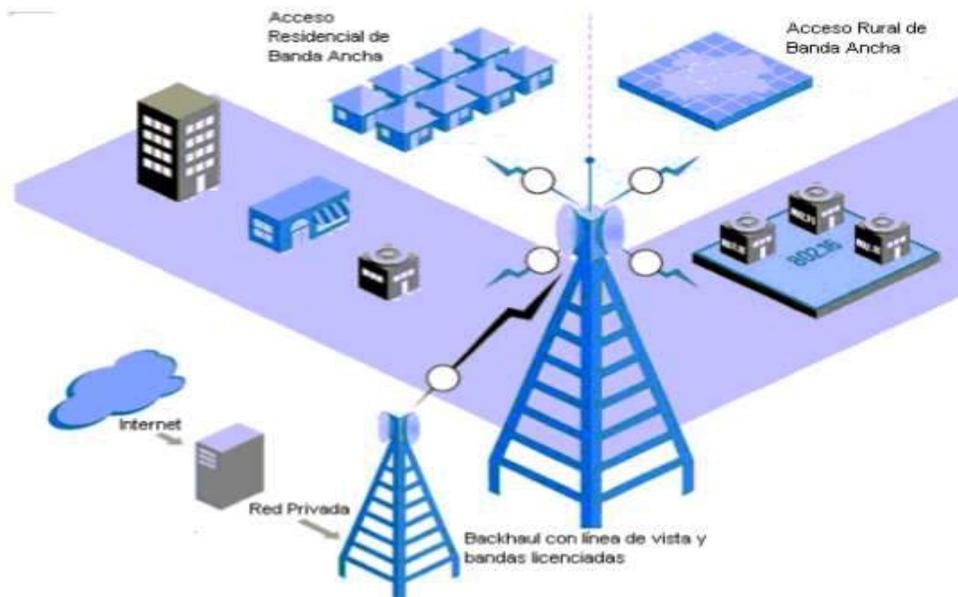


Figura 3-1: Red WiMAX y sus aplicaciones

Fuente: IEEE Estándar for Local and Metropolitan Area Network

1.2.2 Evolución de estándares WiMAX

Tabla 1-1: Evolución y descripción del estándar WiMAX IEEE 802.16.

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
802.16	Estándar que se refería a enlaces fijos de radio con línea de visión directa entre el transmisor y el receptor utilizando frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz para proporcionar velocidades de transmisión de hasta 134 Mbps y sin movilidad.
802.16a	Estándar en el cual WiMax empezó a cobrar relevancia y a realizarse modificaciones en control de acceso y de especificaciones en la capa física logrando una distancia de operatividad de 40 a 70 km en el cual operaba en la banda de 2 a 11GHz no necesita licencia de operación.
802.16b	Estándar que usa las bandas de 5 GHz y 6 GHz, proporciona QoS por lo que se puede usar para transmitir voz y datos. Trabaja en la modificación del nivel MAC y en capas físicas adicionales para bandas de frecuencia exentas de licencia.
802.16c	Estándar que ocupa el rango de frecuencia de 10 a 66 GHz. Desarrolla aspectos como la evolución del funcionamiento, prueba y ensayo de los perfiles del sistema. Este estándar tiene tres tipos de modulación para PHY.
802.16-2004(d)	En este estándar se incorporó las principales características de los protocolos para WiMax fijos que soporta numerosos elementos obligatorios y opcionales. Teóricamente podría transmitir hasta unos 70 Mbps en condiciones ideales, aunque el rendimiento real podría ser únicamente superior a unos 40 Mbps.

802.16e-2005	Estándar conocido como WiMax móvil sirve para la aplicación a conexiones inalámbricas en la banda 2 GHz a 6 GHz permite transmitir a velocidades de hasta 15 Mbps. Añade movilidad, prometiendo comunicaciones a velocidades en torno a 120 km/h.
802.16f	Es desarrollada por el Grupo de Tarea de Administración de Red, describe la base de información de Administración MIB (Management Information Base), para la interfaz aire de sistemas Banda ancha fijos.
802.16g	Describe servicios y procedimientos del Plano de Administración para sistemas de banda ancha fijos.
802.16h	Este proyecto especifica mecanismos mejorados, políticas y fortalece el Control de Acceso al Medio (MAC), de esta forma facilita la coexistencia entre sistemas sin licencia y los que requieran licencia para operar a ciertas frecuencias.
802.16-2009	Aprobado en 2009, corresponde a la enmienda IEEE 802.16 más estable, junto con elementos adicionales de mantenimiento y mejoras en las especificaciones de base de información de gestión. Esta revisión sustituye y deja obsoleta IEEE Estándar 802.16-2004 y todas sus posteriores modificaciones y correcciones. Brinda libertad de decisión al operador al trabajar en bandas libres o licenciadas según sea las necesidades, debido a que permite el uso de frecuencias de 2 a 66GHz, con velocidades de transmisión de hasta 120Mbps de hasta 8Km de cobertura.
802.16m	Estándar inalámbrico en el que trabaja la IEEE, en modo nómada (movilidad restringida) o en modo de alta eficiencia/señal fuerte se espera que pueda trabajar a velocidades de transmisión de 1Gbps y 100Mbps en modo de alta movilidad a [100-350] Km/h. La enmienda IEEE 802.16m con la especificación IEEE 802.16 Wireless MAN-OFDMA posee compatibilidad hacia atrás, es decir, WiMAX System Release 2 proporciona una ruta de migración para los operadores WiMAX de hoy para mejorar aún más el rendimiento actual de la red.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

1.2.3 Características Técnicas de WiMAX

1.2.3.1 Topologías de Red

WiMAX examina infraestructuras Punto a Punto (PtP) para backhails o radioenlaces con altas tasas de transmisión, Punto Multipunto PtMP para acceso a usuarios de última milla y la topología en malla (Meshing).

- **Topología Punto a Punto:** Es el modelo más simple de una red inalámbrica, se puede identificar dos elementos la comunicación se realiza solo entre esos puntos, transmisor y receptor. Se tiene un enlace de larga distancia hasta 50 Km con gran capacidad de transmisión. Este tipo de enlace se utiliza habitualmente en conexiones dedicadas de alto

rendimiento y capacidad. Es habitual su uso para enlaces punto a punto en clientes finales o para realizar el backhaul de redes.

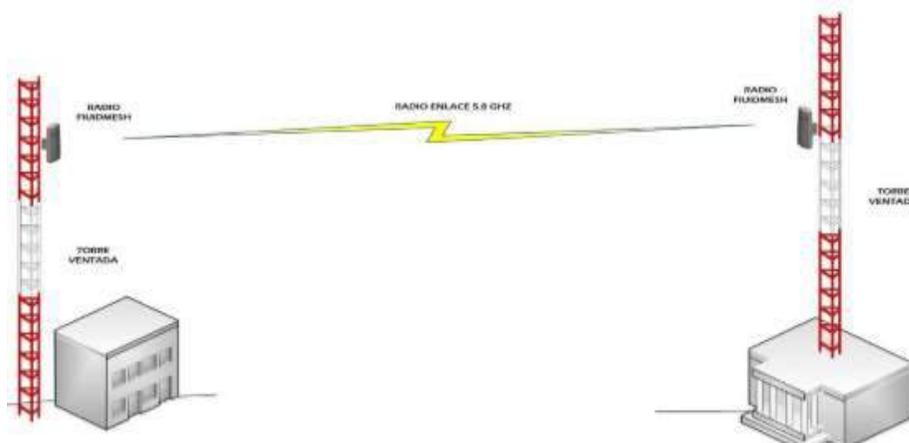


Figura 4-1: Topología WiMAX enlace Punto a Punto

Fuente: http://mpe-s1-p.mlstatic.com/antenas-ubiquiti-58-ghz-24-ghz-enlaces-ntp-wifi-wimax-20184-MPE20185302368_102014F.jpg

- **Topología Punto a Multipunto:** Está formado por la Estación Base (BS), incluida una antena sectorizada capaz de manejar varias zonas simultáneamente dentro de un canal de frecuencia dado, la BS es el único transmisor funcionando en Down-Link de manera que transmite sin necesidad de coordinar con las Estaciones Suscriptoras (SS).

Las transmisiones en Down-link es de tipo broadcast, de forma que todas las SS reciben toda la información y escogen la que sea dirigida para ellos; el Up-link se maneja bajo demanda dependiendo de la clase de servicio.

Cada sitio remoto debe encontrarse dentro del radio de cobertura de la BS, además, será posible utilizar esta topología para backhaul de la red de operadores, o para clientes que no deseen disponer de capacidad dedicada, al compartir los recursos con todos los terminales.

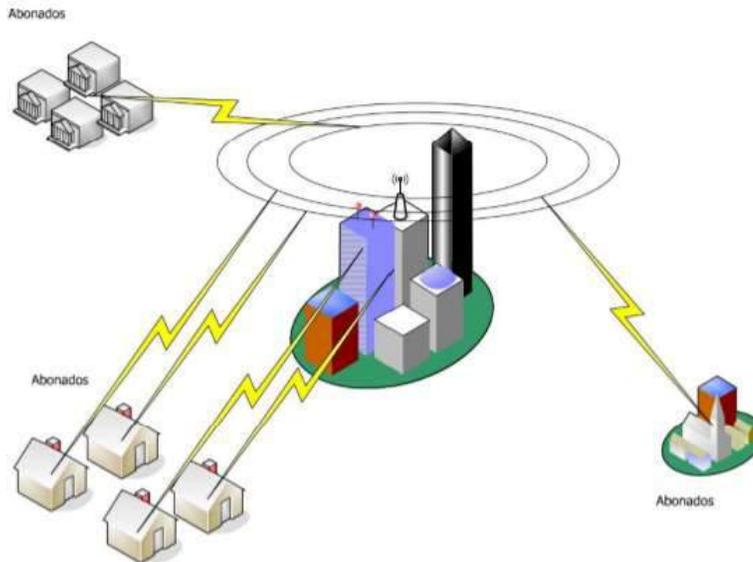


Figura 5-1: Topología WiMAX enlace Punto a Multipunto

Fuente: (Villegas E. y Granda W. 2015., pág.48), Topología WiMAX enlace PtMP.

- Topología en Mallas:** Consiste en que una SS se puede conectar a una o más SS, actúan como bases intermediarias hasta alcanzar la Estación Base (BS). Esta técnica de multi-salto representa la posibilidad de extender el área de cobertura de la red, sin la implementación de nuevas BS's, lo que genera una reducción de costos en el despliegue de redes inalámbricas. Para este tipo de redes, se pueden realizar los dos tipos de operaciones, distribuida o centralizada.

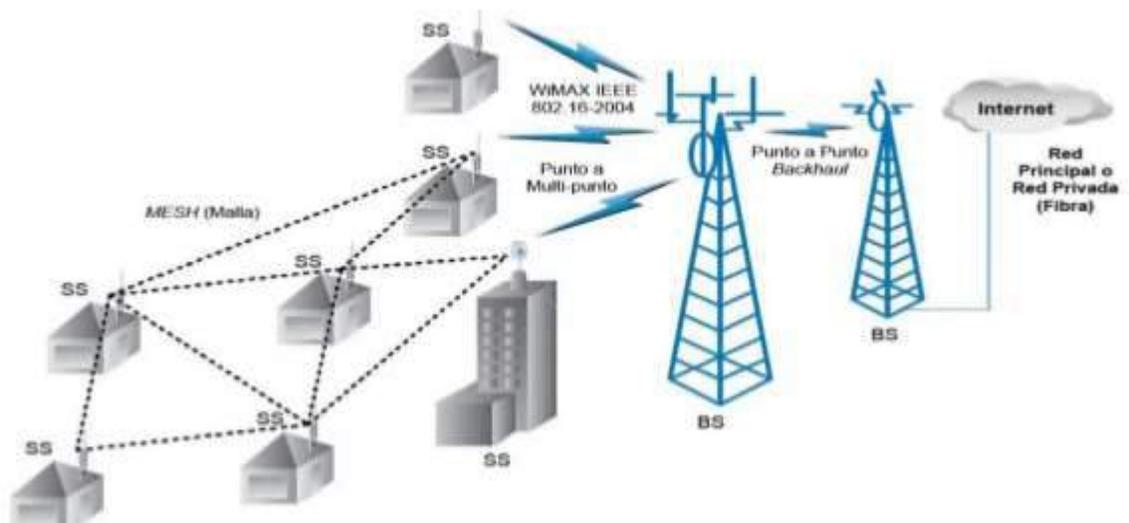


Figura 6-1: Topología WiMAX enlace en Mallas

Fuente: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/file/view/REDES16.JPG/100312707/REDES16.JPG>

1.2.3.2 Calidad de Servicio

El estándar IEEE 802.16- 2009 soporta niveles de QoS hasta nivel 2, en base a la capa de Control de Acceso al Medio (MAC), ya que proporciona una interfaz entre las capas más altas de transporte y la capa física, especifica tanto el modo en que los abonados accederán a la red, como la forma en que los recursos de la red se asignarán a estos. La capa MAC cumple con los requerimientos de Calidad de Servicio QoS ya que tiene la capacidad de ofrecer soporte a varias aplicaciones que solicitan transmisión en tiempo real a través de la red.

1. Fases de Implementación de QoS

La implementación de Calidad de Servicio (QoS) básicamente posee dos fases fundamentales, que se describen de la siguiente manera:

- **Clasificación:** En un nodo de red con QoS, habrá momentos en que tenga más tráfico a la entrada del que pueda liberar por su salida, debe decidir a qué paquetes dará mayor prioridad. Puede encaminar en primer lugar los paquetes más importantes, retrasando o incluso descartando aquellos que no lo sean tanto.
- **Asignación de recursos:** luego de la clasificación de tráfico y teniendo claro los parámetros de QoS a cumplirse, se debe permitir que los paquetes se transmitan al medio (el aire o un cable) en un orden de transmisión adecuado. La parte encargada de la Asignación se le suele conocer como el Scheduler, un componente fundamental en cualquier arquitectura de QoS, responsable de realizar la reserva de ancho de banda para todos los diferentes flujos de servicio activos.

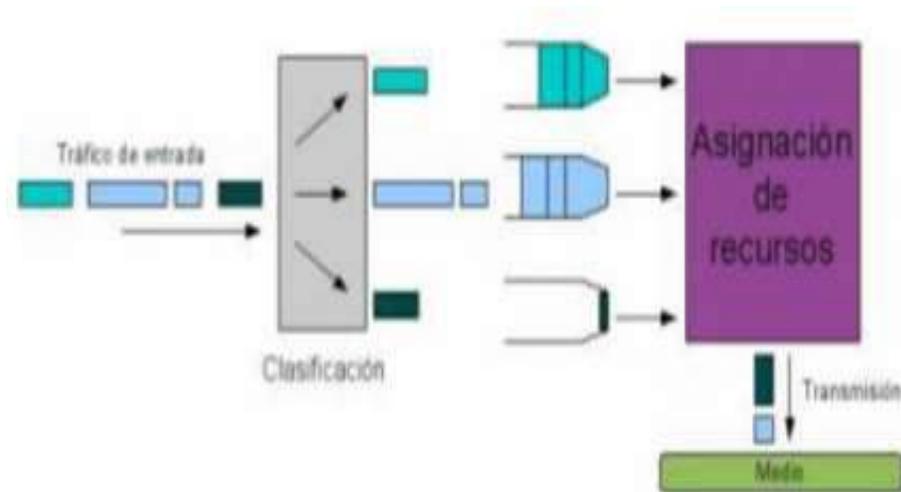


Figura 7-1: Fases de Implementación de QoS.

Fuente: Implementación de QoS en redes WiMAX (IEEE 802.16-2009), Alentia Systems, Abril 2010.

2. Flujos de Servicio QoS

WiMAX basa la transmisión de datos en el concepto de Flujos de Servicio (service-flows o flows), que son conexiones de datos unidireccionales e individuales creadas en el aire y son el soporte para la transmisión de paquetes de datos que se pueden establecer entre la BS y cada CPE. La BS asigna los flujos de servicio especificados en la Base de Datos de provisiones para cada usuario, Cada uno de estos servicios llevará asociado las siguientes propiedades:

- **Contrato de QoS:** define las características de cada flujo, y se guarda en la Base de Datos de la BS. Son parámetros como la tasa binaria máxima sostenible, tasa mínima garantizada, tipo de servicio (BE, UGS), retardo máximo...En resumen, parámetros que recogen las características de cada filtro.
- **Política de filtrado:** una serie de reglas que permitirán determinar qué paquetes de datos se van a cursar por cada servicio. Se encargan de cumplir la fase de Clasificación de paquetes presente en todo proceso de QoS, como ya se explicó en puntos anteriores.

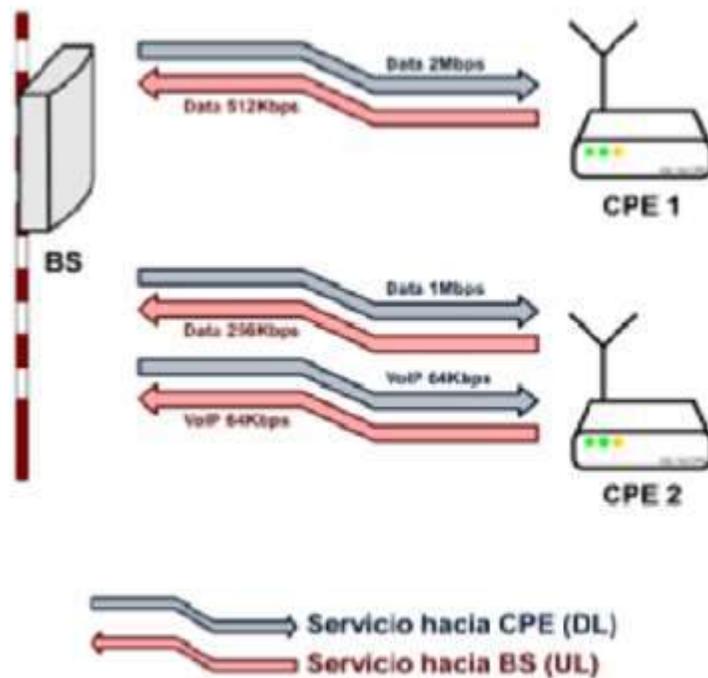


Figura 8-1: Flujos de Servicio QoS

Fuente: Implementación de QoS en redes WiMAX (IEEE 802.16-2009), Abril 2010.

3. Tipos de Servicio QoS

WiMAX puede ser dinámicamente optimizado para el tipo de tráfico que se esté transportando. Los tipos de servicios soportados son:

- **BE (Better Effort):** Soporta flujos de datos para los cuales no solicitan un nivel mínimo y que suelen ser transmitidos cuando existe ancho de banda disponible. Estos servicios pueden realizar peticiones de ancho de banda bajo contienda.
- **UGS (Unsolicited Grant Service):** Soporta flujos de datos en tiempo real constituidos de paquetes de datos en tamaño fijo emitidos en intervalos periódicos, como T1/E1 y VoIP sin supresión de silencio. El servicio ofrece capacidad fija de transmisión sin necesidad de solicitarlo.
- **RTPS (Real Time Polling Service):** Soporta flujos de datos en tiempo real constituidos de paquetes de datos de un tamaño variable que son emitidos en intervalos periódicos, como el formato de video MPEG, garantizando una tasa mínima de transferencia y un determinado

retraso. El servicio ofrece oportunidades de petición de forma periódica que deben concordar con el ancho de banda especificado.

- **NRTPS (Non Real Time Polling Service):** Soporta flujos de datos tolerantes a retardo constituidos de paquetes de datos de un tamaño variable donde se requieren mantener una velocidad mínima, como en FTP. El servicio ofrece sondeos a las SS que garantizan posibilidad de realizar peticiones de ancho de banda incluso cuando el enlace está saturado.
- **eRTPS (Extended Real Time Polling Service):** Soporta flujos de datos para VoIP junto con la supresión de silencio. No hay transmisión de tráfico durante el tiempo de silencio. Los parámetros de QoS son los mismos que tipo de UGS.

1.2.3.3 Disponibilidad del espectro WiMAX

Existe una normativa creada por la comisión del mercado de las telecomunicaciones (CMT) sobre el uso del espectro de frecuencias. Para ello han creado el cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF), en donde se definen, qué bandas de frecuencia se emplean, y qué uso se les da. Esta distribución de frecuencias y usos, se ha consensuado a nivel mundial, dividiendo al mundo en tres regiones. Ecuador pertenece a la Región 2.

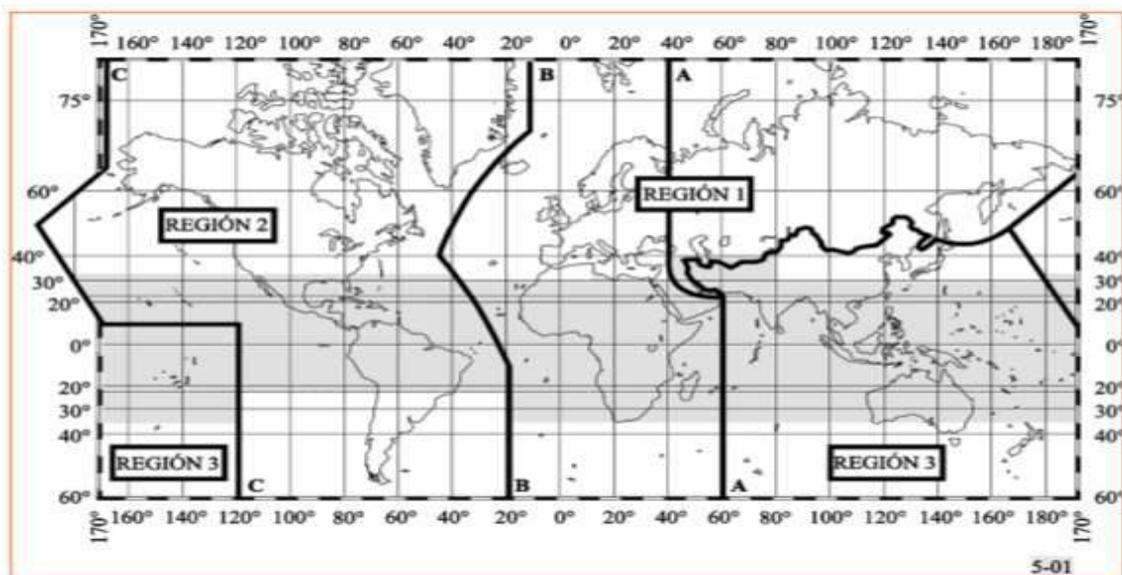


Figura 9-1: Diferencia en la ubicación del CPE y enlace NLOS.

Fuente: <http://www.ane.gov.co/cnabf/index.php/atribucion-frecuencias>

WiMAX opera en un amplio rango de frecuencias que van desde 2 GHz hasta 66 GHz, aunque el espectro más probable está disponible en 2.3 GHz, 2.4 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.8 GHz, estas bandas deberían ser soportadas por los equipos WiMAX para asegurar la interoperabilidad mundial, en bandas que requieren de una licencia de operación y en las que no se requiere de una licencia de operación.

Tabla 2-1: Asignación mundial de bandas autorizadas

ÁREA GEOGRÁFICA	BANDAS UTILIZADAS
Norte América y México	2.5 GHz y 5.8 GHz
Central y América del Sur	2.5 GHz, 3.5 GHz y 5.8 GHz
Europa Occidental y Oriental	3.5 GHz y 5.8 GHz
Medio Este y África	3.5 GHz y 5.8 GHz
Pacífico Asiático	3.5 GHz y 5.8 GHz

Realizado por: Carolina Ati, 2017

- **Bandas con Licencia**

El espectro que requiere licencia tiene un precio alto, pero el costo justificado, sobre todo cuando requerimos altos estándares en lo que respecta a la calidad de servicio.

Al contar con el licenciamiento se obtiene el uso exclusivo del espectro, evitando de manera la presencia de interferencias. Para adquirir la concesión de una frecuencia es necesario cumplir con las bases legales y requisitos.

El espectro licenciado se encuentra en los 700 MHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz y 3.5 GHz.

- **Bandas sin Licencia**

Dentro del espectro radioeléctrico hay segmentos que no están sometidos a la concesión de licencias y a la regulación. Algunas partes del mismo se utilizan sin licencias porque se las considera disponibles para la investigación. Son las tres bandas conocidas como ICM: Industrial, Científica y Médica que están disponibles para el uso sin licencias en el margen de 902-928 MHz (solo en EEUU.), en 2,4 GHz y 5.8 en el resto del mundo.

1.2.3.4 Seguridad

La seguridad es una característica de privacidad y encriptado que están incluidas dentro del estándar 802.16 para soportar transmisiones seguras y proveer autenticación y encriptado de datos.

WiMAX define en su pila de protocolos una subcapa de seguridad dedicada específicamente a proporcionar privacidad, confidencialidad y autenticidad a los usuarios que quieran utilizar la red. El sistema de seguridad se basa en los principios de Autenticación y Cifrado.

- **Autenticación:** Es la comprobación de una identidad, garantiza el acceso seguro, evitando que usuarios no autorizados hagan uso de la conexión inalámbrica. Las filosofías empleadas por el estándar IEEE 802.16-2009 son: OSA (Open System Authentication) y SKA (Shared Key Authentication).
- **Cifrado:** WiMAX usa mecanismos de cifrado para velar por la confidencialidad e integridad de los datos. SS envía a la BS una solicitud de claves de cifrado llamadas TEKs (Traffic Encryption Keys), que son enviadas por la BS en un mensaje de respuesta. El algoritmo empleado para el cifrado de las TEKs puede ser de tipo 3DES (Triple Data Encryption Standard), AES (Advanced Encryption Standard), o RSA.

1.2.3.5 Características Adicionales

WiMax móvil soporta antenas inteligentes (Smart antenna), las cuales son arreglos de antenas, que usa un algoritmo para procesar señales. Este sistema tiene múltiples prestaciones, entre las cuales se incluyen:

- **Beamforming:** Permite la mayor direccionalidad de la potencia de las antenas, lo cual aumenta la cobertura y capacidad del sistema.
- **Código de espacio - tiempo:** Reduce el margen de desvanecimiento.

Multiplexación espacial: Proporciona ventajas para mayores tasas de transferencia.

- Mediante la multiplexación espacial se puede transmitir múltiples señales mediante varias antenas e igualmente para recibir la señal.

- Con MIMO 2x2 (arreglo de antenas, dos transmiten y dos reciben) se puede aumentar la tasa transmitiendo 2 señales de datos.

1.2.4 Funcionamiento de la red WiMax

WIMAX emplea la técnica de modulación por derivación de frecuencia ortogonal (OFDM) la cual divide el ancho de banda en slots de frecuencias (canales o ranuras) para dar servicio a varios usuarios en el mismo tiempo, la ortogonalidad permite que en canales adyacentes no haya interferencia de entre las señales.

Permite una selección dinámica de frecuencia, es decir; el sistema busca los canales libres para transmitir y recibir información; así como también dos modos de conexión NLOS (sin línea de vista) y LOS (con línea de vista).

Esta tecnología utiliza actualmente el estándar IEEE 802.16; para conexiones fijas usa el estándar IEEE 802.16 2004, mientras que para móviles IEEE 802.16e.

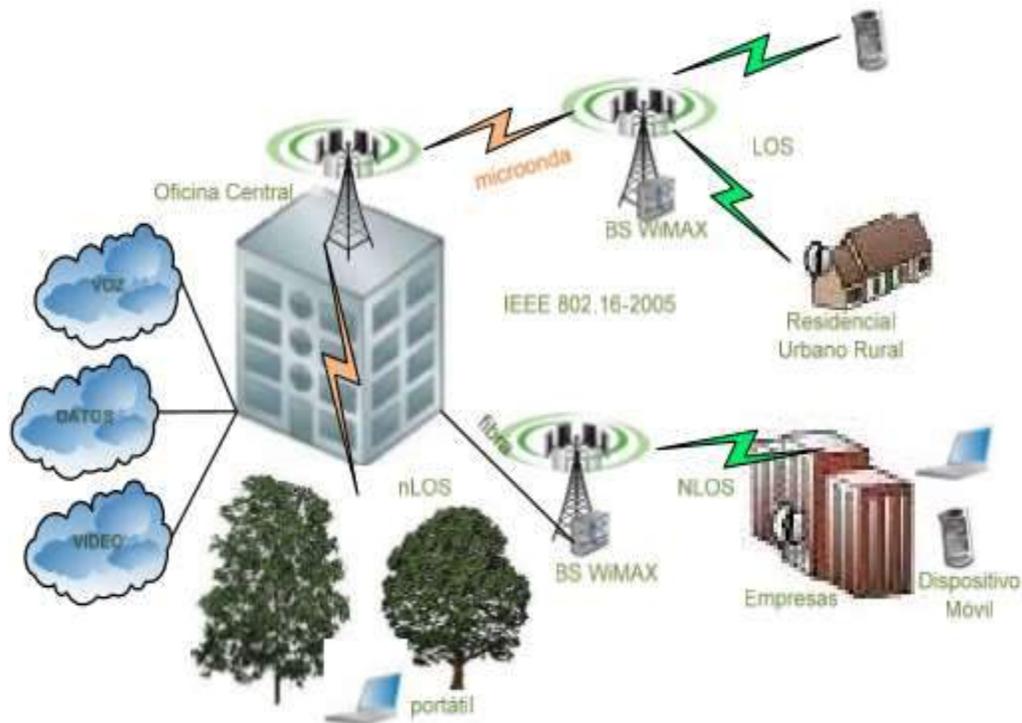


Figura 10-1: Funcionamiento de WiMAX

Fuente: (Bacuilima Z. 2009, pág. 47), Modelos de uso de WiMax

- LOS (Line of Sight):** En un enlace LOS la señal viaja a través de un camino directo y sin obstrucciones desde el transmisor hasta el receptor. Un enlace LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel este libre de obstrucciones. Si no se cumple este requerimiento existirá una reducción significativa de la intensidad de señal. La zona de despeje de Fresnel requerida depende de la frecuencia de operación y de la distancia entre transmisor y localidades receptoras.

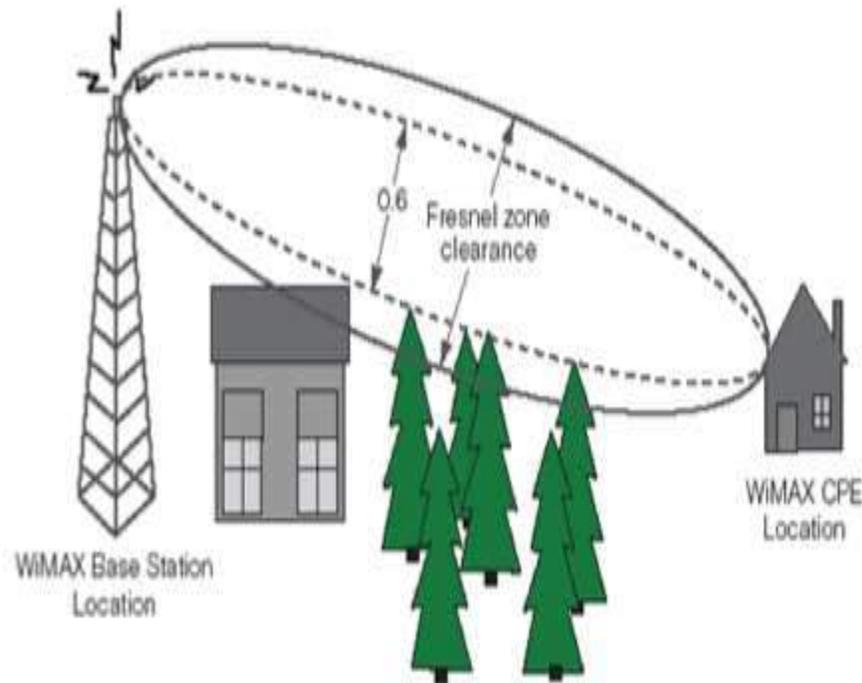


Figura 11-1: Enlace LOS y primera zona de Fresnel

Fuente: http://www.rtc magazine.com/archive_images/rtc0503_tc_2_1.gif

- NLOS (Non Line of Sight):** En un enlace NLOS la señal alcanza al receptor por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones. Las señales que alcanzan al receptor consisten en componentes del camino directo, caminos reflejados múltiples, energía de dispersión y caminos de propagación por difracción. Estas señales poseen distintos retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativas al camino directo.

La forma en que los sistemas de radio utilizan estas señales de múltiples caminos como ventaja, es la llave para proveer servicio en aplicaciones NLOS. Ambas condiciones de cobertura, LO y NLOS son gobernadas por las características de propagación del medio ambiente, la pérdida del camino y el presupuesto del enlace de radio.

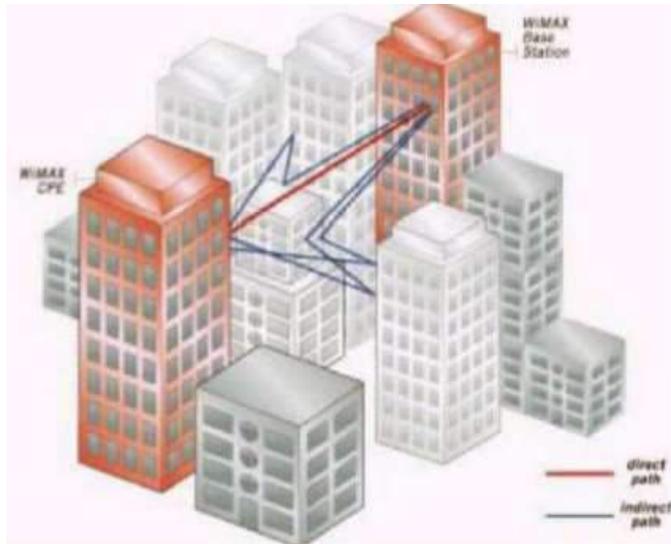


Figura 12-1: Enlace NLOS y la zona de Fresnel

Fuente: http://www.rtc magazine.com/archive_images/rtc0503_tc_2_1.gif

1.2.5 Tipos de redes WiMax

1.2.5.1 Acceso Fijo

Asume que el usuario puede conectarse y desconectarse en una sola ubicación geográfica, durante el tiempo que accede a la red en el sector o celda de la estación base que le corresponda.

- Servicio limitado a sectores fijos.
- Autenticación y autorización del equipo de usuario.
- Alternativa a DSL, backhaul para celular y Wi-Fi.

1.2.5.2 Acceso Móvil

Dirigido al mercado móvil añadiendo portabilidad y capacidad para clientes móviles con IEEE. Puede ser:

- **Movilidad Simple:** El usuario puede conectarse dentro de un área de cobertura, manteniendo una sesión operacional con breves interrupciones (menos de 1 segundo), al moverse entre estaciones base (incorpora handoff) a una velocidad menor a 60Km/h, en aplicaciones sin demanda de tiempo real.

- **Movilidad Completa:** El usuario puede conectarse dentro de un área de cobertura, manteniendo una sesión operacional, con interrupciones casi imperceptibles (no superan los 50 milisegundos y garantiza además una pérdida de paquetes menor al 1%), al moverse entre estaciones base (handoff más rápido), a una velocidad hasta 120Km/h, proveyendo continuidad para todas las aplicaciones.

1.2.5.3 Acceso Portátil

El acceso portátil asume que el usuario puede conectarse y desconectarse dentro de un área de cobertura, manteniendo una sesión operacional a medida que se mueve a velocidades pedestres, posee handover limitado a medida que se mueve a una celda diferente.

- Servicio a sectores estacionarios o con movilidad limitada.
- Autenticación del usuario.
- Degradación de QoS durante handover no continuos.
- Aplicaciones de VoIP.

1.2.5.4 Acceso Nomádico

El usuario puede conectarse en una ubicación geográfica, durante el tiempo que accede a la red en el sector o celda de la estación base, si se mueve a otra celda se establece una nueva sesión, desconectándose de su unidad fija y reconectándose desde una nueva ubicación.

- Servicio limitado a sectores estacionarios sin handover de estación base.
- Autenticación del usuario.
- Servicio tipo DSL desde diferentes puntos de conexión, aplicaciones de VoIP.

1.2.6 Aplicaciones que ofrece WiMAX

Las redes de acceso basadas en WiMAX, permiten a los operadores proveer servicios de voz, datos y vídeo, a zonas donde la infraestructura tradicional de líneas cableadas en muchos casos, no existe o solo han sido accesibles a un segmento de usuarios.

La tecnología WiMAX se puede aplicar en diversos escenarios:

- Enlaces de última milla para radio bases de telefonía móvil.
- Acceso de banda ancha en áreas urbanas y rurales sin infraestructura de cobre.
- Wireless VoIP.
- VoD.
- Aplicaciones de seguridad y monitoreo.
- Comunicación Multimedia.
- Redes de sensores, Telemática y Telemetría.
- Monitoreo remoto de signos vitales de pacientes.

1.3 Tecnología LTE

1.3.1 Definición de LTE

LTE (Long Term Evolution) significa Evolución a Largo Plazo, es un estándar de comunicaciones móviles desarrollado por la 3GPP, la asociación que desarrolló y mantiene GSM y UMTS. El interfaz radio (nivel físico) del sistema LTE es algo completamente nuevo, así que LTE es una nueva generación respecto a UMTS (tercera generación o 3G) y a su vez GSM (segunda generación o 2G). No obstante, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) no considera que el LTE que se está desplegando ahora mismo por el mundo sea 4G.



Figura 13-1: Logotipo LTE

Fuente: IEEE Estándar LTE

1.3.2 Características de LTE

LTE es una tecnología muy buena y estable que cumple con diversas características entre las más destacables podemos encontrar:

- Tasa de pico del enlace DL (download) de hasta 326,5 Mbit/s, haciendo uso de un espectro de frecuencia de 20 MHz.
- Tasa de pico del enlace UL (upload) de hasta 86,5 Mbit/s.
- Latencia mínima 100 ms para el plano de control y hasta de 10 ms para el plano de usuario.
- Ancho de banda adaptativo, 1,4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz.
- Tamaño óptimo de las celdas de 5 km, de 30 km con ligera degradación y hasta 100 km con un rendimiento aceptable.
- LTE proporciona un alto rendimiento para velocidades de 0 a 15 km/h. La conexión es mantenida en velocidades de 300 a 500 km/h.
- El Handover entre tecnologías 2G (GSM-GPRS-EDGE), 3G (UMTS-W-CDMA-HSPA) y LTE son transparentes.
- LTE propone la técnica de Conmutación por Paquetes IP (PS) en toda la red (dejando atrás los circuitos). Es decir, es una red todo IP.

Todas estas características permitirán en un futuro, tras su implantación:

- Mayor eficiencia y rentabilidad de la infraestructura.
- Videollamadas sobre IP
- TV en alta definición

1.3.3 Parámetros Básicos

Tabla 3-1: Parámetros básicos LTE

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Rango de Frecuencia	Bandas UMTS FDD y TDD bandas definidas en 36.101 (V860) Tabla 5.5.1 se indican a continuación,
Impresión a doble cara	FDD, TDD, FDD semidúplex
La codificación de canal	Código Turbo
Movilidad	350 kmh

Canal de ancho de banda (MHz)	1.4, 3, 5, 10, 15, 20
El ancho de banda de transmisión de configuración NRB: (1 bloque de recursos = 180kHz en 1 ms TTI)	6, 15, 25, 50, 75, 100
Esquemas de modulación	UL: QPSK, 16QAM, 64QAM (opcional) DL: QPSK, 16QAM, 64QAM
Esquemas de acceso múltiple	UL: SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) es compatible con 50Mbps + (espectro de 20MHz) DL: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) soporta 100Mbps + (espectro de 20MHz)
Tecnología multi-antena	UL: MIMO multiusuario de colaboración DL: TxAA, multiplexado espacial, DDC, 4x4 máx matriz
Velocidad de datos pico en LTE	UL: 75Mbps (ancho de banda de 20 MHz) DL: 150 Mbps (UE Categoría 4, MIMO 2x2, el ancho de banda de 20 MHz) DL: 300 Mbps (UE categoría 5, MIMO 4x4, el ancho de banda de 20 MHz)
MIMO (Multiple Input Multiple Output)	UL: 1 x 2, 1 x 4 DL: 2 x 2, 4 x 2, 4 x 4
Cobertura	5 - 100 kilómetros con una ligera degradación después de 30 kilómetros
QoS	E2E calidad de servicio que permite la priorización de diferente clase de servicio
Estado latente	El usuario final latencia <10 ms

Realizado por: Carolina Ati, 2017

1.3.4 Arquitectura del sistema LTE

La arquitectura del sistema de alto nivel de LTE se compone de los siguientes componentes:

1.3.4.1 Arquitectura general del sistema LTE

Se denomina a la arquitectura del sistema LTE como Evolved Packet System (EPS), permite dividir el sistema en los tres elementos: un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC. Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito, ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes.

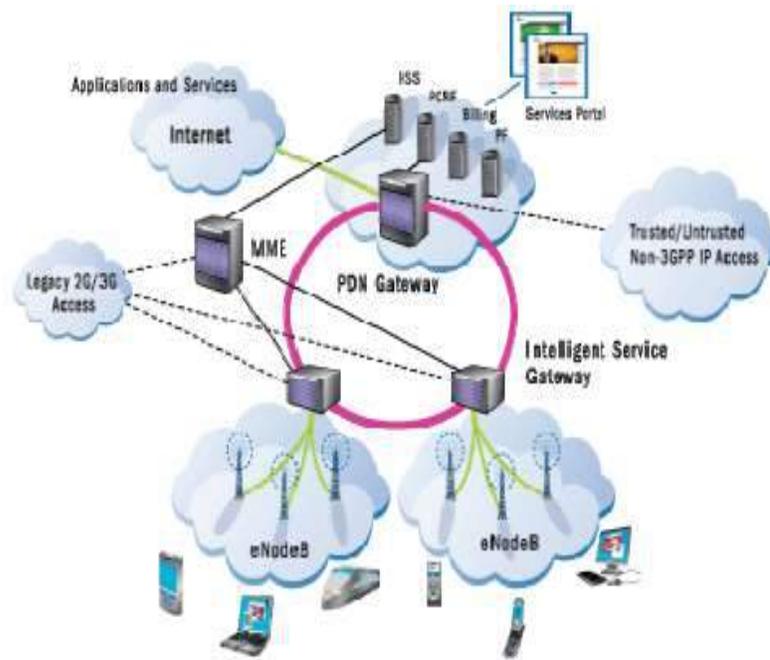


Figura 14-1: Esquema general de la arquitectura del sistema LTE

Fuente: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>

1. Equipos de usuario (UE)

La arquitectura interna del equipo de usuario para LTE es idéntica a la utilizada por UMTS y GSM, que es en realidad un equipo móvil (ME). El equipo móvil compuesto por los siguientes módulos importantes:

- **La terminación móvil (MT):** Este se encarga de todas las funciones de comunicación.
- **Equipo de terminal (TE):** Se pone fin a los flujos de datos.

- **Tarjeta de circuito integrado universal (UICC):** Esto también se conoce como la tarjeta SIM para los equipos de LTE. Se ejecuta una aplicación conocida como la Subscriber Identity Module universal (USIM).

A USIM almacena datos específicos del usuario muy similares a la tarjeta de 3G SIM. Esto mantiene la información sobre el número de teléfono del usuario, la identidad de la red doméstica y claves de seguridad, etc.

2. Red de Acceso evolucionada E-UTRAN

En E-UTRAN la única entidad de red es la estación base, que en esta generación denominamos evolved NodeB (eNB).

Esta estación base integra todas las funcionalidades de la red de acceso. Esto representa un cambio respecto a las anteriores generaciones, GSM y UMTS, ya que la red de acceso contenía además de las estaciones base (BTS y Nodob), un equipo controlador (BSC y RNC).

E-UTRAN al estar formada únicamente por estaciones base eNB, éstas serán los que proporcionen la conectividad entre los usuarios y la red troncal EPC.

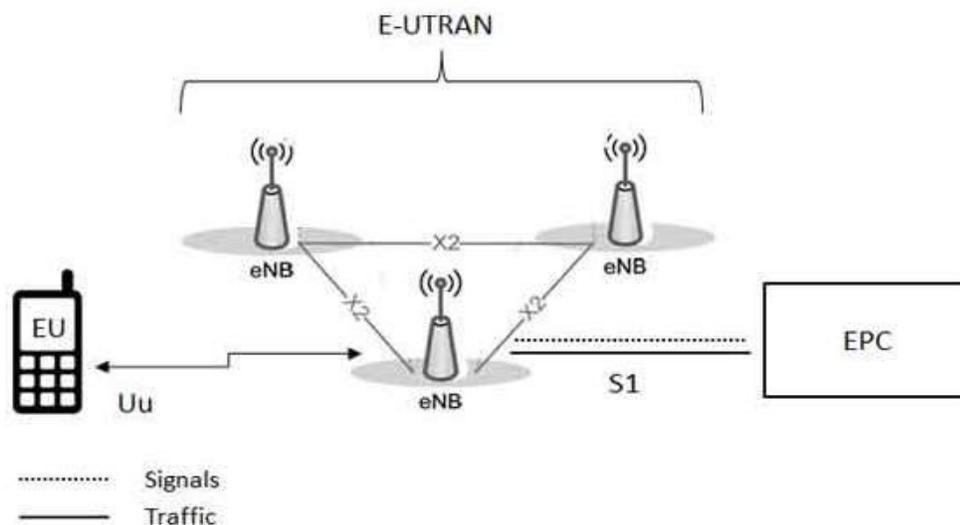


Figura 15-1: Arquitectura de UMTS en la Red (E-UTRAN)

Fuente: <http://Lte/LTE%20Red%20de%20arquitectura.html>

3. Red troncal de paquetes evolucionada EPC

Esta red ha sido concebida para proporcionar un servicio “all-IP”, es decir conectividad IP.

El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red, MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y el Packet Data Network Gateway (P-GW), que, junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC.

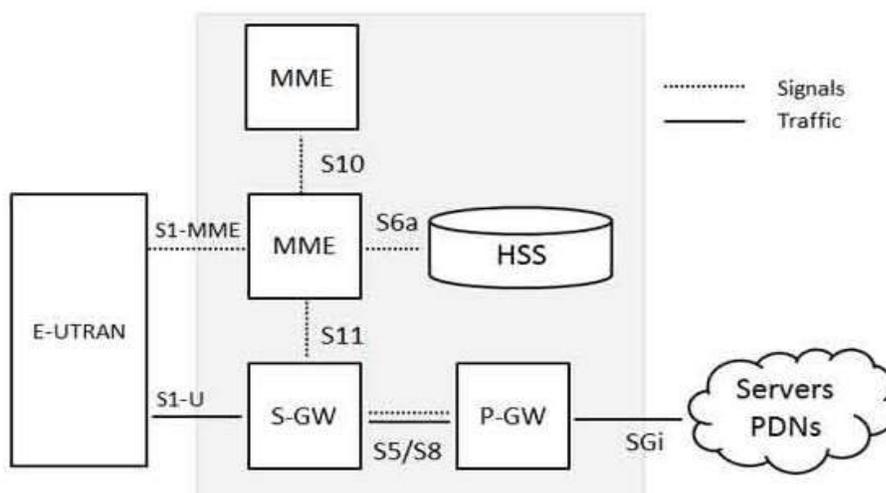


Figura 16-1: Descripción de la arquitectura (E-UTRAN)

Fuente: <http://Lte/LTE%20Red%20de%20arquitectura.html>

A continuación, una breve descripción de cada uno de los componentes mostrados en la arquitectura anterior:

- El componente Servidor de Abonado (HSS) se ha llevado adelante desde UMTS y GSM y es una base de datos central que contiene información acerca de todos los abonados del operador de red.
- La red de paquetes de datos (PDN) de puerta de enlace (P-GW) se comunica con el mundo exterior, es decir. redes de datos por paquetes PDN, utilizando la interfaz de SGI. Cada red de paquetes de datos se identifica por un nombre de punto de acceso (APN). La puerta de enlace PDN tiene el mismo papel que el nodo de soporte GPRS (GGSN) y el nodo de soporte GPRS de servicio (SGSN) con UMTS y GSM.
- La pasarela de servicio (S-GW) actúa como un enrutador y reenvía los datos entre la estación base y la pasarela PDN.

- La entidad de gestión de movilidad (MME) controla el funcionamiento de alto nivel del móvil por medio de mensajes y Servidor de Abonado Local (HSS) de señalización.
- El control de políticas y reglas de cobro de funciones (PCRF) es un componente que no se muestra en el diagrama anterior, pero es responsable del control de la política de toma de decisiones, así como para el control de las funcionalidades de carga basados en el flujo de la función de control de aplicación de políticas (FEPC), que reside en el P-GW.

1.3.5 Canales de comunicación LTE

Los flujos de información entre los diferentes protocolos son conocidos como canales y señales. LTE utiliza varios tipos diferentes de lógica, el transporte y el canal físico, que se distinguen por el tipo de información que contienen y por la forma en que se procesa la información.

1.3.5.1 Canales Lógicos

Estos canales definen los servicios de transferencia de datos que ofrece la capa MAC. De datos y mensajes de señalización se realizan en canales lógicos entre los protocolos RLC y MAC.

Los canales lógicos pueden dividirse en canales de control y canales de tráfico. Canal de control puede ser o canal común o un canal dedicado. Un canal común significa común a todos los usuarios en una célula (punto a multipunto), mientras que los canales dedicados significan que los canales pueden ser utilizados sólo por un usuario (punto a punto).

Tabla 4-1: Canales lógicos utilizados por LTE

NOMBRE DEL CANAL	ACRÓNIMO	CANAL DE CONTROL	CANAL DE TRÁFICO
Canal de Control de Difusión	BCCH	X	
Canal de control de paginación	PCCH	X	
Canal de control común	CCCH	X	

Canal de control dedicado	DCCH	X	
Canal de Control de multidifusión	MCCH	X	
Canal de tráfico dedicado	DTCH		X
Canal de Tráfico de multidifusión	MTCH		X

Realizado por: Carolina Atí, 2017

1.3.5.2 Canales de Transporte

Los canales de transporte definen cómo y con qué tipo de características de los datos se transfieren por la capa física, de datos y mensajes de señalización se realizan en los canales de transporte entre la MAC y la capa física.

Los canales de transporte se distinguen por la forma en que el procesador de canal de transporte de los manipula.

Tabla 5-1: Canales transporte utilizados por LTE

NOMBRE DEL CANAL	ACRÓNIMO	CANAL DE CONTROL	CANAL DE TRÁFICO
Canal de Difusión	BCH	X	
Downlink Shared Channel	DL-SCH	X	
Paging Channel	PCH	X	
Canal de multidifusión	MCH	X	
Canal Compartido de Enlace Ascendente	UL-SCH		X
Canal de Acceso Aleatorio	RACH		X

Realizado por: Carolina Atí, 2017

1.3.5.3 Canales Físicos

De datos y mensajes de señalización se realizan en los canales físicos entre los diferentes niveles de la capa física y en consecuencia que se dividen en dos partes:

- **Canales de Datos Físicos:** Canales de datos físicos se distinguen por la forma en que el procesador de canal físico los manipula, y por las formas en que se mapean en los símbolos y subportadoras utilizadas por acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA).
- **Los canales de control físicos:** El procesador de canal de transporte también crea la información de control que soporta la operación de bajo nivel de la capa física y envía esta información al procesador de canal físico en la forma de canales de control físicos.

1.3.6 Numeración y direccionamiento de LTE

1.3.6.1 Numeración

Un área de la red LTE se divide en tres diferentes tipos numeración:

Tabla 6-1: Numeración de un área de la red LTE

SN	DESCRIPCIÓN
1	Áreas de la piscina MME Se trata de una zona por la que el móvil puede moverse sin un cambio de servir MME. Cada zona de la piscina MME es controlada por uno o más MMEs en la red.
2	Áreas de servicio S-GW Esta es un área servida por una o más puertas de enlace que sirven S-GW, a través del cual el móvil se puede mover sin un cambio de servir de puerta de enlace.
3	Áreas de seguimiento Las áreas de la piscina MME y las áreas de servicio S-GW están hechos de pequeñas unidades, que no se solapan conocidas como áreas de seguimiento (TAS). Son similares a las de localización y encaminamiento áreas de UMTS y GSM y serán

	utilizados para realizar un seguimiento de las ubicaciones de los móviles que están en modo de espera.
--	--

Realizado por: Carolina Ati, 2017

1.3.6.2 Direccionamiento

- **ID de red:** La propia red será identificada utilizando Public Land Mobile Identidad de red (PLMN-ID) que tendrá un código de tres dígitos de país móvil (MCC) y un código de red móvil de dos o tres dígitos (MNC). Por ejemplo, el código de país móvil para el Reino Unido es de 234, mientras que la red de Vodafone Reino Unido utiliza un código de red móvil de 15.
- **ID de MME:** Cada MME tiene tres identidades principales. Un código MME (MMEC) identifica de forma exclusiva la MME dentro de todas las áreas de la piscina. Un grupo de MMEs se le asigna un grupo de identidad MME (Mmegi), que trabaja junto con MMEC para hacer identificador MME (MmeI). A MmeI identifica de forma única la MME dentro de una red particular.

1.4 Tecnología Wi-Fi

1.4.1 Evolución del estándar de Wi-Fi

Existen distintos estándares que se han ido implementando con el paso del tiempo, con el objetivo de mejorar la conectividad y su rendimiento.

Los estándares más utilizados actualmente en las redes WiFi son los siguientes:

Tabla 7-1: Estándares utilizados en las redes Wi-Fi

ESTÁNDAR	CARACTERISTICAS
802.11	Velocidad (teórica)- 2 Mbit/s Velocidad (práctica) - 1 Mbit/s Frecuencia - 2,4 GHz Ancho de banda - 22 MHz Alcance - 330 metros Año de implementación - 1997
	Velocidad (teórica)- 54 Mbit/s Velocidad (práctica) - 22 Mbit/s

802.11a	Frecuencia - 5,4 GHz Ancho de banda - 20 MHz Alcance - 390 metros Año de implementación - 1999
802.11b	Velocidad (teórica)- 11 Mbit/s Velocidad (práctica) - 6 Mbit/s Frecuencia - 2,4 GHz Ancho de banda - 22 MHz Alcance - 460 metros Año de implementación - 1999
802.11g	Velocidad (teórica)- 54 Mbit/s Velocidad (práctica) - 22 Mbit/s Frecuencia - 2,4 GHz Ancho de banda - 20 MHz Alcance - 460 metros Año de implementación - 2003
802.11n	Velocidad (teórica)- 600 Mbit/s Velocidad (práctica) - 100 Mbit/s Frecuencia - 2,4 GHz y 5,4 GHz Ancho de banda - 20/40 MHz Alcance - 820 metros Año de implementación - 2009
802.11ac	Velocidad (teórica)- 6.93 Gbps Velocidad (práctica) - 100 Mbit/s Frecuencia - 5,4 GHz Ancho de banda - 80 o hasta 160 MHz Año de implementación - 2013
802.11ad	Velocidad (teórica)- 7.13 Gbit/s Velocidad (práctica) - Hasta 6 Gbit/s Frecuencia - 60 GHz Ancho de banda - 2 MHz Alcance - 300 metros Año de implementación - 2012
802.11ah	Frecuencia - 0.9 GHz Ancho de banda - 2 MHz Alcance - 1000 metros Año de implementación - 2016 Conocida como Wi-Fi HaLow

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Fuente: <http://es.ccm.net/wifi/wifirisques.php3>

1.4.2 Definición de Wi-Fi

Una red Wi-Fi significa "Fidelidad inalámbrica", permite crear redes informáticas inalámbricas (Wireless). Es una norma de la IEEE llamada 802.11.

Se trata de un tipo de tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar a internet equipos electrónicos, como, por ejemplo, computadoras, tablets, smartphones o celulares, etc. Wi-Fi logra esto mediante el uso de radiofrecuencias o infrarrojos para la transmisión de la información.

Las redes Wi-Fi permiten la conectividad de equipos y dispositivos mediante ondas de radio.



Figura 17-1: Logotipo de la marca WiFi

Fuente: IEEE Wireless

1.4.3 Funcionamiento de la red Wi-Fi

Una red inalámbrica WiFi puede funcionar de dos modos:

1.4.3.1 Modo Sin Infraestructura

Estas redes sin infraestructura son redes que no han tenido un importante éxito a nivel comercial. Las redes Ad hoc son un claro ejemplo de esto, no requieren un punto de acceso. En este modo de funcionamiento los dispositivos interactúan unos con otros, permitiéndose una comunicación directa entre dispositivos. Los terminales de esta red Wi-Fi que quieran comunicarse entre sí tienen que utilizar el mismo canal de radio y configurar un identificador específico de Wi-Fi.

El problema con este tipo de red es que, de una parte, el ancho de banda de la red está basado en la velocidad del host más lento y, de otra parte, el ancho de banda de la red es dividido entre el número

de host de la red, lo que puede convertirse rápidamente en una dificultad. No obstante, este modo puede ser utilizado en el hogar en el caso de una red simple, además tiene la ventaja de no ser caro.

1.4.3.2 Modo Infraestructura

Este modo trabaja utilizando diferentes puntos de acceso. Presenta una clara eficiencia con relación a la red ad hoc, ya que este modo gestiona y transporta cada paquete de información en su destino, mejorando la velocidad del conjunto. En una red en modo infraestructura, los puntos de acceso pueden trabajar como interconexión entre dos redes. En esta topología se encuentran dos posibilidades: la primera consiste en que el Access Point actúe como interconexión entre la red WiFi y otra red sobre cables como ADSL. La segunda posibilidad consiste que el punto de acceso actúe como interconexión entre dos puntos de acceso que dan acceso Wi-Fi a usuarios ubicados en zonas diferentes.

De este modo se economiza el ancho de banda. Además, se pueden conectar puntos de acceso entre sí (por cable o WiFi) para aumentar el alcance de la red Wi-Fi. Este modo es el más utilizado porque además es más seguro.

1.4.4 Arquitectura general de WiFi

Al principio, la implementación de redes sin cables fue dada para la implementación dentro de un área local (empresa, hogares), puesto que la arquitectura es bastante sencilla. Con el pasar de los años su uso ha ido evolucionando para redes de área extendida como son áreas urbanas. Eso es debido al hecho de que la arquitectura, a pesar de ser sencilla, es muy escalable.

1.4.4.1 Elementos de una red Wi-Fi

Los elementos para conformar una red WiFi son los siguientes:

- **Access Point o Punto de Acceso (AP):** Los AP son el enlace entre las redes cableadas y las inalámbricas, es decir, un AP normalmente se conecta de forma directa a una conexión Ethernet cableada, y este a su vez proporciona conexiones inalámbricas usando enlaces de radiofrecuencia a otros dispositivos. La mayoría de los Access Point están diseñados para soportar la conexión de múltiples dispositivos inalámbricos.

- **Antena:** Las antenas son los elementos que envían al aire señales en ondas electromagnéticas que contienen la información dirigida a los dispositivos de destino, y de manera viceversa, reciben las señales de las cuales se extraerá la información que llega de otro dispositivo. Existen diferentes tipos de antenas las cuales constan de propiedades geométricas que hacen dirigir la energía electromagnética en distintas direcciones del espacio. Por ejemplo, las antenas omnidireccionales emiten en todas direcciones, en tanto que las antenas sectoriales u otros como las antenas parabólicas, reducen progresivamente el sector angular hacia el cual transmiten o reciben. Al concentrar la energía enviada se obtiene comunicaciones con otras antenas a una mayor distancia, mientras que una antena omnidireccional, en cambio, ofrece una superficie de cobertura más extendida. Para saber el tipo y cantidad de antenas a utilizar para dar cobertura a un área, se necesita llevar a cabo estudios que indiquen la morfología del territorio o ciudad, de la frecuencia que está permitida para transmitir, entre otras cosas.
- **Dispositivo externo Wi-Fi:** El principal dispositivo es la tarjeta WI-FI, cuya tarjeta de red de área local cumple con la certificación WI-FI y permite por lo tanto la conexión de un terminal de usuario en una red con estándar 802.11. En la actualidad existen diferentes tarjetas para cada tipo de estándar 802.11, pero también hay dispositivos mixtos. Las diferencias entre este tipo de tarjetas y una tarjeta Ethernet convencional son el cifrado de datos, ESSID, el canal en el que trabaja y la velocidad de transmisión.
- **Antena de usuario y conector pigtail:** La antena de usuario permite la conexión necesaria a un usuario para el acceso a la red WI-FI. Los conectores pigtails, son cables que conecta y adapta la tarjeta WiFi y la antena del usuario. El pigtail no es un elemento estándar, todo dependerá del fabricante de la tarjeta. En algunos dispositivos la tarjeta de WiFi ya viene integrada como es el caso de portátiles, PDA, etc.

1.4.5 Técnicas de Modulación

La tecnología Wi-Fi trabaja con las siguientes modulaciones:

1.4.5.1 FHSS (espectro esparcido por salto de frecuencia)

FHSS se basa en el concepto de transmitir sobre una frecuencia por un tiempo determinado, después aleatoriamente saltar a otra.

1.4.5.2 DSSS (*Espectro esparcido por secuencia directa*)

El DSSS implica que, para cada bit de datos, una secuencia de bits (llamada secuencia pseudoaleatoria) debe ser transmitida.

1.4.5.3 OFDM (*Modulación por división de frecuencias ortogonal*)

OFDM, es una técnica de modulación basada en la idea de la multiplexación de división de frecuencia (FDM).

El término ortogonal se refiere al establecimiento de una relación de fase específica entre las diferentes frecuencias para minimizar la interferencia entre ellas

1.4.6 *Aplicaciones de Wi-Fi*

Las aplicaciones Wi-Fi pueden extenderse a prácticamente todas las áreas y los entornos.



Figura 18-1: Entornos de la Wi-Fi

Fuente: (Vaca y Venegas 2011, p.5)

1.4.6.1 *Redes Privadas*

Es un modelo simple que consiste en permitir la extensión inalámbrica a redes locales (privadas) ya existentes, las cuales pueden ser redes privadas profesionales, es decir, redes corporativas, redes de universidades, redes ligadas a la ciencia, etc., o simplemente redes de uso personal. En este modelo el retorno económico se da a través de la auto prestación de servicios.

1.4.6.2 HotSpot

En este modelo se define la creación de redes inalámbricas para dar un servicio sea este internet, mensajería, juegos en red, etc., en sectores específicos, donde existan clientes potenciales que puedan acceder a los mismos, estos lugares pueden ser terminales de buses, aeropuertos, Malls, etc. En este modelo la prestación de servicio es cobrado directamente al cliente.

1.4.6.3 Operadores WAN

En este modelo se aplica para operadores cuya actividad sea la explotación de redes públicas de telecomunicaciones para cubrir zonas geográficas con el uso de esta tecnología (Wireless LAN).

1.5 Servicio Triple Play

Es una plataforma que permite la integración de las redes dispersas como son Voz, Video y Datos, el flujo de estas redes que viajan a través de la misma red elimina la necesidad de crear y mantener redes separadas.

El término Triple Play es un modelo que ofrece a las operadoras muchas ventajas, como: la fidelización de los clientes, la escalabilidad y amortización más rápida de su red y los flujos de caja. Los clientes se verán beneficiados por precios más competitivos, única factura, y mayor sencillez en las gestiones de incidencias.

El objetivo técnico a conseguir es que estos servicios y cualquier otro que pudiera surgir en el futuro puedan funcionar sobre una única infraestructura y a su vez todos funcionen dentro de unos parámetros de calidad aceptables.

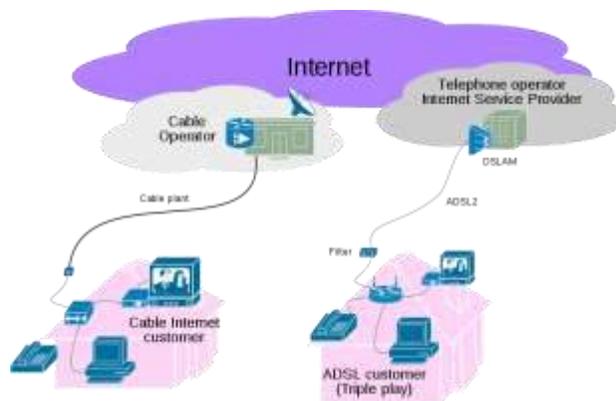


Figura 19-1: Diagrama de Triple Play

Fuente: http://www.eoi.es/blogs/mtelcon/files/2013/01/Triple_play2.png

1.5.1 Definición

Es el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión). Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV y pago por visión).

1.5.2 Funcionamiento

La conexión se basa en datagramas IP para todos los servicios. El servicio telefónico, se basa en la tecnología de las operadoras. Para el manejo de la telefonía, se utiliza una "central pública telefónica IP" o Softswitch, la que registra los teléfonos conectados a la red multiservicio a través de ADSL. Los teléfonos analógicos se conectan a la línea ADSL a través de un conversor llamado ATA/IAD. Si la llamada se produce entre teléfonos registrados en el Softswitch se establecerá una llamada VoIP entre ambos. El IP Gateway es un elemento esencial, para procesar llamadas externas con teléfonos IP no asociados al Softswitch. Su misión es la de enlazar la red VoIP con la red telefónica analógica o RDSI para llamadas externas.

1.5.3 Elementos

El servicio triple play requiere una infraestructura de red integrada por los distribuidores de servicios, red de transporte, red de acceso y red de abonado.

1.5.3.1 Distribuidores de servicio

Poseen un equipamiento para gestionar las funciones multimedia necesarias para instaurar comunicaciones con el cliente. Por ejemplo, en la televisión por cable se toma la señal del distribuidor y se codifica de la misma manera que se hace con los videos grabados y una vez digitalizadas se organizan en paquetes para su envío.

1.5.3.2 Red de Transporte

Contiene los componentes necesarios para transportar la información multimedia a su destino. Tiene un primer tramo constituido por la red troncal que se encarga de transportar en ambas direcciones una gran cantidad de información digital con calidad de servicio.

1.5.3.3 Red de Acceso

Realizan las labores de envío de información, en especial la multiplexación de los datos que vienen de diversos distribuidores de servicios o suscriptores. En este tramo que constituye la última porción de la red de comunicación se emplea PLC.

1.5.3.4 Red de Abonado

Contiene los dispositivos terminales de la red, uno de ellos es el módem PLC encargado de demodular la información receptada y transferirla al abonado y además modular los datos que el usuario va a transmitir a la red. En este tramo además es posible ejecutar tareas de administración, mantenimiento y señalización. A esta red se conectan las computadoras y los equipos telefónicos que el abonado requiera

1.5.4 Fundamentos de Tráfico

En este sistema en la capa de red de ISO (International Organization for Standardization), se emplea el protocolo IP (Internet Protocol) hasta el usuario para mejorar la eficiencia al no requerir la conversión media de protocolos. Así es posible contar con gran cantidad de utilidades IP, tales como VoIP (Voice over IP), acceso a Internet, VPN (Virtual Private Network), televisión por cable y video bajo demanda.

1.5.4.1 Calidad de Servicio

En casos como el de Triple Play en que por la convergencia se comparte los medios con otras aplicaciones, estas requieren varias clases de QoS (Quality of Service), así la telefonía necesita una calidad de servicio diferente que el video o que el acceso a Internet.

Los medios de transporte en la red y los del tráfico de paquetes para cada servicio tienen que exponer superiores propiedades para así proporcionar adecuados niveles de calidad de servicio

1.5.4.2 Perturbaciones en Servicios de Voz

Es valorada como la aplicación más precisa en lo referente al tiempo entre los servicios triple play, debido a ciertos elementos que pueden perturbar mucho su calidad, tales como el retraso, la pérdida de información y el jitter.

1.5.4.3 Perturbaciones en Servicios de Video

Al brindar servicios de video pueden ofrecerse tramas estáticas o imágenes con retraso en las pantallas. En video bajo demanda se tiene menos sensibilidad a retrasos porque el tráfico de video cruza por una memoria buffer del reproductor para salvar retrasos en los datos. Para servidores de video es admisible un retraso de 6 segundos, sin embargo, tramas comprimidas presentan retrasos de 180 ms con MPEG2 (Moving Picture Experts Group) y 100 ms con MPEG4

1.5.4.4 Perturbaciones en Servicios de Datos

Para el flujo HTTP (Hypertext Transfer Protocol), algunos datos perdidos no significan un inconveniente si la información de señalización es correcta, pues los paquetes se reorganizarán en el destino sin variaciones o pérdidas para el cliente. Internet no es usualmente afectado por el retraso y el jitter.



Figura 20-1: Servicios triple play

Fuente: http://www.eoi.es/blogs/mtelcon/files/2013/01/Triple_play2.png

1.5.5 Descripción de los Servicios Triple Play

1.5.5.1 Voz

Es un conjunto de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando el protocolo IP (Protocolo de Internet). Sistema que permite la comunicación a distancia entre dos o más personas. La tecnología digital, permite usar servicios adicionales como Internet.

Los servicios de voz requieren la capacidad de 200 Kbps para la transmisión de servicios de la Voz. La telefonía IP es un servicio ofertado por grandes proveedores de internet y es integrado con programas de mensajería: Messenger, Yahoo, AOL, Skype. Requiere el uso de equipos específicos que representan en la actualidad una inversión de importancia.

1.5.5.2 Video

Transmisión de múltiples canales de televisión, video-conferencias o la monitorización remota de instalaciones domóticas. Las emisiones de televisión por Internet no pueden por tanto permanecer ajenas a esta mejora y demandan más velocidad de transmisión de la señal.

- **IPTV:** Es el proceso de transmisión y emisión de programas de televisión a través de Internet utilizando el protocolo IP. Se refiere a la entrega de programas y vídeo bajo demanda (VOD), como programas de televisión y películas a través del Internet. IPTV da un servicio dinámico al usuario para mejorar la experiencia del usuario en comparación con una transmisión de televisión tradicional (Morales, 2010, p. 34).

- **CATV:** Es un sistema de televisión por cable que recibe las transmisiones de televisión por antena y las retransmite por cable para los suscriptores de pago. Además de traer los programas de televisión a esos millones de personas en todo el mundo que están conectados a una antena comunitaria, TV por cable probablemente se convierta en una forma popular para interactuar con las otras nuevas formas de información multimedia y servicios de entretenimiento.
- **Televisión Online:** Servicio que está disponible en línea, utiliza el protocolo de transmisión de datos TCP/IP, teniendo programación general para todos los usuarios. La Televisión por Internet hace que sea posible ver los mismos canales de televisión en un dispositivo conectado a Internet en lugar de cable, satélite, antena u otras tecnologías.

1.5.5.3 Internet

El acceso a las redes de ordenadores como Internet, redes corporativas para tele-trabajo o la propia red del proveedor de servicios. La descarga de videos o programas cada día más voluminosos por una creciente complejidad de los sistemas operativos que se hacen más manejables para el usuario, se vería reducida en el tiempo haciendo casi transparente para nosotros este incremento de tamaño.

Se trata de un sistema de redes informáticas interconectadas mediante distintos medios de conexión, que ofrece una gran diversidad de servicios y recursos, se caracteriza por requerir unos anchos de banda bastante elevados.

1.6 TEORIA DE ANTENAS

El Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983).

1.6.1 Parámetros de las antenas

Permiten saber el comportamiento que tiene determinada antena tanto de recepción como de transmisión. Es importante comprender este tipo de parámetros para que operen correctamente las

antenas. Las antenas se caracterizan por una serie de parámetros, estando los más habituales descritos a continuación:

1.6.1.1 Impedancia

Es la relación entre la tensión y la corriente de entrada. La impedancia es un número complejo. La parte real de la impedancia se denomina Resistencia de Antena y la parte imaginaria es la Reactancia. La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas. Las antenas se denominan resonantes cuando se anula su reactancia de entrada.

1.6.1.2 ROE (Relación de onda estacionaria)

Es una característica de la antena que indica el grado de adaptación de la antena con el resto del medio. Mientras mayor sea el grado de adaptación, menor potencia será reflejada y, por lo tanto, mayor cantidad de ésta será irradiada por la antena al espacio libre. El ROE depende del coeficiente de reflexión de voltaje.

1.6.1.3 Intensidad de radiación

Es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección; sus unidades son vatios por estereorradián.

1.6.1.4 Directividad

La directividad D de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiase la misma potencia que la antena.

1.6.1.5 Polarización

Es la variación, generalmente del vector campo eléctrico, en función del tiempo.

- Polarización Lineal: Vertical, Horizontal

- Polarización Circular: Derecha, Izquierda
- Polarización Elíptica: Derecha, Izquierda

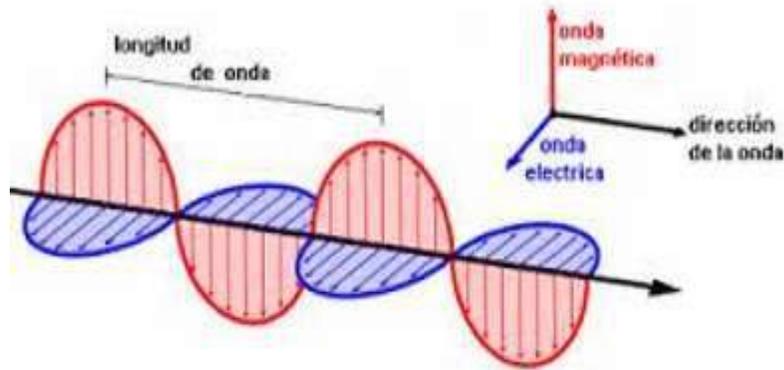


Figura 21-1: Polarización

Fuente: <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/63-propagacion-en-el-espacio-libre/8>

1.6.1.6 Ancho de Banda

Es el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen unas determinadas características. Se puede definir un ancho de banda de impedancia, de polarización, de ganancia o de otros parámetros. El ancho de banda está determinado por las frecuencias superior e inferior fuera de las cuales el nivel de energía en la antena decrece a más de 3dB.

1.6.1.7 Ganancia

Se define como la ganancia de potencia en la dirección de máxima radiación. La Ganancia (G) se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación.

1.6.1.8 Eficiencia

Relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena. También se puede definir como la relación entre ganancia y directividad.

1.6.1.9 Diagrama de Radiación

Es la representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija.

Isotrópicas: Es una antena hipotética que no presenta pérdidas, su intensidad de radiación es la misma en todas las direcciones. Al no existir ninguna antena o elemento radiante que presente un diagrama isotrópico, se diseñan antenas cuasi-isotrópicas que se utilizan para aplicaciones TTC (seguimiento y telemando).

Omnidireccionales: Son capaces de radiar en los 360 grados., a diferencia de las antenas isotrópicas los lóbulos de energía se presionan hacia adentro desde la parte superior e inferior esto provoca que se pierda cobertura en la parte de abajo de la antena, son utilizadas en las estaciones base cuando se quiere cobertura en todas las direcciones, sin embargo, cuando se requiere una mayor ganancia se busca otro tipo de antenas más directiva. Como ejemplo tenemos la antena dipolo.

Directivas: Como su nombre lo dice, son un tipo de antenas que poseen una dirección específica de radiación con distancias más largas, sin embargo, a distancias más el ángulo de cobertura disminuye, por esta razón no se las utiliza en aplicaciones que no requieran gran cobertura, un ejemplo de antenas con estas características son las yagi, o bocina cónica.

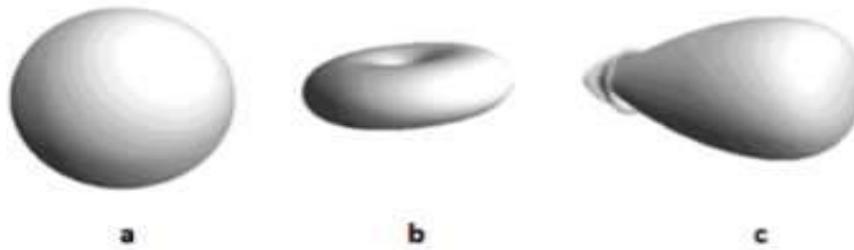


Figura 22-1: Diagrama de Irradiación, a) Isotrópico, b) Omnidireccional, c) Directivo

Fuente: <http://serviciosinalambricos.com/como-elegir-una-antena/>

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Metodología de Investigación

La metodología de la investigación se realizó con la finalidad de obtener información necesaria y determinar aspectos importantes para el desarrollo de la red inalámbrica.

2.1.1 Tipos de investigación

Para llevar a cabo un proyecto se debe realizar una excelente investigación para lo cual se hace uso de los diferentes tipos de investigación, en el presente trabajo se utilizó la investigación analítica, descriptiva y bibliográfica.

2.1.1.1 Investigación Analítica

Este tipo de investigación se basa en el análisis de las redes inalámbricas WiMAX, LTE y Wi-Fi con sus respectivos parámetros y características necesarias en el cual se efectuó un proceso sistemático y secuencial de recolección, selección, clasificación y análisis de contenido tanto físico y virtual de estas tecnologías lo que nos sirvió de fuente teórica, conceptual y metodológica para determinar que la red WiMax es la que cumple con nuestros requerimientos.

2.1.1.2 Investigación Descriptiva

Esta investigación se basa en realidades de hechos y su objetivo principal es presentar una interpretación correcta. Se utilizó este tipo de investigación con el objetivo de llegar a conocer las situaciones y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos y procesos de la red.

2.1.1.3 Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación constituye una excelente introducción a toda la investigación, en este proyecto se empezó con una amplia búsqueda de información acerca de las redes inalámbricas y sus tecnologías, centralizándonos en la red WiMAX.

2.2 Metodología del diseño de la red inalámbrica WiMAX

2.2.1 Descripción de fabricantes

Las comparaciones de los componentes principales de la red inalámbrica deben cumplir con todos nuestros requerimientos. Para la selección de equipos tanto para la Estación Base como para los usuarios se consideran aquellos que permitan transmitir y recibir señales de radio funcionando con el estándar IEEE 802.16 y brindar conectividad de los servicios triple play por medio del estándar IEEE 802.16.

Durante la investigación se considera diferentes empresas que pueden proveer del equipamiento necesario, cuyas características se ajustan al diseño de red propuesto en esta investigación. Las empresas Alvarion, Siemens, Airspan y Albentia desarrollan diferentes equipos, los cuales se describirán a continuación.

2.2.1.1 Alvarion Technologies

Es una compañía a nivel mundial cuyas soluciones de banda ancha inalámbrica abarcan los diferentes parámetros de conectividad, cobertura y la capacidad de las redes públicas y privadas. Alvarion Technologies crea y fabrica una gran cantidad de equipos para sustentar las diferentes topologías de redes sean punto a punto, punto a multipunto.

La empresa consta de una excelente reputación en más de 95 países debido a su fiabilidad y rendimiento de sus equipos, es por ello que tiene un reconocimiento de su marca en el mercado de telecomunicaciones.

2.2.1.2 Airspan

Airspan es una empresa fundada en 1992, y hasta la fecha consta con más de 500 clientes a nivel mundial, esta compañía ofrece una gran variedad de productos para las necesidades de sus clientes los cuales son proveedores de servicios de internet ya sean de banda ancha inalámbrica o alámbrica.

La empresa ha estado a la evolución de la creación de nuevas tecnologías de comunicación. Como en la actualidad existe 4G, LTE, WiMAX, WiFi y VoIP, Airspan provee productos innovadores que cubran esta necesidad para los clientes y a su vez se beneficien de estos productos.

2.2.1.3 Albenia Systems

La empresa se estableció en el 2004 con sede en Madrid, España. Es el principal proveedor de servicios inalámbricos en el mercado español, esta compañía desarrolla diferentes medidas innovadoras con tecnología WiMAX para las aplicaciones que se requieran ya sean móviles o fijas.

Dispone de un equipo de ingenieros con una contrastada experiencia en los mejores laboratorios de investigación del mundo y de un equipo dinámico que, de manera proactiva, acompaña a nuestros clientes en el despliegue de los sistemas de comunicaciones más avanzados de la industria.

2.2.1.4 Aperto Networks

La empresa se fundó en 1999, y en su momento se posiciono como líder de WiMAX con la introducción de PacketWave, los primeros equipos en soportar estándares 802.16 y en la actualidad se ha convertido en la poderosa PacketMAX. La compañía se presenta con una certificación de parte de WIMAX fórum, puesto que sus servicios tienen la capacidad de ser altamente escalable y con cobertura a la necesidad del cliente.

Aperto ha liderado la industria WiMAX en el desarrollo de estándares de la industria para soluciones de banda ancha inalámbrica. Aperto da soporte tanto para frecuencias licenciadas como no licenciadas y es fundador y colaborador principal para IEEE 802.16. Hoy en día, Aperto continúa liderando la industria.

2.2.1.5 Mercury Networks

La empresa con sede en la ciudad de Oklahoma, tiene un rápido crecimiento y está compuesto por personas conocedoras y talentosas en su trabajo, el grupo de trabajo es muy unido y hace que Mercury Networks sea altamente rentable.

Su presencia se encuentra entre 20.000 entregas de evaluaciones al día, al igual siempre está en contacto con sus clientes, Mercury se centra en la solución de conexión de software a sus clientes.

2.2.1.6 Ubiquiti Networks

Es una compañía estadounidense proveedora de tecnología disruptiva para la creación de redes inalámbricas. Ubiquiti se dedica principalmente al diseño de hardware de redes inalámbricas, tanto para la comunicación a largas distancias, como para el despliegue de pequeñas redes Wi-Fi, priorizando la innovación y el alto rendimiento a bajo coste. Sus principales clientes son proveedores WISP y empresas dedicadas al despliegue de redes.

2.2.2 Descripción de los equipos utilizados

Se detalla a continuación razones puntuales de la elaboración de productos WiMAX por distintos fabricantes que compiten fuertemente en el amplio mundo de las redes de comunicación inalámbrica. Cada producto tiene ventajas y desventajas frente al proyecto de investigación propuesto, es muy importante tener los conocimientos específicos que permitan desarrollar sin inconvenientes el Diseño de una Arquitectura Híbrida para los clientes



Figura 1-2: Equipos para WiMax

Fuente: Cáceres Iván, 2013 (Red Inalámbrica)

2.2.2.1 Enlaces Punto a Punto

Los enlaces punto a punto demandan antenas con haces muy estrechos menores a 3° por esta razón empleamos antenas de alta ganancia que operan en la banda de frecuencias de 5Ghz, de igual forma los radiotransmisores operaran en dicha frecuencia.

- **Antena AirMax ROCKETDISH RD-5G34**

Esta antena presenta una alta ganancia que se encuentra entre 30dBi a 34 dBi opera en la frecuencia de los 5Ghz, presenta un diseño compacto que puede ser instalado en todo tipo de torre esta característica la hace ideal para nuestra aplicación. En la Figura 2-2 se muestra el aspecto físico de la antena.

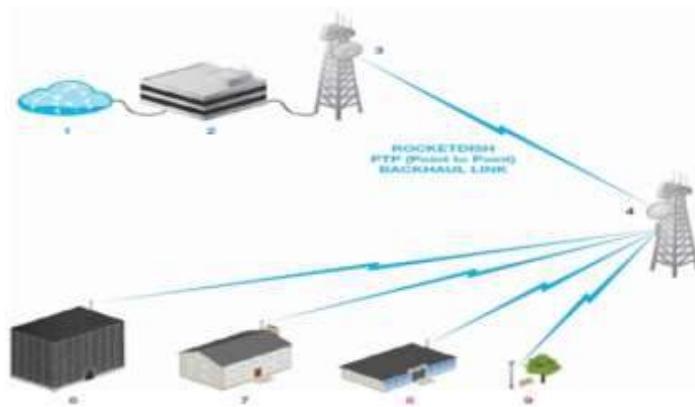


Figura 2-2: Antena AirMax ROCKETDISH RD-5G34

Fuente: Cáceres Iván, 2013 (Red Inalámbrica)

Tabla 1-2: Especificaciones técnicas de Antena AirMax

Antena AirMax ROCKETDISH RD-5G34	
Rango de Frecuencia	4.9-5.90GHz
Ganancia	32.1-34.2 dBi
Polarización	Dual Lineal
Aislamiento de polaridad	35 dBi min
Max VSWR	1.4:1
Apertura Hpol (6dB)	3 grados
Apertura Vpol (6dB)	3 grados
Apertura Elevación (6dB)	3 grados

Downtilt Eléctrico	-42 dB
Especificación ETSI	EN 302 326 DN2
Dimensiones	972mm diameter
Peso	13.5kg
Resistencia al viento	125mph
Carga al viento	256lb@100mph

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Fuente: <https://goo.gl/eyfXZb>

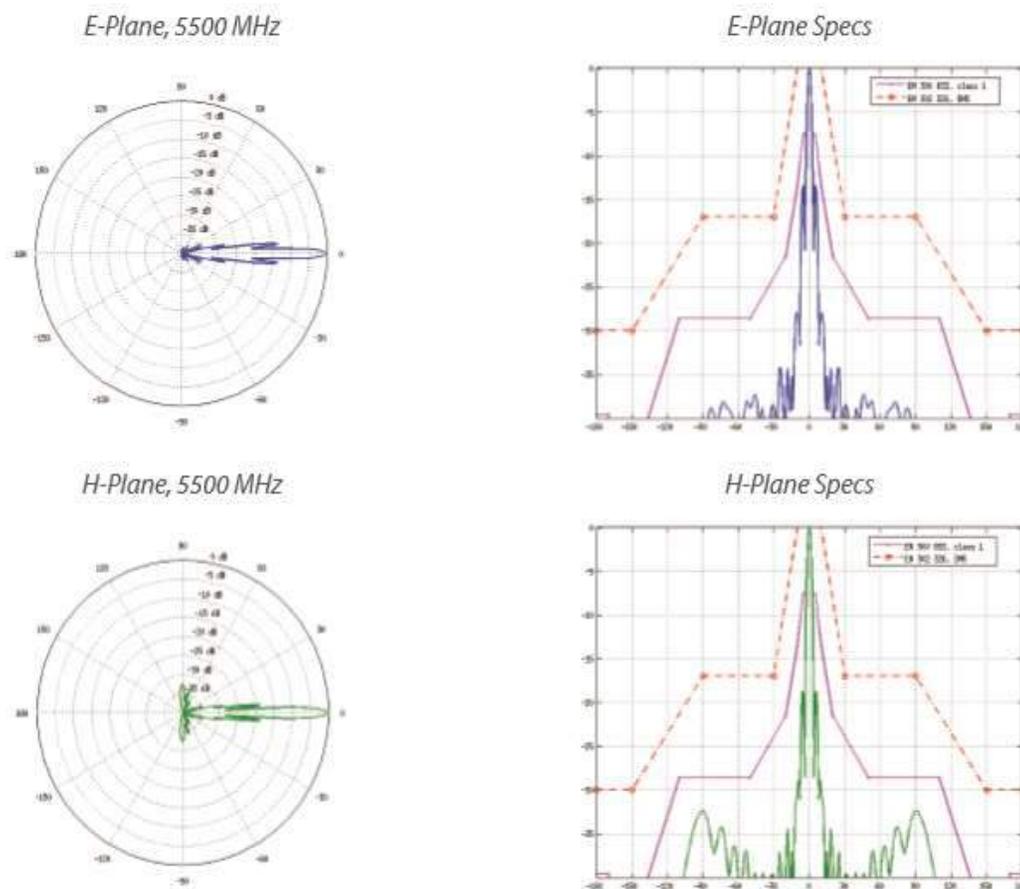


Figura 3-2: Diagrama de radiación de la Antena AirMax

Fuente: <https://goo.gl/eyfXZb>

- **Radiotransmisor Rocket Ubiquiti M5**

Este tipo de radiotransmisor presenta características similares al radiotransmisor utilizado en el radioenlace sectorial, opera en la banda de los 5Ghz presenta una potencia de salida de 22dBm a una tasa de transferencia de 54Mbps, la sensibilidad es de -75dBm, presenta un consumo máximo de 8w, la hoja de especificaciones de muestra en la Figura 4-2.



Figura 4-2: Ubiquiti M5Radiotransmisor Rocket

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/PW7S7N>

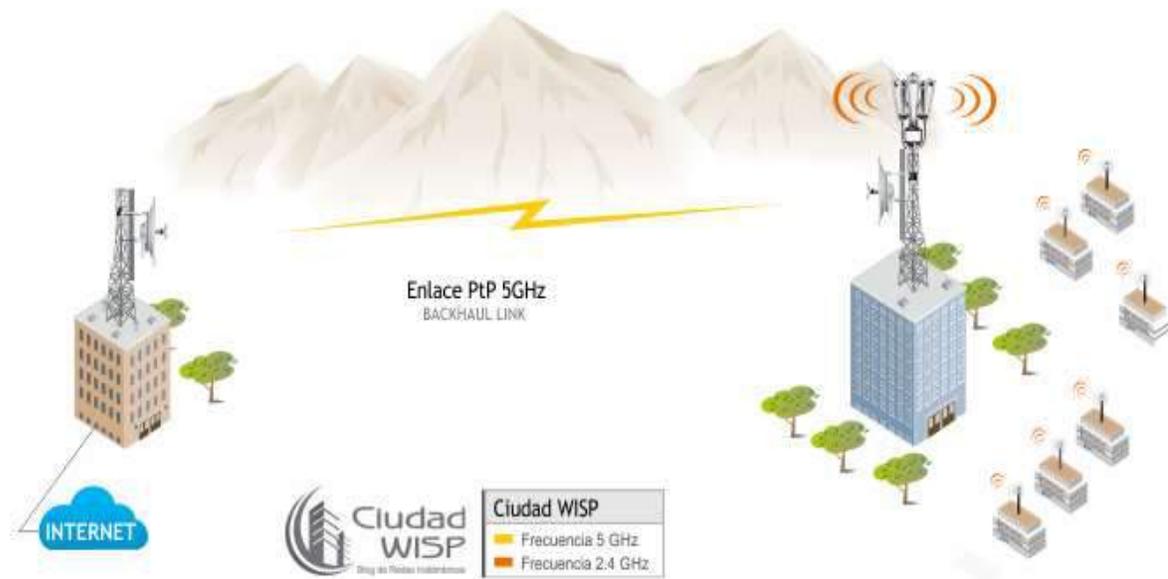


Figura 5-2: Enlace PtP con Radiotransmisor

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/PW7S7N>

Tabla 2-2: Ubiquiti M5 Radiotransmisor Rocket

ROCKET M5	
Procesador	Atheros MIPS 24KC, 400MHz
Memoria	64MB SDRAM, 8MB Flash
Interfaz de red	1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface
Tamaño	16cm length x 8cm width x 3cm
Peso	0.5kg
Máximo poder de consumo	6.5 watts
Método de la energía	Energía pasiva a través de Ethernet (pares de 4,5 +; 7,8 y vuelta)
Operación a intemperie	-30C a 75C
Operación sobre humedad	5 a 95% de humedad
Energía Suministrada	Passive PoE 110-240VAC 24VDC 1A US-style plug

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Fuente: Especificaciones técnicas del Radiotransmisor Rocket Ubiquiti M5

2.2.2.2 Enlaces Punto a Multipunto

- **Antenas AirMax sector 2G-16-90**

Este tipo de antenas brindan una alta ganancia entre 15dBi y 17dBi dependiendo de la frecuencia de operación, operan en la banda de 2.4Ghz, presenta un ángulo de abertura de lóbulo principal de radiación de 90° y 120°, se pueden colocar sin mayor dificultad en cualquier tipo de torre sea auto soportadas o atirantada debido a su diseño compacto. En la Figura 6-2, se muestran las antenas empleadas para brindar cobertura y sus características técnicas.



Figura 6-2: Vista lateral de la Antena AirMax Sectorial

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/uBYwXW>

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de Antena AirMax Sectorial

Antena AirMax sector 2G-16-90	
Rango de Frecuencia	2.3-2.7GHz
Ganancia	15.0-16.0
Polarización	Dual Lineal
Aislamiento de polaridad	28 dB min
Max VSWR	1.5:1
Apertura Hpol (6dB)	123 grados
Apertura Vpol (6dB)	118 grados
Apertura Elevación (6dB)	9 grados
Downtilt Eléctrico	4 grados
Especificación ETSI	EN 302 326 DN2
Dimensiones	700x145x93 mm
Peso	4.0 kg
Carga al viento	160 mph

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/Hv1J9p>

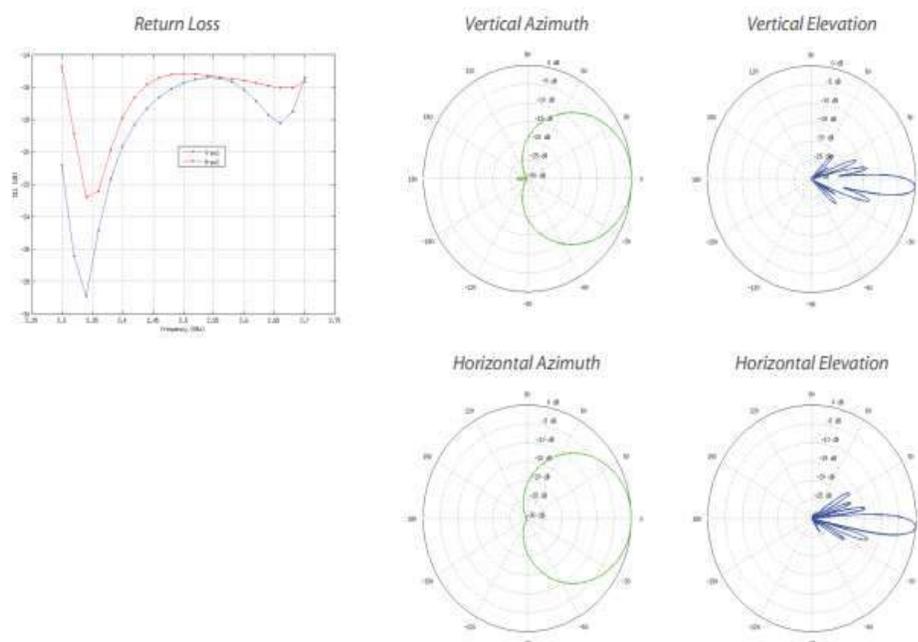


Figura 7-2: Diagrama de radiación de la Antena sector 2G-16-90

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/sD5GAF>

- **Transmisor ROCKET M2**

Este radio transmisor que opera en la banda de 2.4Ghz con una potencia máxima de salida de 2.8dBm o 0.6W, la potencia máxima de salida dependerá de tasa de la transmisión de datos, para nuestro caso usaremos una tasa de transmisión de 10 Mbps lo cual nos proporcionara una potencia máxima de salida de 22dBm, esta potencia de salida puede variar dependiendo de las necesidades de alcance de transmisión, la sensibilidad del receptor dependerá de igual manera de la tasa de transferencia de datos, para este caso usaremos una sensibilidad de -107dBm, este tipo de radiotransmisor ofrece diferentes tipos de modulación digital en fase y frecuencia, presenta un diseño compacto, el cual se acopla fácilmente a la parte posterior de la antena, presenta un máximo consumo de 6.5w, para el módulo de conexión de datos y para el sistema de transmisión, la hoja de especificaciones técnicas, en la Tabla 4-2 se muestra el dispositivo.



Figura 8-2: Transmisor ROCKET M2

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/yQ2sSq>

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas del Transmisor ROCKET M2

ROCKET M2	
Procesador	MIPS 74KC
Memoria	128 MB SDRAM, 8MB Flash
Interfaz de red	1 x 10/100/1000 Mbps 1 x 10/100 Mbps
Tamaño	160 x 80 x 44 mm (6.30x3.15x1.73)
Peso	350 g (12.35 oz)
Máximo poder de consumo	6.5 watts

Método de la energía	Energía pasiva a través de Ethernet (pares de 4,5 +; 7,8 y vuelta)
Operación a intemperie	-30C a 75C (-22 a 167° F)
Operación sobre humedad	5 a 95% de humedad
Energía Suministrada	48V 0.5A PoE

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/yQ2sSq>

- **Nanoestacion LOCO serie M2**

El equipo de usuario será un módulo NSM2, el cual presenta una potencia de salida máxima de 28dBm o 0.6w, opera en la banda de 2,4Ghz con una polarización lineal dual, presenta una ganancia de 10dBi a 12dBi, con una sensibilidad de -83dBm. en la Figura 10-2 se muestra los respectivos diagramas de radiación de la antena, En la Tabla 5-2 se muestran las especificaciones técnicas de la antena empleada para brindar servicio a los suscriptores.



Figura 9-2: Transmisor ROCKET M2

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/yQ2sSq>

Características

- El equipo es compatible con IPv6 en modo bridge y WDS.
- Permite conectarse a más de 300 clientes al equipo.
- Web de administración muy sencilla y transparente.
- Este modelo tiene una baja latencia
- El equipo incluye el inyector PoE de 24V necesario para su alimentación.

- Soporta PoE en el puerto ethernet secundario, lo que le permite alimentar otro dispositivo.
- Utiliza la nueva versión de firmware AirOS V.

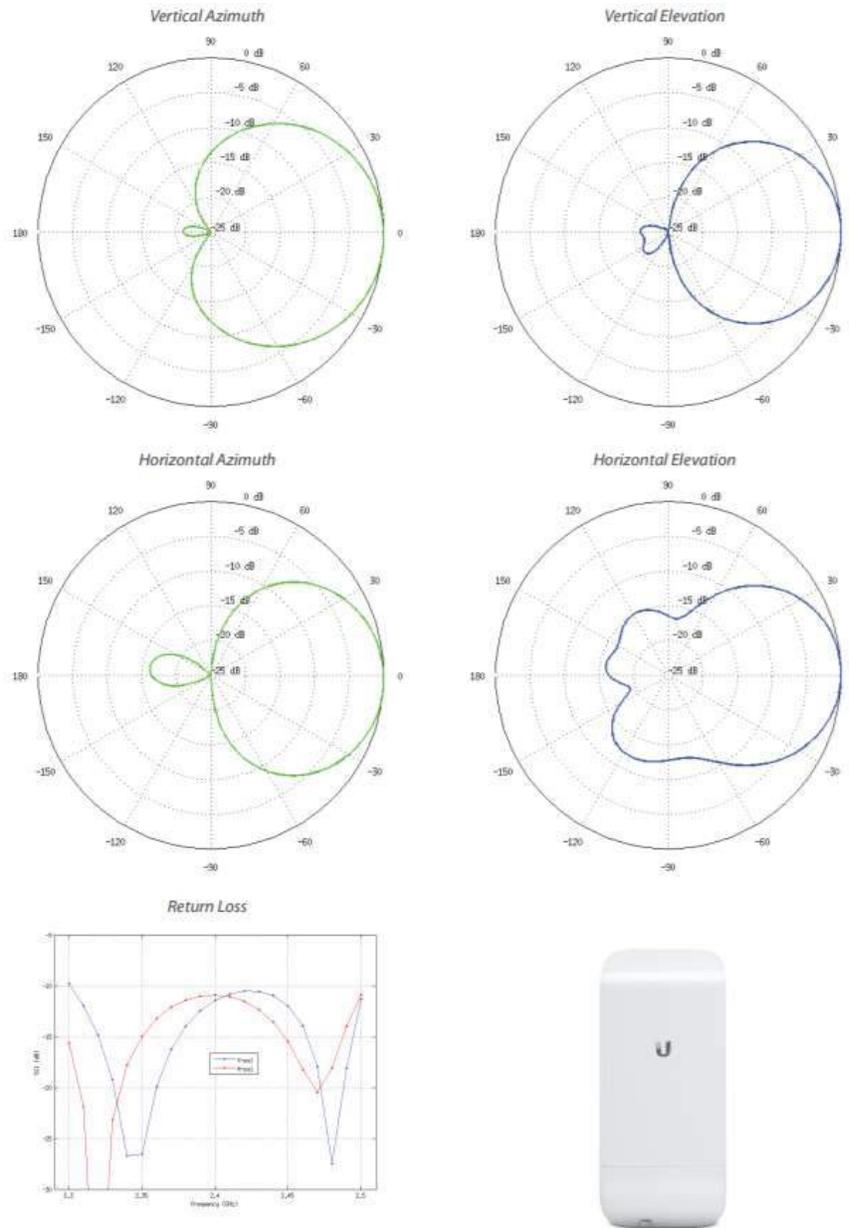


Figura 10-2: Diagrama de radiación y pérdida de retorno de la antena Nano estación

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/JkcfL>

Tabla 5-2: Especificaciones técnicas del LOCO serie M2

LOCO serie M2	
Funcionamiento	AP, Client, WDS
Frecuencia	2400 - 2486 MHz
Velocidad de Transmisión	Hasta 300 Mbps
Max. potencia de salida	23 dBm
Máximo poder de consumo	6.5 watts
Modulación	OFDM, DBPSK, DQPSK, CCK, 64QAM,16QAM
Encriptación	WEP, WPA, WPA2
Certificaciones	FCC, CE
Temperatura	-30°C hasta +80°C

Realizado por: Carolina Atí, 2017

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012)

2.2.2.3 Otros Equipos

- **Alvarion BreezeNET B100 5.4 GHz**

Es un sistema de puente inalámbrico de alto rendimiento que brinda conectividad punto a punto de alta capacidad y alta velocidad, permite dar servicio triple play (Voz, Video y Datos).

El sistema, que opera en la banda de 5.7 GHz, utiliza tecnologías avanzadas para brindar un rendimiento óptimo incluso en entornos de alta densidad de RF. Utilizando las capacidades mejoradas de resistencia de múltiples caminos de la tecnología de módem OFDM, BreezeNET B permite el funcionamiento en entornos NLOS y no alineados, como edificios, follaje o cunetas. Estas cualidades permiten el despliegue de enlaces PTP en situaciones previamente inaccesibles.



Figura 11-2: BreezeNET B100 5.4 GHz

Fuente: (Ubiquiti Networks, 2012), <https://goo.gl/JkcfiL>

- **Torre de Comunicación**

La torre para la instalación de la estación base debe ser triangular, ocupan un área considerable ya que los vientos deben estar anclados a una distancia de la base que es por lo menos la tercera parte de la altura.

Suministro de torre de 40 metros contará con pintura blanco y rojo aeronáutico para señalización diurna. Cimentación que sobresaldrá unos 10 cm del suelo y herrajes necesarios para la correcta instalación. Tramos de torre sección triangular ventada (30x30 cm. de lado x 3 metros de largo). Construida en tubo Electrosoldado de 1 ¼ x 1.2 mm, 7 pasos de platina 1 1/4 x 1/4. Refuerzo en Z Fe de 1/2, embonable tipo pin galvanizado por inmersión en caliente.

2.2.3 Radioenlaces Digitales

Cuando realizamos la transmisión utilizando este método, la modulación en la portadora es digital, de tipo binario o multinivel, para este tipo de transmisión se usa muchas variantes de la modulación de fase coherente: PSK binaria, PSK cuaternaria, etc. Así también como modulaciones multinivel mixtas de amplitud y fase del tipo MQAM (M= 16, 64, 128), la señal moduladora puede ser muy variada como: voz y música digitalizada, señal de datos, video digitalizado, etc. Los enlaces microondas también se los puede dividir dependiendo de la velocidad de transmisión de datos:

- Baja capacidad, hasta 2 Mbps
- Capacidad media, hasta 8 Mbps
- Alta capacidad, mayor o igual de 34 Mbps

2.2.3.1 Características de radioenlaces

Debido a que las ondas de microondas se propagan por la troposfera, tiene limitaciones debido a obstáculos como la redondez de la tierra, obstáculos geográficos y condiciones atmosféricas.

- **Pérdidas en la trayectoria del espacio Libre**

Son las pérdidas proporcionales a la distancia de separación entre los dos terminales está dado por la fórmula:

$$Lp = \frac{30\lambda}{480\pi^2 D^2} \text{ y } Lp(dB) = 92.4 + 20 \log(D) + 20 \log(f)$$

Lp: pérdidas en el espacio libre

D: distancia entre Tx y Rx

f: frecuencia de portadora en GHz

λ : Longitud de onda en metros

- **Zonas de Fresnel**

Las zonas de Fresnel son el espacio que contiene las trayectorias alternativas en función de $n\lambda/2$, se recomienda tener despejada la primera zona de Fresnel en un 100% ya que por las variaciones meteorológicas el radio efectivo de la tierra puede variar y es tolerable que la primera zona de Fresnel este libere de obstáculos en al menos un 60%

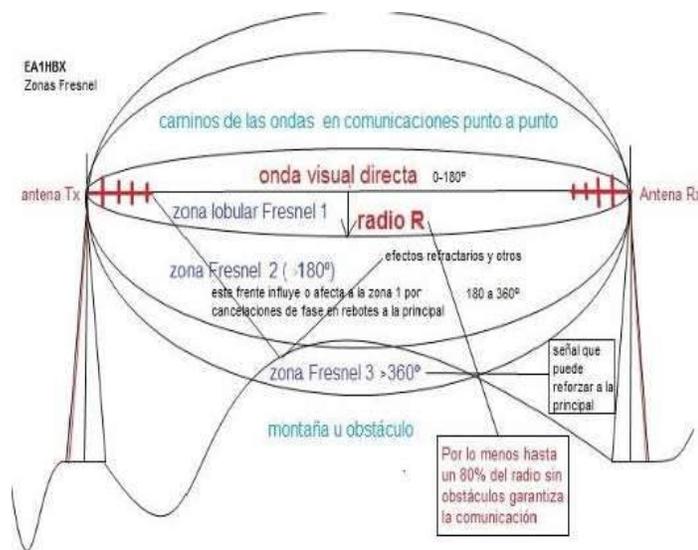


Figura 12-2: Características Zona de Fresnel

Fuente: <http://www.ea1uro.com/ea1hbx/>

Los cálculos para encontrar el despeje de la primera zona son:

$$rn = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

rn; radio del elipsoide de Fresnel en metros (n=1, 2,3...).

d1: distancia desde el transmisor al centro del elipsoide en metros.

d2: distancia desde el centro del elipsoide al receptor en metros.

λ: Longitud de onda de la señal transmitida en metros.

- **Margen de umbral**

Considerando que la potencia recibida es mayor que lo requerido por la sensibilidad del receptor. Se tiene un margen, en el que dicha potencia recibida podría disminuir y se define como:

$$Mu = Pr - Ur$$

Mu (dB): margen umbral

Pr (dBm): Potencia de Rx

Ur (dBm): Potencia de recepción o sensibilidad del equipo receptor

La sensibilidad del receptor se define como el nivel mínimo de radio frecuencia que se puede detectar a la entrada del receptor y producir una salida útil de información demodulada, los fabricantes de los equipos de microondas especifican los valores e umbral de receptor.

- **Margen de desvanecimiento**

Cuando se propaga una onda electromagnética por la troposfera, la señal puede sufrir pérdidas debido al espacio libre o perdidas intermitentes de intensidad las cuales se denomina desvanecimiento ya que se pueden producir por diferentes fenómenos como perturbaciones como lluvia, granizo, neblina, etc o debido a obstáculos, para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una perdida una perdida adicional a la perdida en el espacio libre, a esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Fm = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Donde:

Fm: margen de desvanecimiento (dB)

D: distancia entre Tx y Rx (Km)

F: frecuencia de la portadora (GHz)

(1-R): confiabilidad de enlace donde el valor estándar es de R=99.99%

A: factor de rugosidad

A=4; sobre agua o terreno muy liso

A=1; sobre un terreno promedio

A=0,25 terreno muy áspero y montañoso

B: factor para convertir la peor probabilidad mensual en una anual

B=1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

B=0,5 para áreas calientes y húmedas

B=0,25 para áreas continentales promedio

B=0,125 para áreas muy secas o montañosas

Para que el sistema diseñado cumpla con el objetivo de confiabilidad, se requiere que el margen de umbral (Mu), sea mayor al margen de desvanecimiento (Fm), así

$$Mu \geq Fm$$

- **Confiabilidad del enlace**

Determina el porcentaje de tiempo probable que un enlace no se interrumpe a consecuencia del desvanecimiento. A partir del margen de desvanecimiento (Fm) se puede obtener la confiabilidad del sistema así:

$$P = (6 \times 10^{-7}) * C * f * D^3 * 10^{-\frac{Fm}{10}} \quad R = (1 - P) * 100\%$$

Donde:

P: Indisponibilidad del sistema en el año

R: Confiabilidad del sistema, expresada en porcentaje

f: frecuencia de la portadora en GHz

D: distancia entre Tx y Rx en Km

Fm: margen de desvanecimiento en dB

C= factor dependiente del terreno ($A*B$)

CAPITULO III

3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED INALÁMBRICA WIMAX

3.1 Introducción

A continuación, se detalla razones puntuales de la elaboración del diseño de la red con el fin de cumplir con nuestras expectativas es muy importante tener los conocimientos específicos que permitan desarrollar los inconvenientes del diseño.

El camino que recorre la señal por el aire, desde la antena transmisora hasta la receptora, puede tener diversas características, desde una línea de vista, una línea obstruida por algún cerro o un camino interrumpido por árboles o edificios.

Dependiendo de las condiciones del medio se debe modelar el sistema para conseguir estimar la cobertura de un sistema inalámbrico e implementar modelos, mediante los cuales se puede obtener una aproximación del alcance de un sistema microondas.

3.2 Condiciones para el desarrollo

3.2.1 *Interferencia*

Se debe considerar este un factor elemental para diseñar la red en el cual se debe conseguir un margen de error muy mínimo para no recaer en pérdidas de datos y/o calidad de servicio.

3.2.2 *Rendimiento*

El rendimiento depende de la potencia, sensibilidad, distancia de los enlaces, frecuencia y los equipos, para esto debemos tener en cuenta la gran diferencia entre las especificaciones de las hojas técnicas de los equipos y la implementación física de los mismos. Puesto que al diseñar es notable el declive del rendimiento de la red.

3.2.3 Escalabilidad

Esta red debe ser pensada para la implementación en un futuro, en el incremento progresivo de los usuarios y la integración de nuevos nodos o puntos de acceso, reduciendo costos y optimizando los recursos de la empresa que conllevan el incremento de la red.

3.2.4 Frecuencia a Utilizar

Para esta investigación se utilizaron dos frecuencias la primera de 5.7 GHz es una banda con licencia y 2.4 GHz es una banda sin licencia en la cual estas frecuencias operan en Modulación Digital de Banda Ancha (MDBA) y se puede transmitir a altas potencias sin limitarse.

La frecuencia de 5.7 GHz necesita una licencia otorgada por la ARCOTEL, dicha institución especifica los requerimientos necesarios para ocupar la banda en sus reglamentos publicados, de igual manera para la frecuencia de 2.4 GHz a pesar de ser una banda libre necesita un permiso de operación ya que es una banda compartida.

3.2.4.1 Reglamentos de Telecomunicaciones en Ecuador

Se detalla la razón técnica por la que se escoge las frecuencias de 5.7 GHz y 2.4 GHz, Modificaciones al texto del Plan Nacional de Frecuencias. (ARCOTEL, 2014, <http://www.arcotel.gob.ec>)

Se puede operar mediante la concesión de una licencia en la banda de frecuencias sin generar daños a otros Sistemas de comunicaciones, como por ejemplo señales satelitales. Plan nacional de frecuencias ecuador 2012 cuadro de atribución de frecuencias. (CONATEL & SENATEL, 2014, <http://www.arcotel.gob.ec>)

La resolución del CONATEL 560 Registro Oficial 305 de 21-oct-2010 para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, las características principales mencionadas son: Homologación de equipos, emisión del certificado de operación para equipos no homologados, eficiencia espectral, la utilización de la misma banda de frecuencia por distintos usuarios, regulación de la potencia de transmisión para evitar el deterioro de otros sistemas de telecomunicaciones.

3.2.4.2 Canales Operables

Los equipos que trabajan con la tecnología 802.16 están en la capacidad de ser configurada para operar en canales que van desde 1.7 MHz, pero el canal a tomar en cuenta en el diseño es de 20 MHz ya que permite un mayor rendimiento y se puede entregar servicios diferenciados que requieren elevado ancho de banda.

3.2.5 Topología de Red

Considerando la forma en la que se va a repartir la señal hacia los usuarios se opta por la topología de red Punto a Punto (PtP) tomando el Cerro Guanguliquin como referencia donde se implementará la Estación Base (BS) el cual transmitirá la información hacia el backhaul y la topología Punto a Multipunto (PtMP) desde la BS hacia los diferentes nodos, para llegar a los usuarios se emplea enlaces con línea de vista (LOS) desde la estación base.

El motivo de trabajar con WiMAX es porque se puede transferir a un mayor ancho de banda, mantener los enlaces estables por la robustez frente a interferencias y poder establecer QoS en distintos servicios como VoIP, tráfico de video, flujo constante de datos, video vigilancia, entre otras prestaciones.

3.3 Factibilidad Técnica

En el diseño se ha ubicado algunos puntos estratégicos de la ciudad tomando en cuenta que son los más vulnerables para la recepción de la señal dado su ubicación geográfica y la distancia a la que se encuentran del cerro Guanguliquin.

3.3.1 Esquema de conexión mediante la tecnología WiMax

La Figura 1-3, muestra el diseño de los enlaces entre la Estación Base y los usuarios, de igual forma la Estación Base nuestra Matriz.

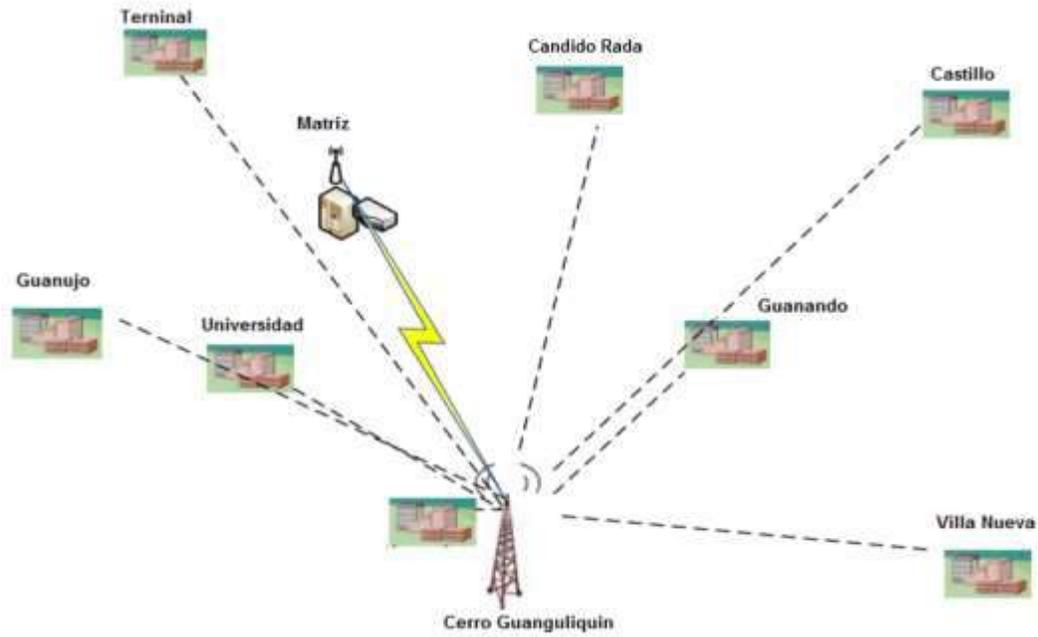


Figura 1-3: Esquema de conexión

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.3.2 Planificación de Frecuencias

3.3.2.1 Enlace Punto a Punto

Se muestra la ubicación topográfica de los dos puntos que forman el backhaul del diseño de red planteado en este trabajo para lo cual hemos definido los siguientes datos para poder simular en Radio Mobile.

Tabla 1-3: Valores de enlace punto a punto (Transmisor)

TRANSMISOR	
Frecuencia	Max: 5765MHz Min:5725MHz
Potencia Transmisor	22dBm
Ganancia Antena	17dBi
Altura de la antena	40m

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Tabla 2-3: Valores de enlace punto a punto (Receptor)

RECEPTOR	
Sensibilidad del receptor	-107dBm
Ganancia Antena	17dBi
Altura de la antena	40m

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.3.2.2 Enlace Punto a Multipunto

Se presenta el cerro Guanguliquin donde se ha definido la colocación de la estación base para el servicio de WIMAX, este cerro se encuentra a las afueras de la ciudad de Guaranda.

Tabla 3-3: Cobertura Sistema Estación Base (Transmisor)

TRANSMISOR	
Frecuencia	Max: 2420MHz Min:2400MHz
Potencia Transmisor	22dBm
Ganancia Antena	17dBi
Altura de la antena	40m

Realizado por: Carolina Ati 2017

Tabla 4-3: Cobertura Sistema Estación Base (Receptor)

RECEPTOR	
Sensibilidad del receptor	-107dBm
Ganancia Antena	17dBi
Altura de la antena	40m

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.4 Software de Simulación

Actualmente existen numerosas herramientas que ayudan a predecir el comportamiento de una red inalámbrica, algunas de las cuales con precios considerables que en no están al alcance. Dado esto se ha decidido inclinarse por el software Radio Mobile para la simulación de radio propagación del diseño de esta red; ya posee altas capacidades para este tipo de simulaciones que a continuación se detallan.

3.4.1 Radio Mobile

Radio Mobile es un programa de simulación de radio enlaces gratuito que nos sirve para operar dentro del rango de 20 MHz a 20 GHz, basado en el modelo de propagación ITS (Irregular Terrain Model).

Permite realizar cálculos y obtener todos los datos necesarios para realizar radio enlaces funcionales y abandonar la tediosa tarea de hacerlo manualmente, el programa usa cartografía y mapas satélites.

3.4.2 Google Earth

Google Earth es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital.

Está equipado con una función que permite ver el mundo en 3D, hacer zoom y dar la vuelta a los mapas, cuando se explora varios lugares se puede examinar el mapa a diferentes niveles y hacer aparecer las informaciones que se busca como: restaurantes, rutas, particularidades geográficas, edificios en 3D, etc.

3.5 Análisis Informativo

A continuación, se presenta los parámetros descriptivos de la ciudad de Guaranda:

Tabla 5-3: Parámetros descriptivos

GUARANDA	
Región	Sierra
Provincia	Bolívar
Latitud	1°35'35.63"S
Longitud	79° 0'4.05"O
Clima	16° C
Población	91 877 hab.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.5.1 Análisis Topográfico

Analizando la topografía de la ciudad de Guaranda, con la ayuda del Software Radio Mobile y Google Earth se tiene que es un mapa topográfico, con el cual podemos concluir que en general la ciudad de Guaranda cuenta con pocas elevaciones en lo que es la ciudad y sus alrededores lo cual nos facilita llegar a la mayor parte de la ciudad con una buena señal.

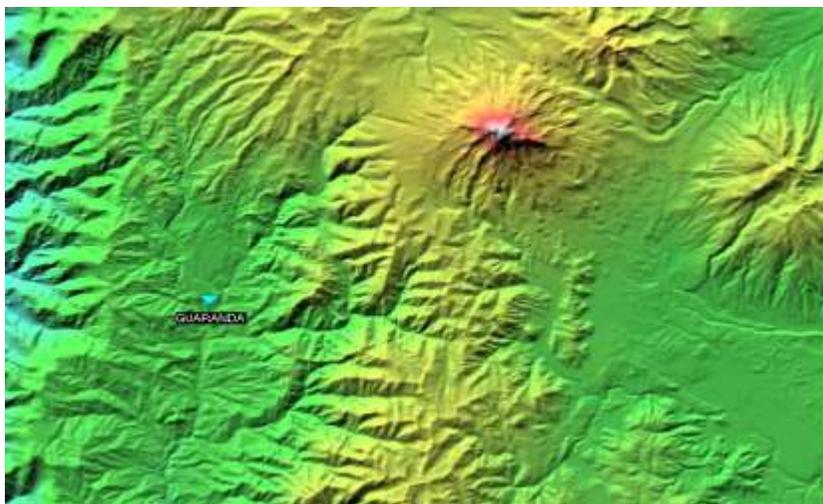


Figura 2-3: Ubicación de la Estación Base (Cerro Guanguliquin)

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.6 Desarrollo del Diseño

Se analiza varios equipos que cumplen el estándar IEEE 802.16 (WiMAX). En el mercado existen algunos fabricantes de equipos WiMAX que poseen diferentes modelos y trabajan en varias bandas de frecuencia, cada fabricante oferta sus equipos de acuerdo a ellas con sus respectivas características.

3.6.1 Equipo activo

El backhaul principal de radio será proveedor del servicio triple play y el cerro Guanguliquin punto principal de acceso de los usuarios de este modo podemos lograr la cobertura total de la ciudad de Guaranda.

Para el diseño de la red se ha considerado los siguientes equipos principales:

Tabla 6-3: Equipos principales

EQUIPO	CANTIDAD
Puntos de acceso	1
Antenas Suscriptoras (Enlaces punto a Mutipunto)	Depende de usuarios que requieran el acceso
Antenas backhaul (enlaces punto a punto)	1

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.6.2 Simulación de Enlaces

En los siguientes ítems de este capítulo se ha realizado la simulación del sistema completo de la red, tanto enlace punto a punto, enlace punto a multipunto y la cobertura del sistema.

Se analizará la zona de cobertura para la estación ubicada en el cerro Guanguliquin en el cual se presentan las coordenadas de los puntos más relevantes dentro del diseño de la red WiMAX.

3.6.2.1 Coordenadas Geográficas.

Para las coordenadas se utilizó un GPS Garmin Etrex 10, dirigiéndose a cada lugar y trabajando con Datum WGS-84, para no tener inconvenientes al momento de exportar a Google Earth.

La Estación Base (BS) es el Cerro Guanguliquin, la matriz es el lugar donde se recopila, se guardan todos los datos y donde los usuarios pueden acercarse a solicitar el servicio triple play.

Tabla 7-3: Coordenadas Geográficas y altitud.

	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD
ESTACION BASE (BS)	2828,5	1°35'21,7''S	79°00'53,9''O
MATRIZ	2941	1°35'35,6''S	79°00'04,0''O
U1	2933,9	1°33'30,7''S	79°00'33,5''O
U2	2859	1°34'10,4''S	79°00'27,4''O
U3	2801,1	1°34'50,5''S	78°59'59,9''O
U4	2710,2	1°35'18,9''S	78°59'35,7''O
U5	2615,6	1°35'52,3''S	78°59'54,6''O
U6	2615,6	1°35'52,3''S	78°59'54,6''O

Realizado por: Carolina Ati, 2017

Obtenido los datos exactos de las coordenadas y elevación donde se ubicará cada usuario, se utilizó Radio Mobile y Google Earth para etiquetar dichos puntos geográficos, de manera que se podrá obtener más datos importantes para los cálculos posteriores que se debe realizar a cada radioenlace.

En la Figura 3-3 se presenta el cerro Guanguliquin donde se ha definido la colocación de la estación base para el servicio de WiMAX, este cerro se encuentra a las afueras de la ciudad de Guaranda.

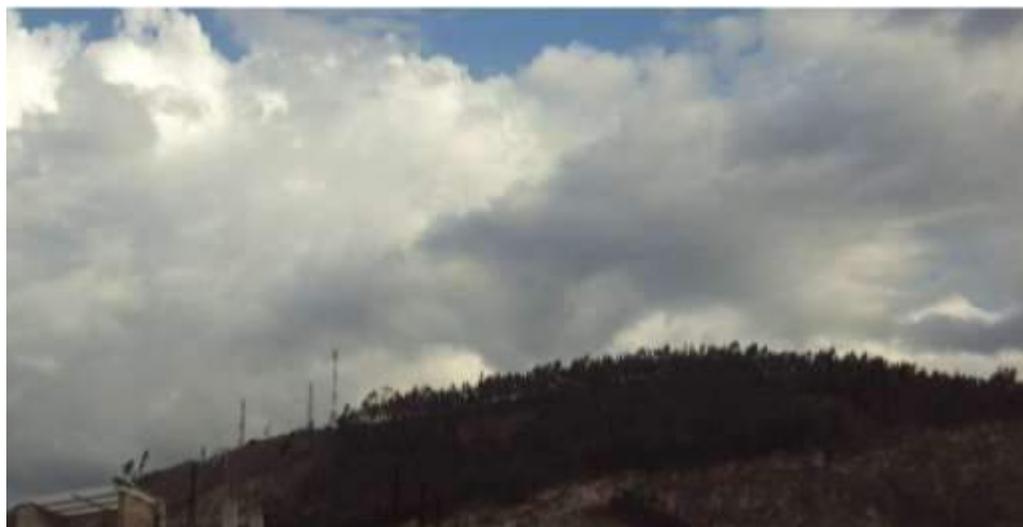


Figura 3-3: Cerro Guanguliquin lugar donde se ubicará la estación base (BS)

Realizado por: Carolina Ati, 2017

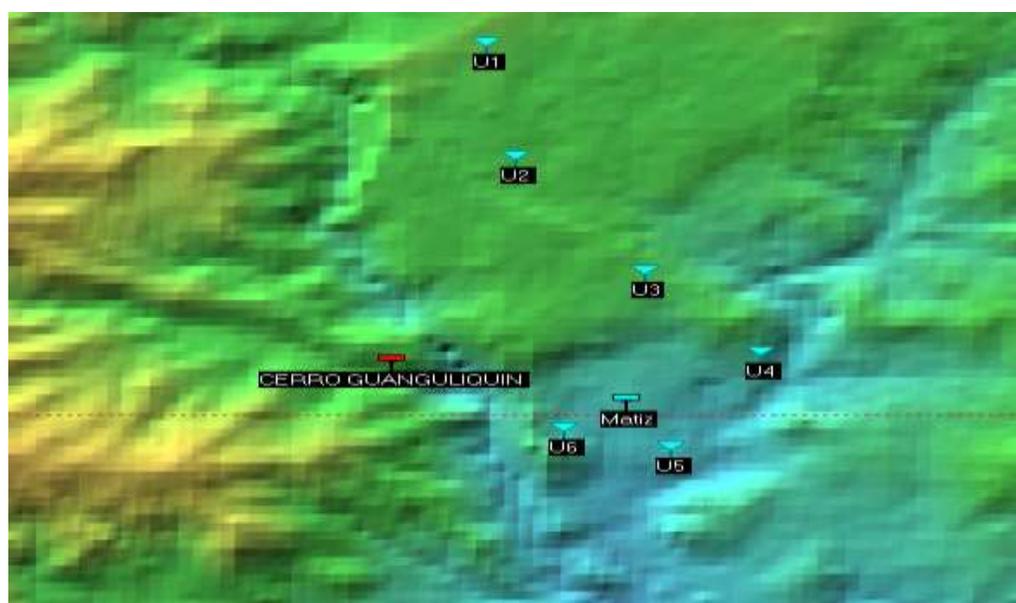


Figura 4-3: Ubicación de la estación base, puntos de acceso y entrada del backhaul.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

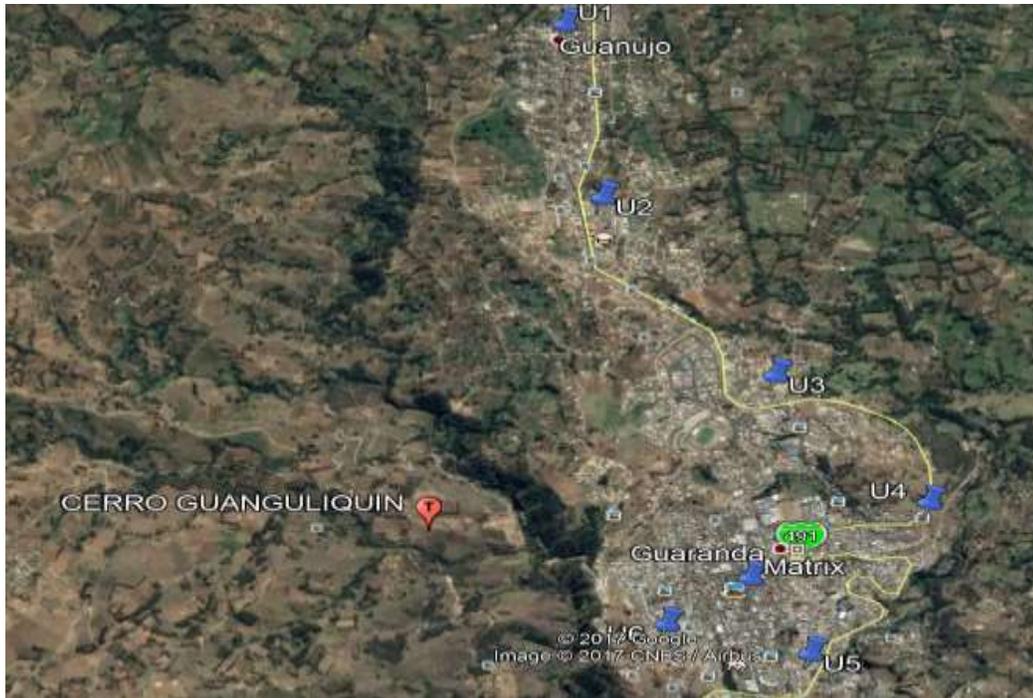


Figura 5-3: Ubicación de la BS, puntos de acceso y backhaul en Google Earth.

Realizado por: Carolina Atí, 2017

3.6.2.2 Enlace Punto a Punto

- Cerro Guanguliquin (BS) y Matriz (Backhaul)

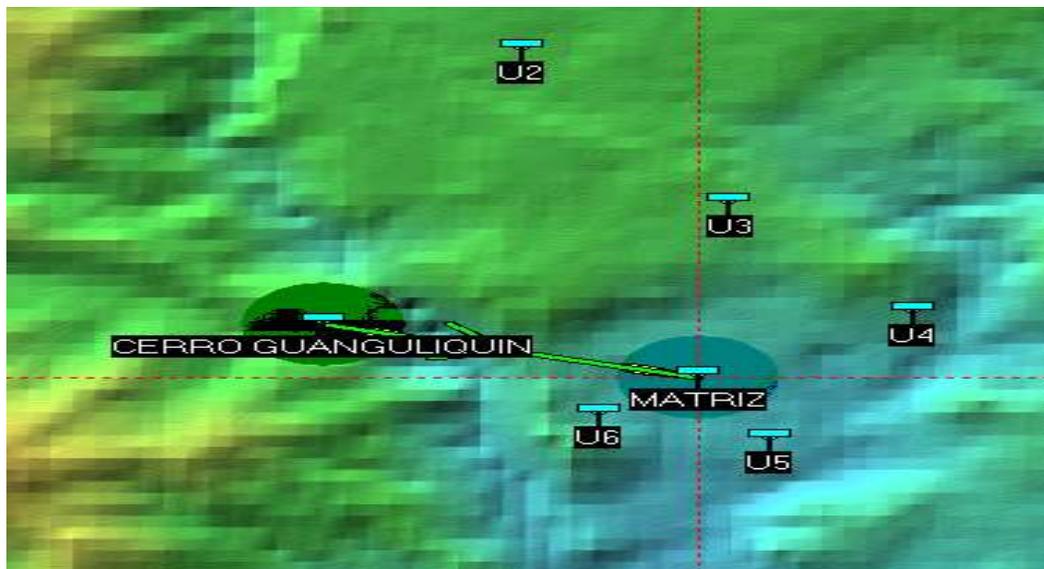


Figura 6-3: Enlace entre Estación Base y el Backhaul en Radio Mobile.

Realizado por: Carolina Atí, 2017

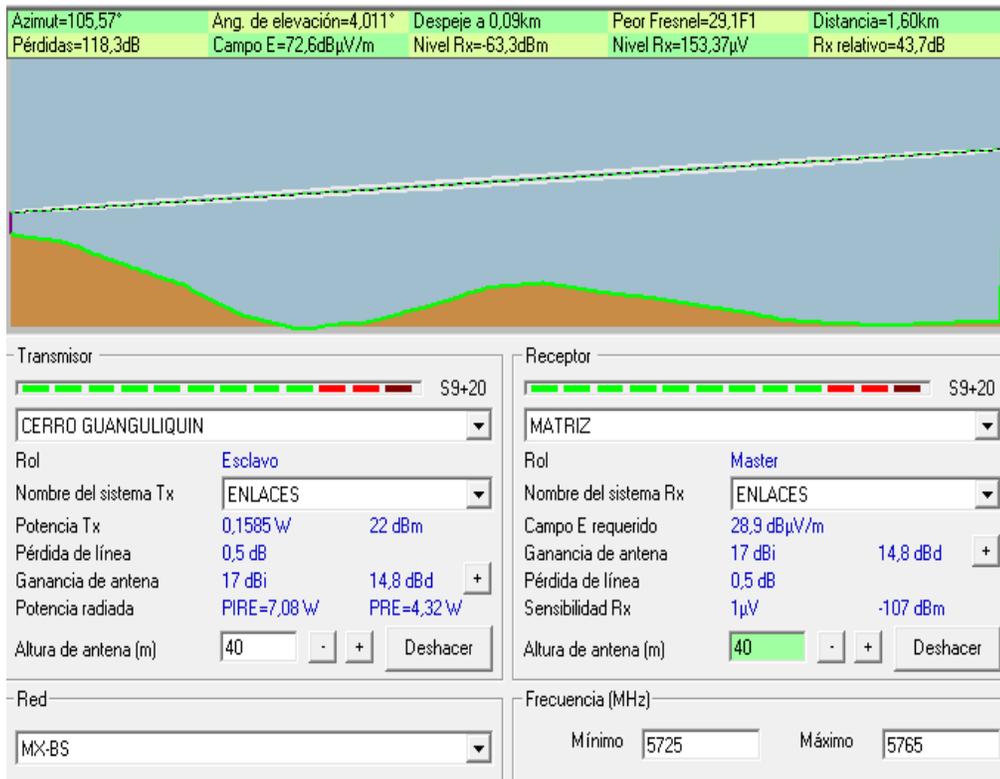


Figura 7-3: Simulación con los valores determinados para el enlace PtP.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

En la Figura 7-3, se muestra el cálculo del radio enlace (Radios Bases principales) donde se puede observar que se tienen los valores como distancia, azimut, ángulo de elevación, espacio libre, nivel de recepción y la zona de Fresnel que tiene como valor de 29,1 F1 que indica que el enlace no tiene ningún problema para operar ya que el valor mínimo para la zona de Fresnel es de 0.6 F1. En este cálculo se consideró una altura de las antenas de 40 metros en el Cerro del Guanguiquin y también en el lugar de nuestra matriz, una potencia de 22 dBm, ganancia de antena directiva de 17 dBi y una sensibilidad de -107 dBm.

Además, en la figura se observa con más detalle algunos de los valores más sobresalientes dentro del enlace punto a punto entre la matriz y el cerro Guanguiquin.

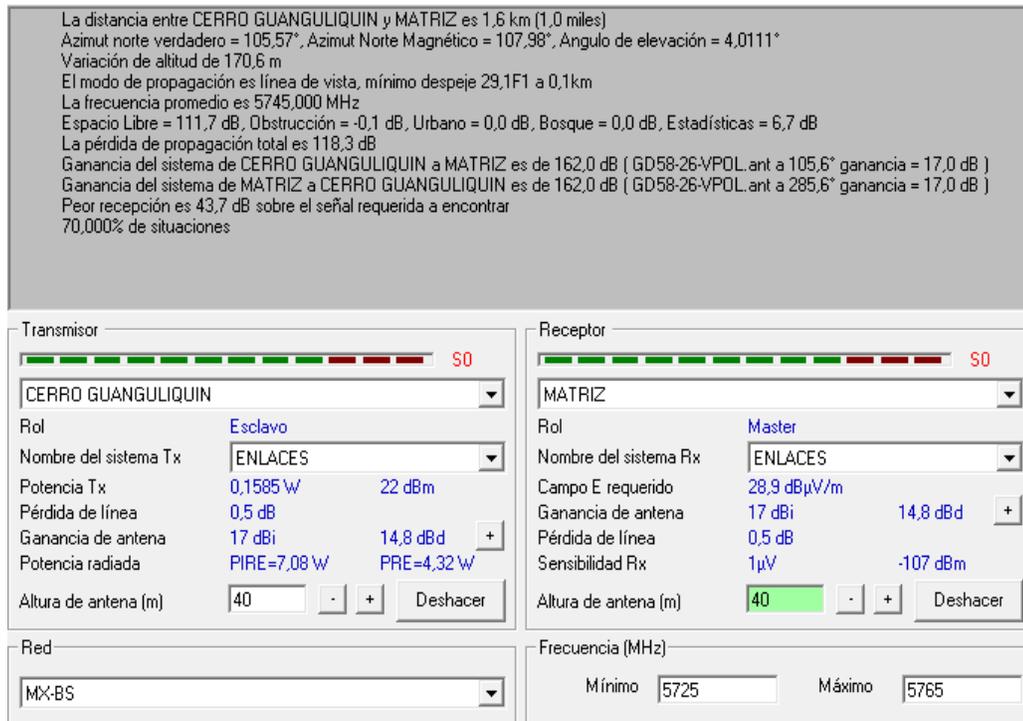


Figura 8-3: Valores determinados por el simulador en el Backhaul.

Realizado por: Carolina Ati, 2017



Figura 9-3: Umbral del receptor.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

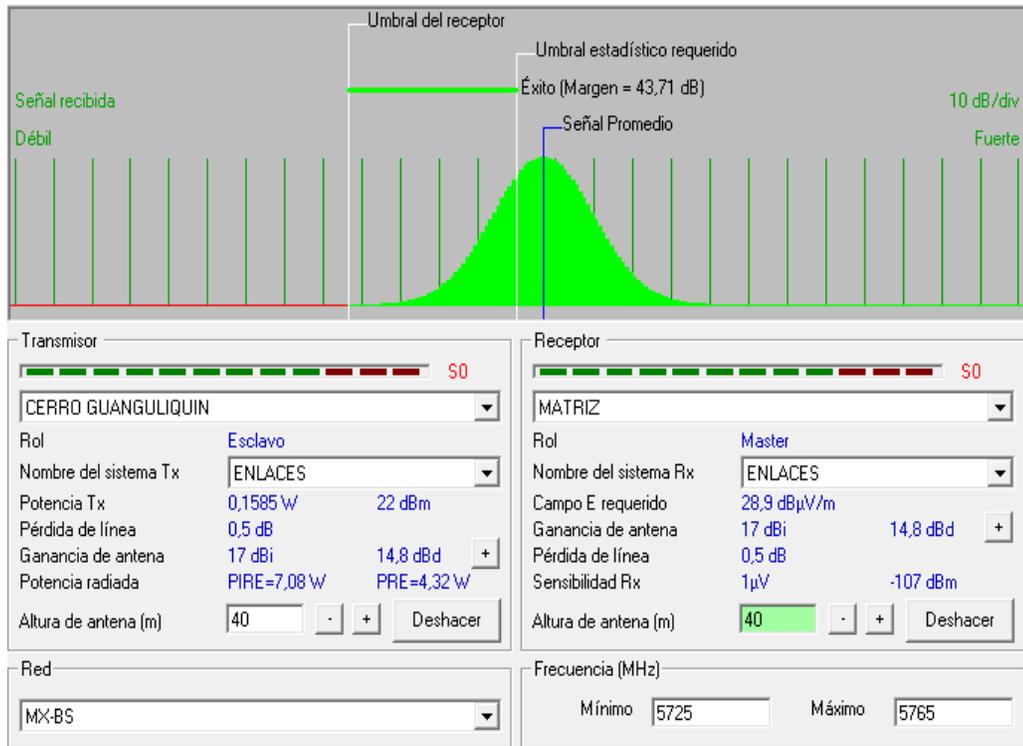


Figura 10-3: Umbral estadístico requerido del Backhaul.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

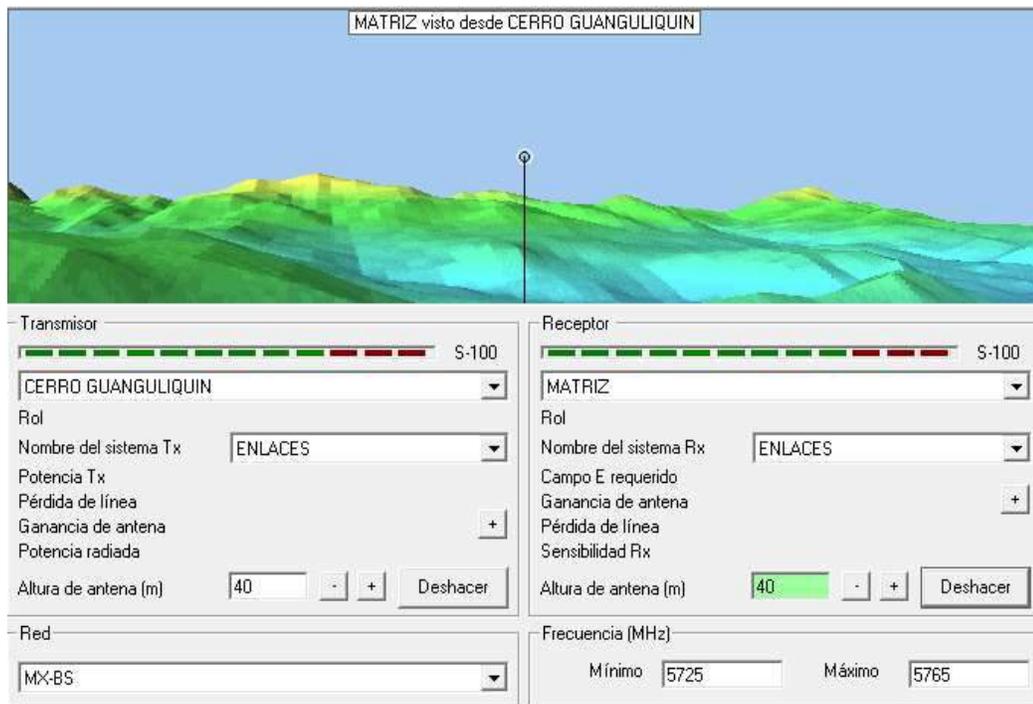


Figura 11-3: Vista de 80° del Backhaul

Realizado por: Carolina Ati, 2017



Figura 12-3: Enlace entre BS y Backhaul en Google Earth

Realizado por: Carolina Ati, 2017



Figura 13-3: Línea de vista real desde el cerro Guanguliquin hacia la matriz.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.6.2.3 Enlace Punto a Multipunto

- Cerro Guanguliquin (BS) y Usuario 1 (U1)

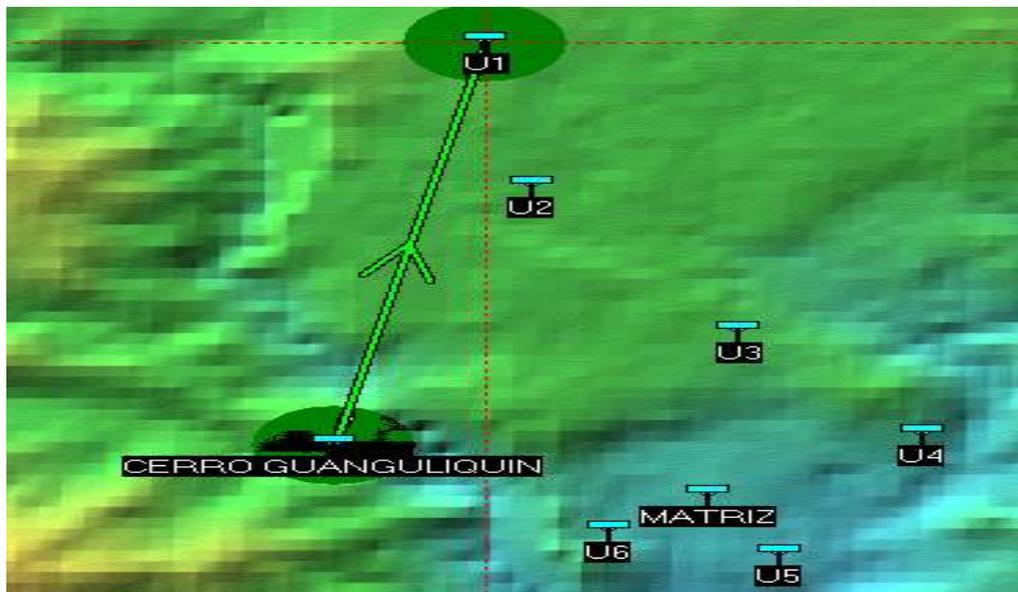


Figura 14-3: Enlace entre Estación Base y el U1 en Radio Mobile.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

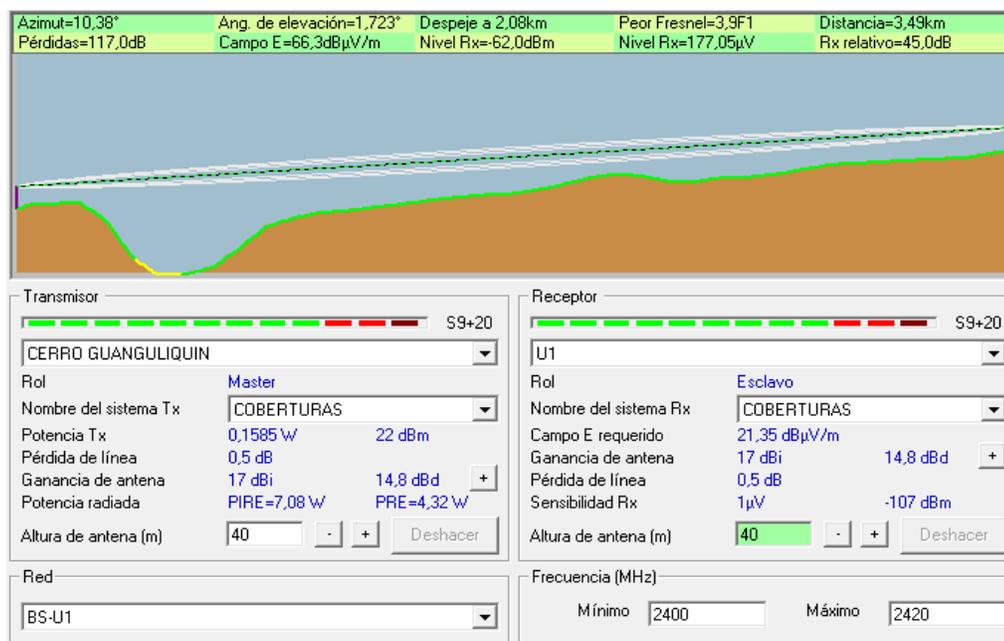


Figura 15-3: Simulación con los valores predeterminados de BS y U1.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

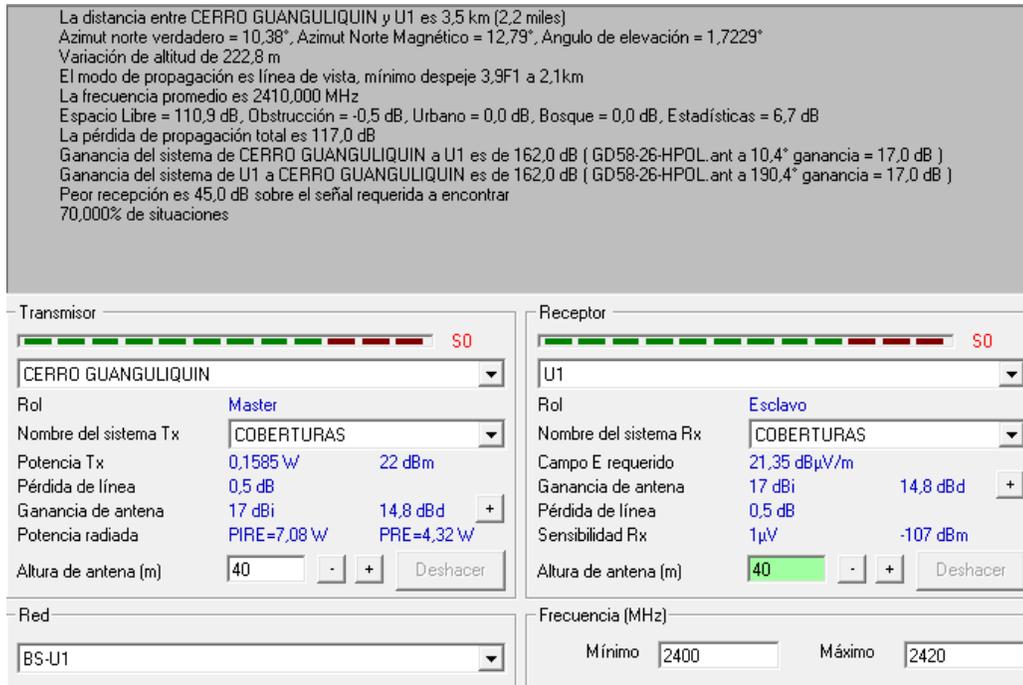


Figura 16-3: Valores determinados de BS y el U1.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

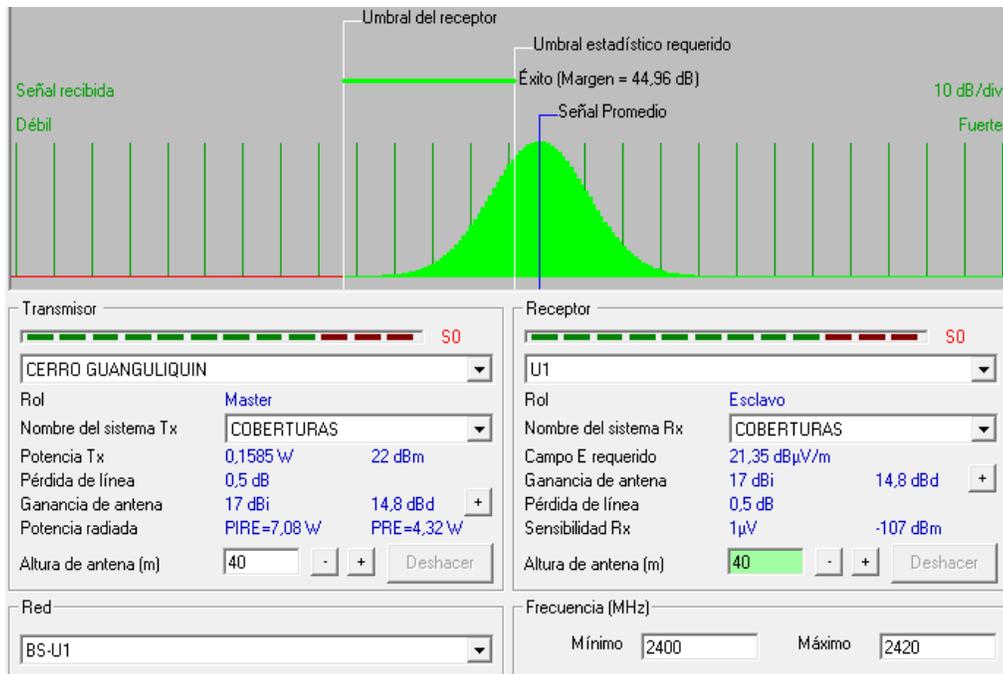


Figura 17-3: Umbral estadístico requerido entre BS y Backhaul.

Realizado por: Carolina Ati, 2017



Figura 18-3: Vista de 20° de la BS al U1.

Realizado por: Carolina Atí, 2017

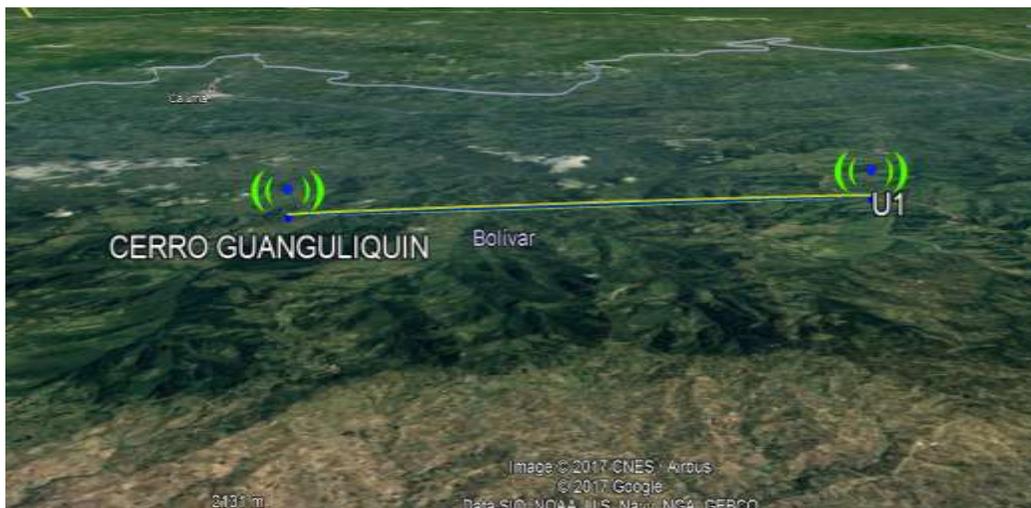


Figura 19-3: Enlace entre BS y el U1 en Google Earth

Realizado por: Carolina Atí, 2017

3.6.2.4 Cobertura del Sistema Estación Base (BS)



Figura 20-3: Enlaces entre de BS, Usuarios y Backhaul.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

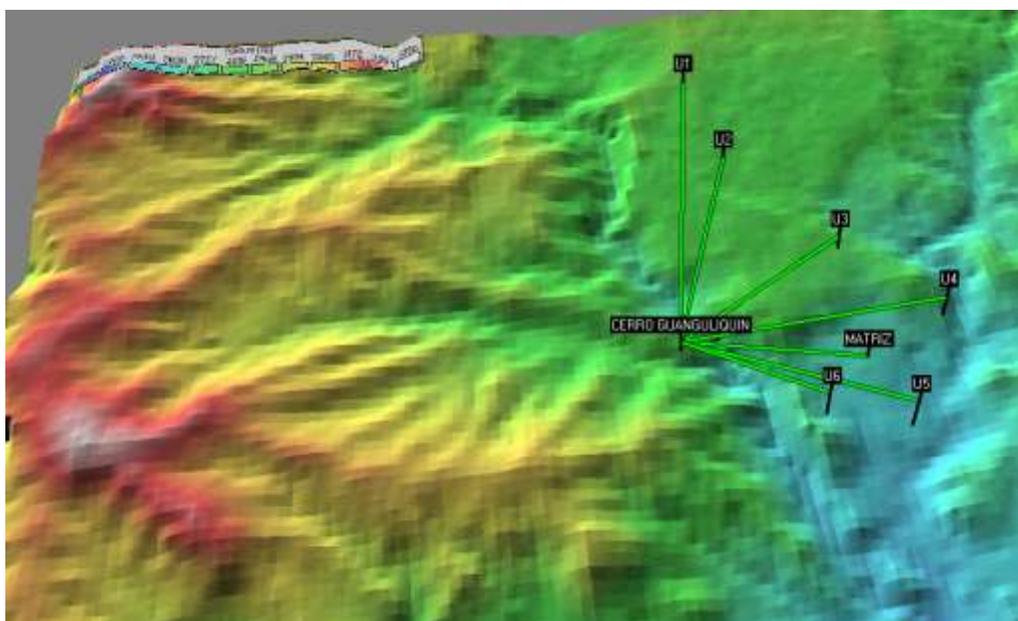


Figura 21-3: Vista 3D de los enlaces entre de BS, Usuarios y Backhaul.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

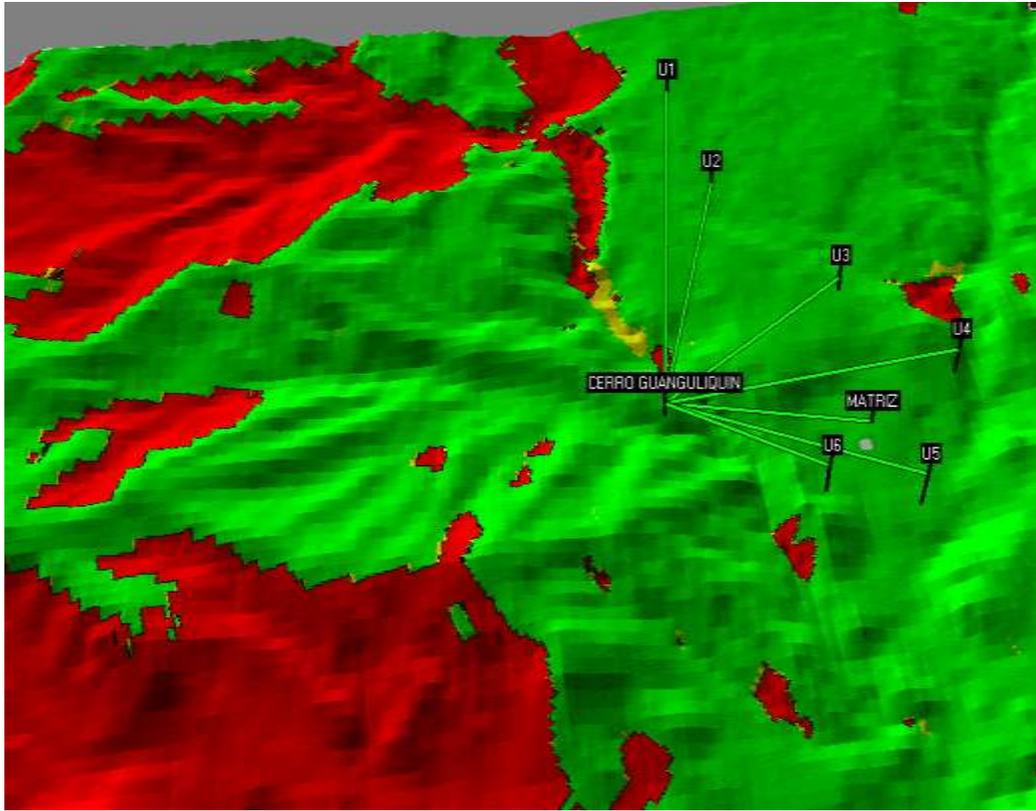


Figura 22-3: Cobertura de la BS en 3D.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

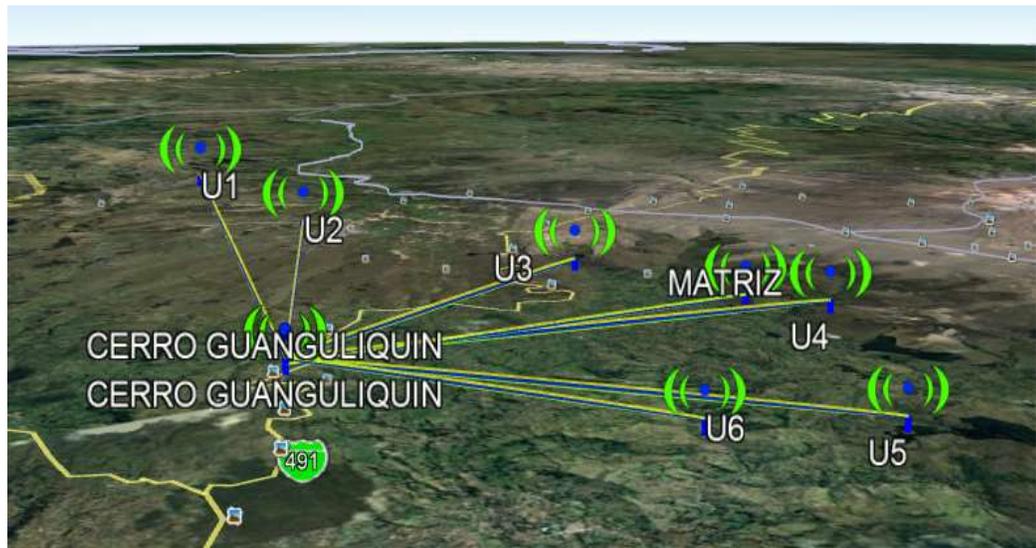


Figura 23-3: Enlace entre BS, Usuarios y el Backhaul en Google Earth.

Realizado por: Carolina Ati, 2017

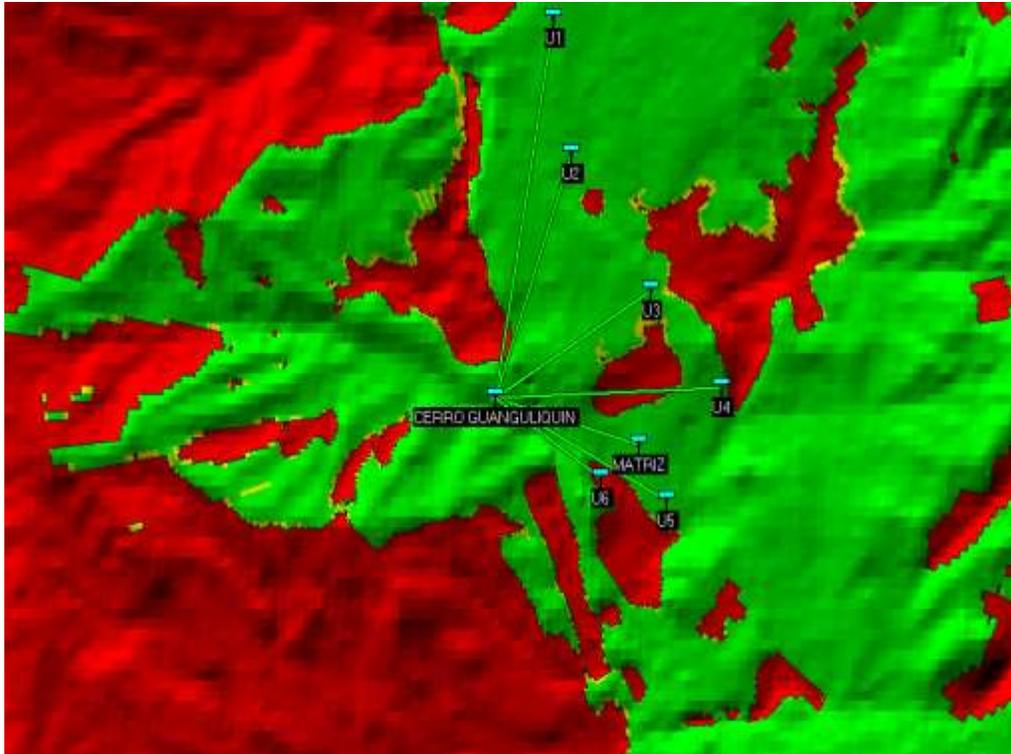


Figura 24-3: Cobertura final

Realizado por: Carolina Ati, 2017



Figura 25-3: Vista real de la Zona de Cobertura a la ciudad de Guaranda

Realizado por: Carolina Ati, 2017

En el Anexo A se encuentra los enlaces punto a multipunto entre el Cerro Guanguliquin y los Usuarios (U2, U3, U4, U5 y U6), con su respectiva información, detalles, umbral de recepción y los parámetros de cada uno.

3.7 Factibilidad Económica

La valoración económica del proyecto es imprescindible para saber la inversión que se necesita durante la implementación de la Red se requiere los valores de los equipos electrónicos como Estación Base, enrutador y elementos del sistema eléctrico. Así como un estudio de ingeniería, licencias y permisos de operación de la red inalámbrica, contratos con un ISP internacional para la red de acceso.

3.7.1 Costo de materiales para la red

Para este análisis de costos se toman en cuenta todos los equipos a utilizar en la red como son la estación base (BS), la matriz y los usuarios, a su vez, un enrutador como MikroTik para soportar el tráfico que se genera.

Se toma en consideración una batería para un respaldo al momento de que se produjera un corte de luz y un inversor de voltaje. Los precios obtenidos de los equipos electrónicos son valores que en la actualidad cuestan al momento de adquirirlos y varían dependiendo del fabricante, en la tabla siguiente se establecerán los precios de cada uno de estos:

Tabla 8-3: Equipamiento de Estación Base

CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Antenas Airmax Rocketdish RD-5G34	288,62	288,62
1	Radiotransmisor Rocket Ubiquiti M5	79,42	79,42
1	Inversor de Voltaje	60,00	60,00
1	Batería	60,00	60,00
1	Caseta de Telecomunicaciones	100,00	100,00
1	Varios (Cables, conectores)	200,00	200,00
TOTAL			\$ 788,04

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.7.2 Unidades Suscriptoras

Tabla 9-3: Equipamiento de Unidades Suscriptoras

CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Antena Airmax sector 2G-16-90	134,86	134,86
1	Radiotransmisor Ubiquiti Rocket M2	79,42	79,42
1	Antena Nanoestacion LOCO serie M2	48,98	48,98
TOTAL			\$ 263,26

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.7.3 Backhaul

Tabla 10-3: Equipamiento para el Backhaul

CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	BreezeNETB100	3321,62	3321,62
1	Antena Airmax sector 2G-16-90	134,86	134,86
1	Radiotransmisor Ubiquiti Rocket M2	79,42	79,42
1	Antena Nanoestacion LOCO serie M2	48,98	48,98
TOTAL			\$ 3584,88

Realizado por: Carolina Ati, 2017

3.7.4 Gastos Instalación

La tarifa para la concesión de la frecuencia el Estado determina mediante reglamentos en este caso la ARCOTEL nos proporciona toda la información necesaria para añadir este costo importante dentro de nuestra factibilidad económica.

Para la instalación de las antenas se adquirió una torre de comunicación de base triangular el valor fijado por la adquisición se mostrará en la Tabla 11-3.

Tabla 11-3: Gastos Instalación

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Torre para Instalación de estación base (triangular)	6000,00	6000,00
1	Derecho de Concesión de Frecuencia (Duración 5 años)	500,00	500,00
60	Tarifa Mensual por concesión de la Frecuencia	10,00	600,00
PRECIO			\$ 7100,00

Realizado por: Carolina Ati, 201,

El total para la instalación de equipos WiMAX y despliegue de la red en la ciudad de Guaranda se lo puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 12-3: Gastos de Implementación Total

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO TOTAL
1	Estación Base	788,04
1	Backhaul	3584,88
1	Gastos de Instalación	7100,00
1	Unidades Suscriptoras	263.26
TOTAL		\$ 11736,18

Realizado por: Carolina Ati

Se debe indicar además que no se tomado en cuenta el precio de los equipos suscriptores ya que eso depende del número de usuarios, del plan que utilizaría si es corporativo o residencial y del equipo suscriptor que escoja para adquirir el servicio.

Como podemos observar, se puede concluir que para poder operar en las frecuencias especificadas anteriormente y dar servicio triple play en la ciudad de Guaranda necesitamos aproximadamente de \$ 11736,18 partiendo de cero y creando cada uno de los enlaces específicos para la ciudad.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- WiMAX opera en bandas de frecuencias con y sin licencia. Las bandas sin licencia son de 3,5GHZ y 5,8GHZ y las bandas con licencias son de 2,4GHZ y 2,5GHZ.
- Mediante el despliegue de la tecnología WiMax, permite cubrir áreas extensas a bajos costos, ofreciendo servicios de valor agregado a lugares suburbanos donde algunas tecnologías no pueden alcanzar por la dificultad de acceso.
- La herramienta Radio Mobile nos permite simular la cobertura del sistema, teniendo en cuenta las especificaciones de cada equipo usado en el diseño.
- Para el diseño de la red se escogió la estación base en el Cerro Guanguliquin ya que permite tener una cobertura total de la ciudad de Guaranda y sus alrededores teniendo una zona de Fresnel óptima para el enlace.
- Los efectos causados por las variaciones del terreno se pueden observar en las simulaciones realizadas con el software Radio Mobile en el cual existen zonas en las que la cobertura será bastante buena y en otras debemos variar los parámetros para mejorar la cobertura.
- WiMAX es una solución tecnológica que resulta barata y de fácil acceso, que permite a los usuarios potenciales dentro de la ciudad de Guaranda tener un servicio de altas prestaciones, además, de permitir el desarrollo empresarial, institucional e intelectual.
- Se debe respetar las normas establecidas por las diferentes entidades de Telecomunicaciones para desarrollar un proyecto, por ejemplo, en nuestro caso se tomó en cuenta la potencia de enlace, el ancho de banda, las frecuencias para los enlaces y la cobertura.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta los valores utilizados en las simulaciones, ya que son datos máximos y en la vida real no siempre se llega a ocuparlos. Estos valores varían dependiendo la distancia y los requerimientos del usuario.
- Para realizar los enlaces punto a punto se debe crear un sistema particular para cada radioenlace ya que el nivel de potencia está en función a la distancia entre el emisor y el receptor, y depende de otros factores como el tipo de terreno.
- Se recomienda en la implementación tener presente las normas vigente por la empresa reguladora de las telecomunicaciones tanto en costos y control calidad al momento de distribuir el servicio.
- Para poder realizar los radioenlaces lo más aproximado a la realidad se debe utilizar los diferentes patrones de radiación (.ANT), los cuales podemos descargarlos de la página oficial de UBIQUITI.

GLOSARIO

ADSL	Línea Digital de Banda Ancha
AES	Estándar de Cifrado Avanzado
DL	Enlace hacia Abajo
DSL	Línea de Abonado Digital
eRTPS	Servicio de Sondeo Extendido en Tiempo Real
GHz	Gigahercio
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertextos
IP	Protocolo de Internet
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
LOS	Línea de Visión
LTE	Evolución a Largo Plazo
MAC	Acceso al medio
NLOS	Sin Línea de Visión
NRTPS	Servicio de Sondeo en Tiempo Real
OSA	Autenticación de Sistema Abierto
PLC	Controlador Lógico Programable
QoS	Calidad de Servicio
ROE	Relación de Onda Estacionaria
RTPS	Servicio de Votación en Tiempo Real
SKA	Autenticación de Clave Compartida
THz	Radiación de Tera hercios
UP	Enlace hacia Arriba
VoIP	Voz sobre Protocolo de Internet o Telefonía IP
VPN	Red Privada Virtual
WAN	Red de Área Amplia
WIFI	Tecnología de comunicación inalámbrica
WIMAX	Interoperabilidad para el Acceso a Microondas
WLAN	Red de Área Local Inalámbrica
WPAN	Red de Área Personal
WWAN	Redes Inalámbricas de Área Extensa
3DES	Estándar de Cifrado Triple de Datos

BIBLIOGRAFIA

AGUIRRE, JOSE EDUARDO. Principios Básicos en Capas de Red. (2007), pp. 35. [Consulta: 2017-08-15], Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam>

ANALUISA MUSO, Jaime Daniel. Diseño de una red 4g long term evolution (lte) en redes móviles. (Tesis) (Pregrado). [en línea] Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Ambato-Ecuador. (2014), pp. 7-17. [Consulta: 2017-06-27], Disponible en: http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7796/1/Tesis_t905ec.pdf

ASITIMBAY REGALADO, M.; & González Cabrera I., Análisis de la calidad de servicios de las tecnologías CDMA 450 y WIMAX para la comunicación en las parroquias rurales de los cantones Azogues, Cañar y Déleg brindado por Corporación Nacional de Telecomunicaciones sucursal Cañar, Cañar-Ecuador, (Tesis) (Maestría). pp. 42-47, [Consulta: 2017-06-30], Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2199>.

BALANIS, C. Antenna Theory Analysis and Desing. 3ª edición. New Jersey – Estados Unidos: John Wiley & sons, (2005), pp. 811-814. [Consulta: 2017-07-02]

BRIONES. A, GRACIA N., Análisis Comparativo de las Tecnologías WIFI y WIMAX; Aplicaciones y Servicios., (Tesis) (Pregrado), Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Superior Politécnica del Litoral., Guayaquil – Ecuador., (2006)., pp. 55-58. [Consulta: 2017-07-05].

BUCALIMA Z. Santiago. Estudio y diseño de una red WiMAX para la ciudad de cuenca. (Tesis) (Pregrado). Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Maestría en Telemática. Cuenca-Ecuador. (2010). pp. 46-74 [Consulta: 2017-06-30], Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2555/1/tm4320.pdf>

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha. Quito-Ecuador. (2010). [Consulta: 2017-05-22], Disponible en:

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/2005_a417_15.pdf

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL); & SECRETARÍA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (SENATEL). Plan nacional de frecuencias. Quito-Ecuador. (2012), [En línea], [Consulta: 2017-05-22], Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf

ECUADOR, AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES (ARCOTEL). Ley Especial de Telecomunicaciones reformada. Quito-Ecuador. (2004), [En línea], [Consulta: 2017-05-24], Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/07/ley_telecomunicaciones_reformada.pdf

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). Resolución 017-02- CONATEL- (2002), Reglamento para el otorgamiento de títulos habilitantes para la operación de redes privadas. Quito-Ecuador. (2002), [Consulta: 2017-05-25], Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/titulos-habilitantes-para-operacion-derechos-privadas.pdf>

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha. Quito-Ecuador. (2010), [Consulta: 2017-05-25], Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/2005_a417_15.pdf

ECUADOR, CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (CONATEL). Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. Quito-Ecuador. (2003), [Consulta: 2017-05-26], Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/06/reglamento_derechos_concesion_y_tarifas_espectro_radio_elect6.pdf

IEEE, T., STD, I., STANDARD, A. I., DIVISION, S. F., & ACCESS, M. WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard. Forum American Bar Association, (April 2010), pp 1–8. [Consulta: 2017-07-07], Disponible en:

http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_802.16m.pdf

INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS, Introducción a las redes WiFi, (2010), pp. 43-50. [Consulta: 2017-07-08]. Disponible en: http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFies-v2.3-notes.pdf. 2015-09-17

RAMÍREZ JESÚS, DÍAZ JOSÉ, Las redes Inalámbricas, más ventajas que desventajas. (2011). [Consulta: 2017-07-012]. Disponible en: www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf 2015-09-15

SANMARTÍN, J. L. B., CASTAÑER, M. S. Parámetros Básicos de Transmisión y Recepción [En línea]. Madrid: OCW UPM - OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid. pp. 59-78. [Consulta: 2017-07-12]. Disponible en: <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-ycomunicaciones-1/radiacion-y-propagacion>

ANEXO A

ENLACES PUNTO A MULTIPUNTO

- **ENLACE DE LA ESTACIÓN BASE(BS) AL USUARIO 2 (U2)**

Enlace entre BS y el U2 en Radio Mobile.

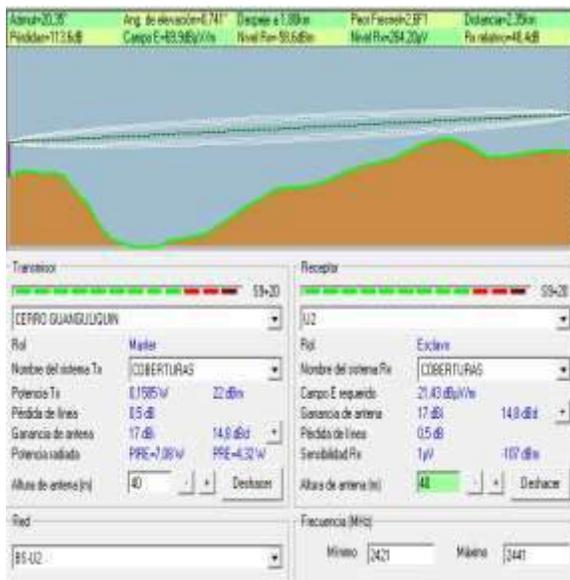


Valores determinados de BS y el U2.

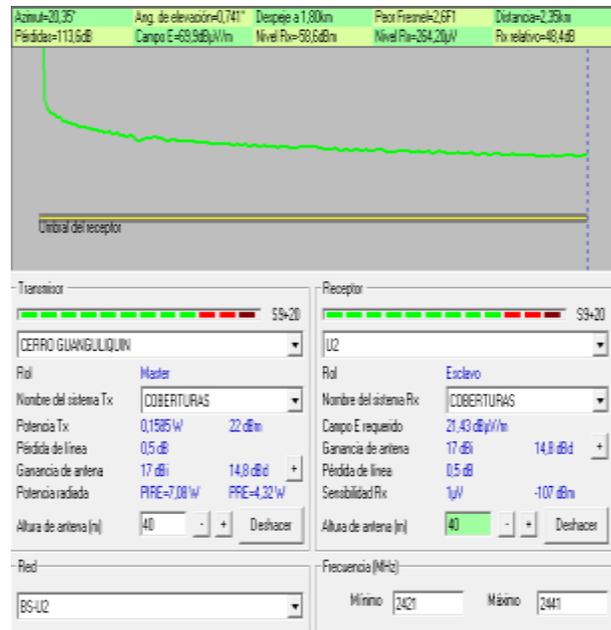
La distancia entre CERRO GUANGULIQUIN y U2 es: 2,3 km (1,5 millas)
 Azimut norte verdadero = 20,35°, Azimut Norte Magnético = 22,76°, Angulo de elevación = 0,7415°
 Variación de altitud de 121,5 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,6F1 a 1,8 km
 La frecuencia promedio es 2431,000 MHz
 Espacio Libre = 107,5 dB, Obstucción = -0,7 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 6,7 dB
 La pérdida de propagación total es 113,6 dB
 Ganancia del sistema de CERRO GUANGULIQUIN a U2 es de 162,0 dB | 50/98-35HPOL Ant a 20,3° ganancia = 17,0 dB |
 Ganancia del sistema de U2 a CERRO GUANGULIQUIN es de 162,0 dB | 50/98-35HPOL Ant a 200,3° ganancia = 17,0 dB |
 Pwr recepción es 43,4 dBm sobre la señal requerida a encontrar
 70,000% de situaciones

Transmisor		Receptor	
Nombre del sistema Tx	CERRO GUANGULIQUIN	Nombre del sistema Rx	U2
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido	21,43 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PFR=7,08 W PFE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40	Altura de antena (m)	40
Red: BS-U2		Frecuencia (MHz): Mínimo 2421 Máximo 2441	

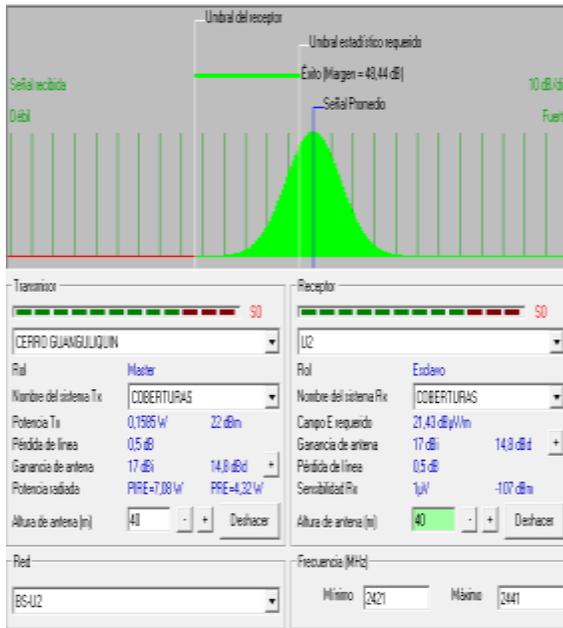
Simulación con los valores predeterminados de BS y U2.



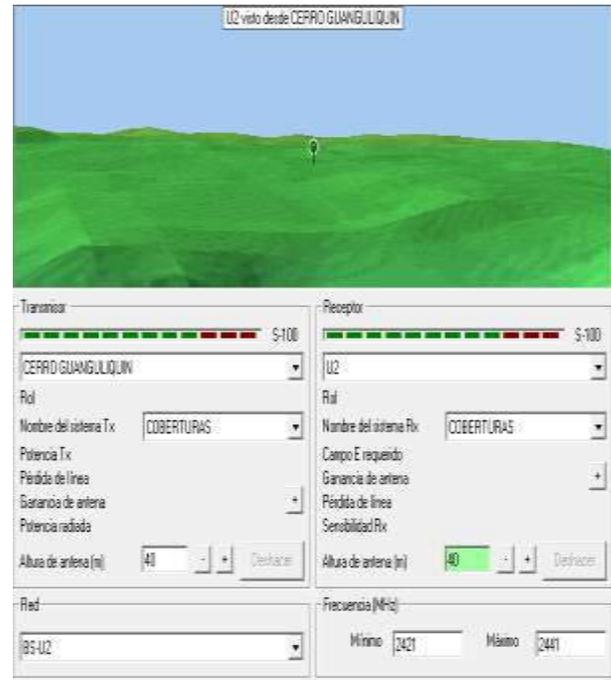
Umbral del receptor



Umbral estadístico requerido entre BS y U2



Vista de 40° de BS al U2



Enlace entre BS y el U2 en Google Earth



- **ENLACE DE LA ESTACIÓN BASE(BS) AL USUARIO 3 (U3)**

Enlace entre BS y el U3 en Radio Mobile.



Valores determinados de BS y el U3.

La distancia entre CERRO GUANGUJUQUIN y U3 es 1,9 km (1,2 millas)
 Azimut norte verdadero = 59,33°, Azimut Norte Magnético = 62,33°, Angulo de elevación = -0,8173°
 Variación de altitud de 98,3 m
 El modo de propagación es: línea de vista, mínimo despeje 1,4F1 a 0,8km
 La frecuencia promedio es 2452,000 MHz
 Espacio Libre = 105,9 dB, Obstrucción = 0,8 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 6,7 dB
 La pérdida de propagación total es 113,4 dB
 Ganancia del sistema de CERRO GUANGUJUQUIN a U3 es de 162,0 dB (60 59:35 HPDL ant a 59,9° ganancia = 17,0 dB)
 Ganancia del sistema de U3 a CERRO GUANGUJUQUIN es de 162,0 dB (60 59:35 HPDL ant a 238,3° ganancia = 17,0 dB)
 Peor recepción es 48,6 dB sobre el nivel requerido a encontrar 70,000% de situaciones

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUQUIN		U3	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1595 W 22 dBm	Campo E requerido	21,5 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PPE=7,08 W PPE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40 Deshacer	Altura de antena (m)	40 Deshacer
Red:	BS-U3	Frecuencia (MHz)	Mínimo 2442 Máximo 2462

Simulación con los valores predeterminados de BS y U3.

Azimu=59,33° Ang. de elevación=-0,817° Despeje a 0,84km Peor Fresnel=1,4F1 Distancia=1,90km
 Pérdida=113,4dB Campo E=70,1dBµV/m Nivel Rx=58,4dBm Nivel Rx=289,13µV Rx relativo=48,6dB

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUQUIN		U3	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1595 W 22 dBm	Campo E requerido	21,5 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PPE=7,08 W PPE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40 Deshacer	Altura de antena (m)	40 Deshacer
Red:	BS-U3	Frecuencia (MHz)	Mínimo 2442 Máximo 2462

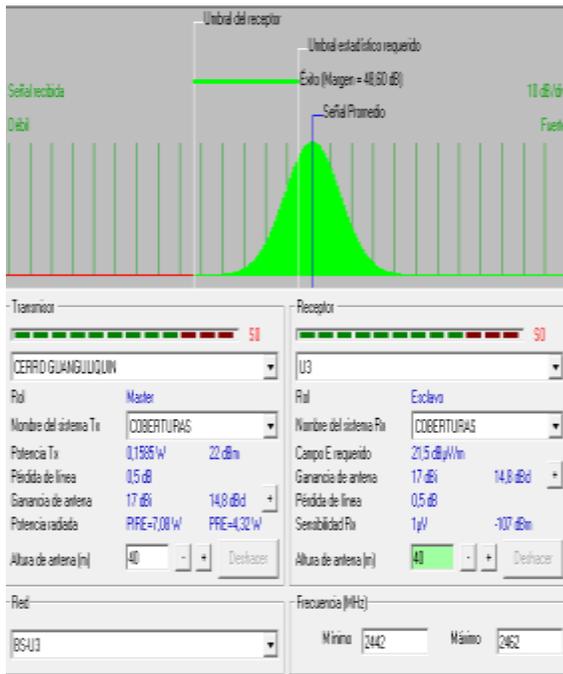
Umbral del receptor

Azimu=59,33° Ang. de elevación=-0,817° Despeje a 0,84km Peor Fresnel=1,4F1 Distancia=1,90m
 Pérdida=113,4dB Campo E=70,1dBµV/m Nivel Rx=58,4dBm Nivel Rx=289,13µV Rx relativo=48,6dB

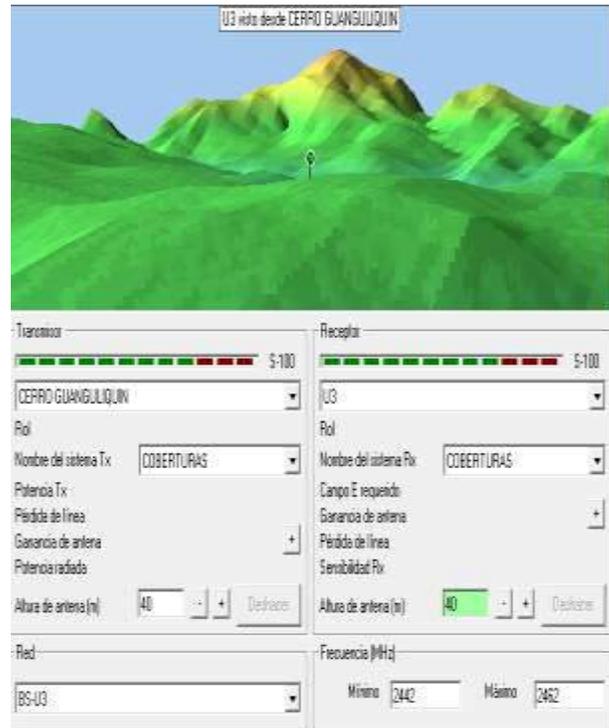
Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUQUIN		U3	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1595 W 22 dBm	Campo E requerido	21,5 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PPE=7,08 W PPE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40 Deshacer	Altura de antena (m)	40 Deshacer
Red:	BS-U3	Frecuencia (MHz)	Mínimo 2442 Máximo 2462

Umbral estadístico requerido entre BS y

U3



Vista de 40° de BS al U3



Enlace entre BS y el U3 en Google Earth



- ENLACE DE LA ESTACIÓN BASE(BS) AL USUARIO 4 (U4)**

Enlace entre BS y el U4 en Radio Mobile.

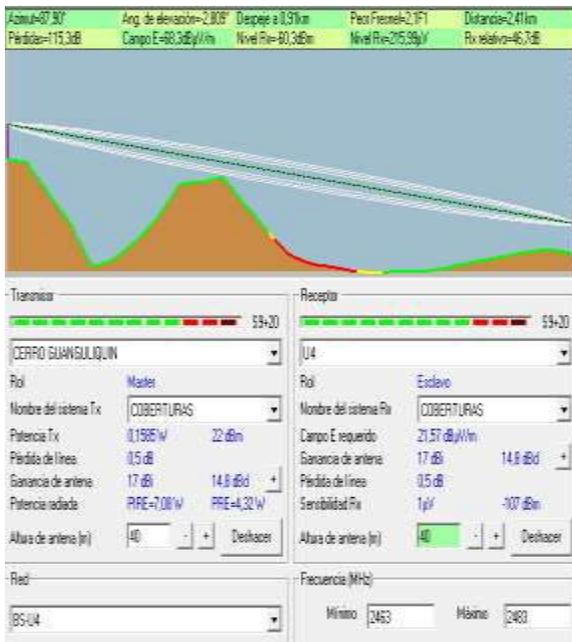


Valores determinados de BS y el U4.

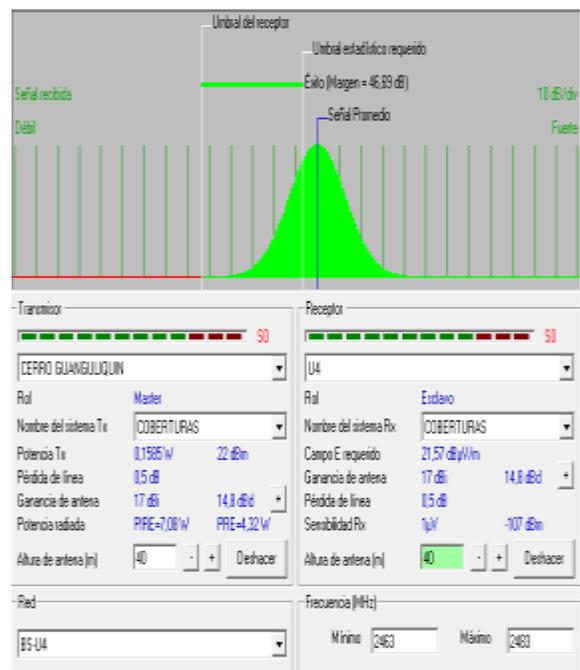
La distancia entre CERRO GUANGUJUQUIN y U4 es 2,41 km (1,5 millas)
 Azimut norte verdadero = 87,90°, Azimut Norte Magnético = 90,31°, Angulo de elevación = -2,8094°
 Variación de altitud de 136,6 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,1F1 a 0,3 km
 La frecuencia promedio es 2473,000 MHz
 Espacio Libre = 107,9 dB, Obstrucción = 0,7 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 6,7 dB
 La pérdida de propagación total es 115,3 dB
 Ganancia del sistema de CERRO GUANGUJUQUIN a U4 es de 162,0 dB (60,59-35HPOLant a 87,9° ganancia = 17,0 dB)
 Ganancia del sistema de U4 a CERRO GUANGUJUQUIN es de 162,0 dB (60,59-35HPOLant a 267,9° ganancia = 17,0 dB)
 Pico recepción es 46,7 dB sobre la señal requerida a encontrar
 70,000% de situaciones

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUQUIN		U4	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1585 W / 22 dBm	Campo E requerido	21,57 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB / 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB / 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PPE=7,08 W / PPE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV / -107 dBm
Altura de antena (m)	40 - + Deshacer	Altura de antena (m)	40 - + Deshacer
Red	BS-U4	Frecuencia (MHz)	Mínimo 2463 Máximo 2483

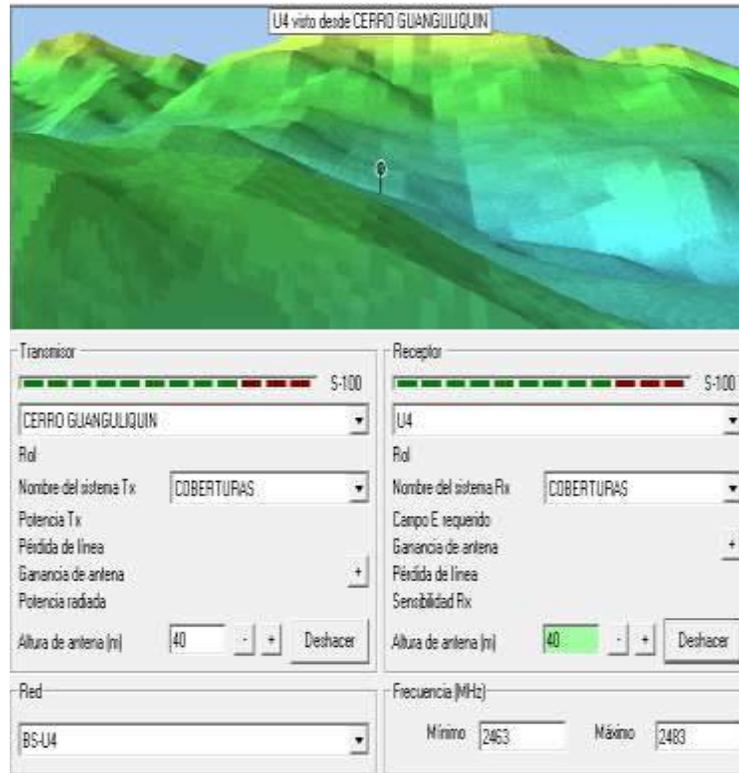
Simulación con los valores predeterminados de BS y U4.



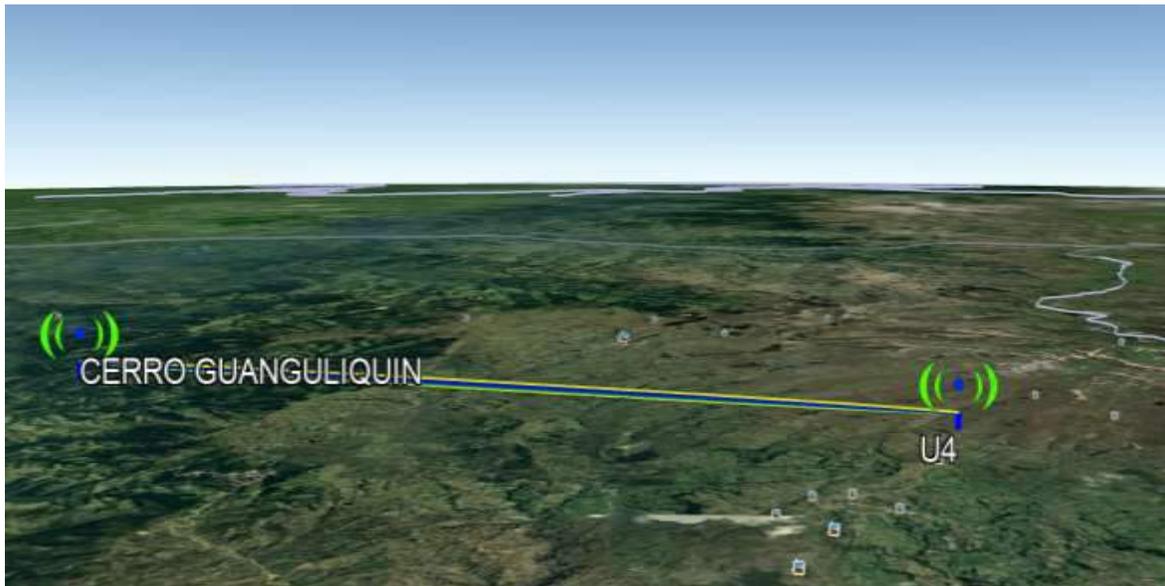
Umbral del receptor



Vista de 40° de BS al U4



Enlace entre BS y el U4 en Google Earth



- **ENLACE DE LA ESTACIÓN BASE(BS) AL USUARIO 5 (U5)**

Enlace entre BS y el U5 en Radio Mobile.



Valores determinados de BS y el U5.

La distancia entre CERRO GUANGUJUIN y U5 es 2,1 km (1,3 miles)
 Azimut norte verdadero = 117,29°, Azimut Norte Magnético = 119,70°, Ángulo de elevación = -5,9103°
 Variación de altitud de 212,6 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 3,971 a 1,03m
 La frecuencia promedio es 2494,000 MHz
 Espacio Libre = 106,6 dB, Obstrucción = -0,2 dB, Urbano = 0,0 dB, Suroeste = 0,0 dB, Estadístico = -6,7 dB
 La pérdida de propagación total es 113,1 dB
 Ganancia del sistema de CERRO GUANGUJUIN a U5 es de 162,0 dB (GD56-26-HPOL ant a 117,3° ganancia = 17,0 dB)
 Ganancia del sistema de U5 a CERRO GUANGUJUIN es de 162,0 dB (GD56-26-HPOL ant a 237,3° ganancia = 17,0 dB)
 Pior recepción es 49,9 dB sobre el señal requerida a encontrar
 70,000% de situaciones

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUIN	U5		
Rol: Maestro	Rol: Esclavo		
Nombre del sistema Tx: COBERTURAS	Nombre del sistema Rx: COBERTURAS		
Potencia Tx: 0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido: 21,65 dBµV/m		
Pérdida de línea: 0,5 dB	Ganancia de antena: 17 dB 14,8 dBd		
Ganancia de antena: 17 dB 14,8 dBd	Pérdida de línea: 0,5 dB		
Potencia radiada: PIRE=7,08 W PRE=4,32 W	Sensibilidad Rx: 1µV -107 dBm		
Altura de antena (m): 40	Altura de antena (m): 40		
Red: BS-U5		Frecuencia (MHz): Mínimo 2494 Máximo 2504	

Simulación con los valores predeterminados de BS y U5.

Azimut=117,29° Ang. de elevación=-5,910° Despeje a 1,03m Pior Fresnel=3,971 Distancia=2,06km
 Pérdida=113,1dB Campo E=70,5dBµV/m Nivel Rx=58,1dBm Nivel Rx=177,41µV Rx relativo=48,9dB

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUIN	U5		
Rol: Maestro	Rol: Esclavo		
Nombre del sistema Tx: COBERTURAS	Nombre del sistema Rx: COBERTURAS		
Potencia Tx: 0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido: 21,65 dBµV/m		
Pérdida de línea: 0,5 dB	Ganancia de antena: 17 dB 14,8 dBd		
Ganancia de antena: 17 dB 14,8 dBd	Pérdida de línea: 0,5 dB		
Potencia radiada: PIRE=7,08 W PRE=4,32 W	Sensibilidad Rx: 1µV -107 dBm		
Altura de antena (m): 40	Altura de antena (m): 40		
Red: BS-U5		Frecuencia (MHz): Mínimo 2494 Máximo 2504	

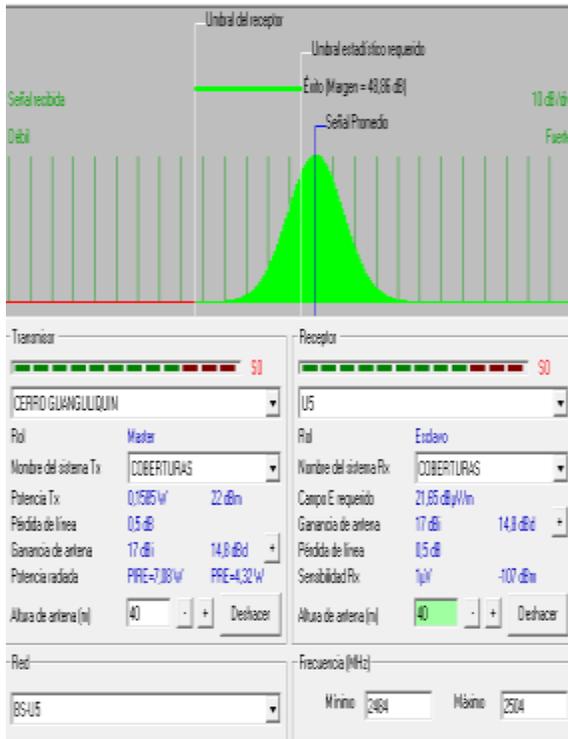
Umbral del receptor

Azimut=117,29° Ang. de elevación=-5,910° Despeje a 1,03m Pior Fresnel=3,971 Distancia=2,06km
 Pérdida=113,1dB Campo E=70,5dBµV/m Nivel Rx=58,1dBm Nivel Rx=177,41µV Rx relativo=48,9dB

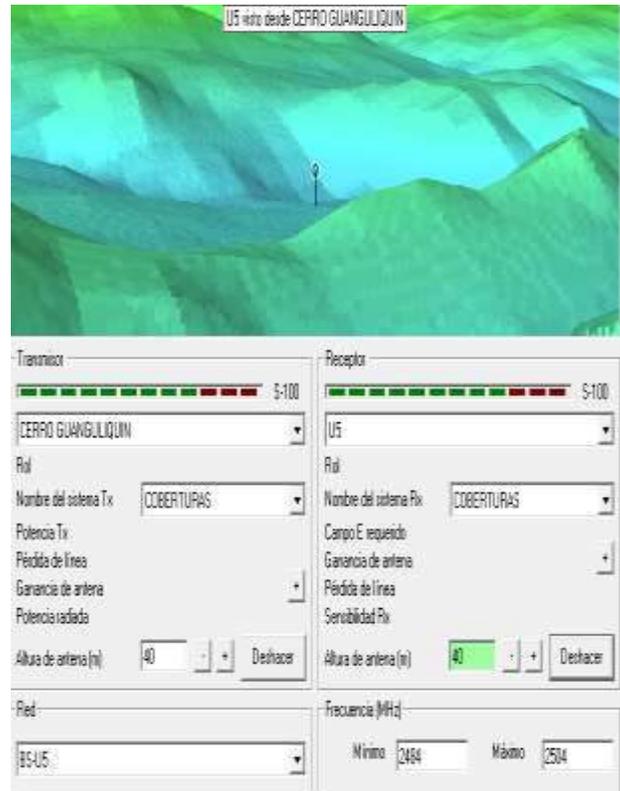
Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUIN	U5		
Rol: Maestro	Rol: Esclavo		
Nombre del sistema Tx: COBERTURAS	Nombre del sistema Rx: COBERTURAS		
Potencia Tx: 0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido: 21,65 dBµV/m		
Pérdida de línea: 0,5 dB	Ganancia de antena: 17 dB 14,8 dBd		
Ganancia de antena: 17 dB 14,8 dBd	Pérdida de línea: 0,5 dB		
Potencia radiada: PIRE=7,08 W PRE=4,32 W	Sensibilidad Rx: 1µV -107 dBm		
Altura de antena (m): 40	Altura de antena (m): 40		
Red: BS-U5		Frecuencia (MHz): Mínimo 2494 Máximo 2504	

Umbral estadístico requerido entre BS y U5

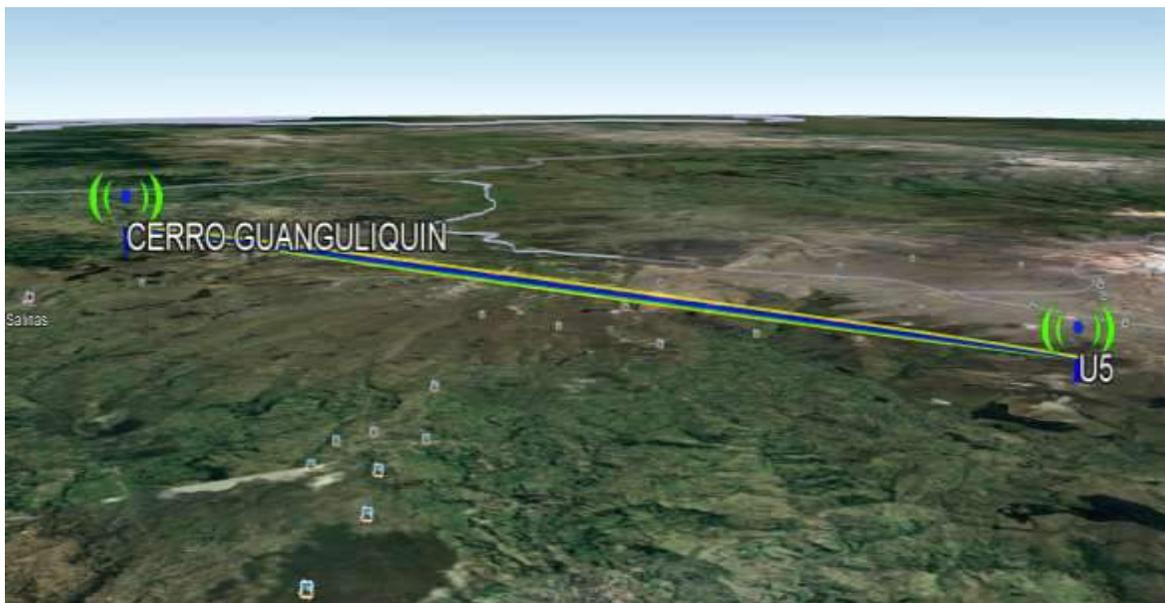
U5



Vista de 40° de BS al U5



Enlace entre BS y el U5 en Google Earth



- ENLACE DE LA ESTACIÓN BASE(BS) AL USUARIO 6 (U6)**

Enlace entre BS y el U6 en Radio Mobile.



Valores determinados de BS y el U6.

La distancia entre CERRO GUANGUJUIN y U6 es 1,4 km (0,8 miles)
 Azimut norte verdadera = 123,34°, Azimut Norte Magnético = 125,75°, Ángulo de elevación = -6,0185°
 Variación de altitud de 181,2 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 1,2F1 a 1,1 km
 La frecuencia promedio es 2515,000 MHz
 Espacio Libre = 103,1 dB, Obstrucción = -0,4 dB, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 6,7 dB
 La pérdida de propagación total es 103,4 dB
 Ganancia del sistema de CERRO GUANGUJUIN a U6 es de 162,0 dB (G058-36+POL. ant a 123,3° ganancia = 17,0 dB)
 Ganancia del sistema de U6 a CERRO GUANGUJUIN es de 162,0 dB (G058-36+POL. ant a 300,3° ganancia = 17,0 dB)
 Peor recepción es 52,6 dB sobre el señal requerida a encontrar
 70,000% de situaciones

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUIN		U6	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido	21,72 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PRE=7,08 W FRE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40 Destacar	Altura de antena (m)	60 Destacar
Red: BS-U6		Frecuencia (MHz): Mínimo 2505 Máximo 2525	

Simulación con los valores predeterminados de BS y U6.

Azimut=123,34° Ang. de elevación=-6,018° Despeje a 1,09km Peor Fresnel=1,2F1 Distancia=1,39km
 Pérdida=103,4dB Campo E=74,3dBµV/m Nivel Rx=54,4dBm Nivel Rx=427,86µV Rx relativo=52,6dB

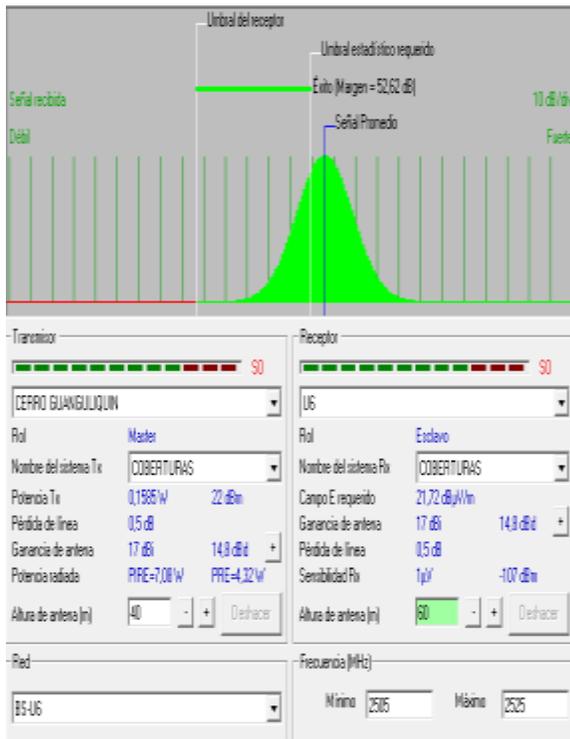
Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUIN		U6	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido	21,72 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PRE=7,08 W FRE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40 Destacar	Altura de antena (m)	60 Destacar
Red: BS-U6		Frecuencia (MHz): Mínimo 2505 Máximo 2525	

Umbral del receptor

Azimut=123,34° Ang. de elevación=-6,018° Despeje a 1,09km Peor Fresnel=1,2F1 Distancia=1,39km
 Pérdida=103,4dB Campo E=74,3dBµV/m Nivel Rx=54,4dBm Nivel Rx=427,86µV Rx relativo=52,6dB

Transmisor		Receptor	
CERRO GUANGUJUIN		U6	
Rol	Master	Rol	Esclavo
Nombre del sistema Tx	COBERTURAS	Nombre del sistema Rx	COBERTURAS
Potencia Tx	0,1585 W 22 dBm	Campo E requerido	21,72 dBµV/m
Pérdida de línea	0,5 dB	Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +
Ganancia de antena	17 dB 14,8 dBd +	Pérdida de línea	0,5 dB
Potencia radiada	PRE=7,08 W FRE=4,32 W	Sensibilidad Rx	1µV -107 dBm
Altura de antena (m)	40 Destacar	Altura de antena (m)	60 Destacar
Red: BS-U6		Frecuencia (MHz): Mínimo 2505 Máximo 2525	

Umbral estadístico requerido entre BS y U6



Vista de 40° de BS al U6



Enlace entre BS y el U6 en Google Earth



ANEXOS B

ESPECIFICACIONES DE LOS UQUIPOS

- Especificaciones técnicas de Equipos Estación Base analizados.



SUPERIOR RANGE

The 6 antenna system significantly improves uplink and downlink performance.

EASY DEPLOYMENT

Field Deployable by a single technician in well under two hours.

ASN-GW OPTIONAL

Can operate in stand-alone mode, without an ASN-GW, making even small deployments affordable.

GREATER CAPACITY

Improved link performance increases at any range.

FLEXIBLE MOUNTING

Can be deployed on towers, utility poles, walls, rooftops, etc., without the need for remote RF heads.

COMPLETELY WEATHER PROOF

No Shelter Required.

SOFTWARE DEFINED RADIO

Supports remote field upgrades of new functionalities and standards.

POWERFUL MANAGEMENT OPTIONS

Fully supported by Ceres Management Solution.

Radio

Frequency Bands 2.3-2.4GHz, 2.48-2.70GHz, 3.3-3.4GHz, 3.4-3.6GHz, 3.48-3.70GHz (IC) 3.68-3.70GHz (US)	Duplex Method FDD	Smart Antenna Capabilities Beamforming, MMSE Matrix A, MMSE Matrix B, Cyclic Delay Diversity, MRC, UL SDMA*, DL Collaborative Spatial Multiplexing*
Channel Size 3.5, 5, 7, 10MHz	Number of Tx/Rx Antennas 6x6	Air Link Optimization HARQ, CTC
	Tx Power per Antenna 33dBm ** (RFS data power at maximum MCS level)	

Capacity

Active Users Up to 200	Service Flows per User 30	Peak Throughput/Sector Aggregate: Up to 50Mbps UL: Up to 10Mbps
	Idle-Mode Users 2048	

General

Standards Compliance IEEE 802.16e-2005	Modulation QPSK, 16QAM, 64QAM	VoIP MOS Up to 4.3
Backhaul Interface Options 2x Gig-Ethernet-40, 2x Multi-Mode Optical Fiber, or 2x Single-Mode Optical Fiber, all with Inter-sector data chain support	QoS BE, UGS, nPS, ePS, rtPS	Security AES-128, EAP-TLS, EAP-TTLS, PKIX2
Inter-BS Synchronization Integrated GPS	Convergence Sublayer IPv3, IPv4, IPv6, IPv4/IPv6, IPv6 Pass-Through	Management Furview EMS/NMS, Remote CLI, Web Interface, SNMP v2c & v3

Mechanical, Electrical, and Environmental

Dimensions 17.5" x 16.7" x 5.3" (443mm x 426mm x 135mm)	Humidity 0-100%	Wind Loading 120km/hr operation, 200km/hr survival
Weight 22lbs (14.5kg)	Altitude Up to 30,000 feet above sea level	Surge Protection IEC 61678
Power -48 VDC or 110/220 VAC, 180 Watts Max	Weatherproofing IEC 60529	Lightning Protection Min 10kA IEC 61004-5
Temperature -40C to +75C per ETSI EN 300 019-1,4 Class 4.1E	Vibration and Dust Meets ETSI EN 300 019-1-4 requirements for Class 4.1E	Safety and IEC IP EN 300 019-2-2, GRAB7, IEC 60529

Connectors

DC Power Weatherproof circular connector L7W 88-048095-LC7001	Cat-5 Backhaul Port 2x RJ-45, Weatherproof L7W R15-50PFF-SC7002	RS-232 Maintenance Port RJ-45, Weatherproof L7W R15-50PFF-SC7002
AC Power Circular plastic multi-pin connector	Optical Fiber Backhaul Port 2x, Hotting Full/Full/Non 2 A 2 & LC Duplex	GPS N-type
Grounding NO ground stud to chassis		Antenna 6x N-type

- **Especificaciones técnicas de Equipos Estación Base analizados.**

INTEGRATED ACCESS DEVICE

DX, known simply as the Tower, is part of Greenpacket's portfolio of next generation Wave 2 compliant WIMAX Modems for residential and small- and medium-sized businesses (SMEs). It is a WIMAX Integrated Access Device (IAD) that features a blend of aesthetics, data and voice access ports and high-gain omni-directional antenna to offer best-in-class performance.

DX is packaged with a high-speed wireless LAN access point that enables multiple Wi-Fi-enabled devices to enjoy a stable wireless WIMAX connectivity anytime within indoor perimeters.



WPS Button
Press here for instant connectivity.

Power Connector
Universe DC in

2 RJ-11 (VoIP) Ports
Connect up to 2 telephone services.

7 LED Indicators
Clear visual informative display.

KEY FEATURES

IEEE 802.16e WIMAX Wave 2 WIMAX Forum compliant.		5dBi Omni Antenna Gain Flexible 360° antenna array boost.		Wi-Fi - 802.11 b/g/N Amplify with Wi-Fi-N for ultimate indoor experience.	
Advanced Security IP Router with 128-bit security.		MIMO Matrix A & B Increased call throughput with advanced algorithm.		QoS Prioritization Ultimate service creation and guaranteed experience.	
Dual Tx* Combined 28dBm with intelligent diversity technology. (* 2x200 & 2x1000)		TR0-60, OMA-DM* Standard based device management. (* Optional)		2 RJ-45 + 2 RJ-11 Multiport for maximum networking convenience.	
OTA Provisioning Ease of remote management.					

- **BreezeNETB100**

Specifications

Physical Interface

LAN	Up to 4 x 10/100 Base-T ports
VoIP	Up to 2 SIP FXS ports
WiFi	802.11b/g

WiMAX Features

Standard Compliance	IEEE 802.16e-2005
Duplex Mode	TDD
Frequency Bands	
2.x GHz	2300-2400 MHz 2495-2695 MHz
3.x GHz	3400 - 3600 MHz
Channel Bandwidth	5, 7 (3.5 GHz only), 10 MHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Transmit Power	24dBm
Antenna Type	2 x Embedded Directional Antenna
Antenna Gain	12 dBi @ 2.3/2.5 GHz 15 dBi @ 3.5 GHz
Authentication	EAP-TTLS, EAP-TLS (optional)
QoS	BE, RT, NRT, ERT, UGS

VoIP Features

Standard Compliance	SIP v2 RFC 3261
Voice Codecs	G.711 (a-law and u-law), G.726, G.729ab, G.723,
Call Features	Call transfer, call waiting, 3-way conference call, call blocking, call forwarding

WiFi Features

Standard Compliance	802.11b/g
WiFi Security	WEP encryption 64, 128 bit

Networking Features

Device Management	Web, TR-069
Firewall	NAT firewall with SPI mode
WAN	DHCP, PPPoE and PPTP client
NAT	NAT, Virtual Server, Special Application DMZ Host
VPN	L2TP pass through

Mechanical Features

Dimensions (HxWxD)	230x230x63 mm
Weight	2 kg
Power Source	100-240 VAC, 50-60 Hz

Standards and Regulations

EMC	FCC Part 15B Class B ETSI EN 301 489-1/4 EN 55022 Class B
Radio	FCC Part 27 ETSI EN 302 544-2 EN 302 326-1, EN 302 326-2
Safety	UL 60950-1 EN 60950-1 / IEC 60950-1
Operating Temperature	-40 to 55 C (-40 to 131 F)
Humidity	5% to 95% non condensing, weather protected (ODU)