

*no/a.*

AUTOR

AÑO



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE ARQUITECTURA DE RED CON  
TECNOLOGÍA WIMAX EN CONVERGENCIA CON TECNOLOGÍA WIFI PARA  
MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO DE TEG-TEL

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Tecnólogo en Redes y  
Telecomunicaciones

Profesor Guía

Ingeniero. Fabián Wladimiro Basantes Moreno

Autor

Carlos Andrés Dávila Ossa

Año

2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido el trabajo, “Investigación y diseño de arquitectura de red con tecnología WIMAX en convergencia con tecnología WIFI para mejorar la calidad de servicio de TEG-TEL”, a través de reuniones periódicas con el estudiante Carlos Andrés Dávila Ossa, en el trimestre 2017-4, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

---

Fabián Wladimiro Basantes Moreno  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones  
C.I. 1709767667

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

"Declaro haber revisado este trabajo, "Investigación y diseño de arquitectura de red con tecnología WIMAX en convergencia con tecnología WIFI para mejorar la calidad de servicio de TEG-TEL", del estudiante Carlos Andrés Dávila Ossa, en el trimestre 2017-4, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Mario Augusto Garzón González  
Magister en Redes de Comunicaciones  
C.I. 1711296606

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

---

Carlos Andrés Dávila Ossa

C.I. 172572928-7

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por ser la luz  
Que ilumina mi camino, por darme  
sabiduría y fortaleza para continuar  
con el día a día, a mis padres por  
creer en mí, a mis hermanos que  
me apoyaron.

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación consta de 5 capítulos en el cual se basa en investigar y diseñar una red WIMAX en convergencia con WIFI para mejorar la calidad de servicio de la empresa TEG-TEL en donde se va a ver desde introducción y definiciones hasta el diseño de la red y simulaciones.

En el primer capítulo consta de antecedentes, el alcance que va a tener este proyecto su objetivo tanto principal como específico, y por último la metodología que se va a implementar.

En el segundo capítulo se describe la definición, características más importantes y tipos de redes inalámbricas tanto de la tecnología WIMAX como de la tecnología WIFI.

En el tercer capítulo se procede al diseño de la red WIMAX, coordenadas geográficas y de radio base donde se puede ver las antenas más comunes para esta tecnología y la convergencia entre WIMAX Y WIFI.

En el cuarto capítulo se hace un análisis funcional de software de simulación del diseño de la red en donde se explica las distancias, potencias de radio enlaces y rendimiento.

En el capítulo quinto se realiza todas las conclusiones y recomendaciones que se pueda dar sobre la presente tesis.

## **ABSTRACT**

The present project of titration consists of 5 chapters in which it is based in investigating and designing a network WIMAX in convergence with WIFI to improve the quality of service of the company TEG-TEL where it is going to be seen from introduction and definitions until the design of the network and simulations.

The first chapter consists of background, the scope that will have this project its main objective as well as specific, and finally the methodology to be implemented.

The second chapter describes the definition, most important characteristics and types of wireless networks of both WIMAX technology and WIFI technology.

In the third chapter the design of the WIMAX network, geographic coordinates and base radio is carried out where you can see the most common antennas for this technology and the convergence between WIMAX and WIFI.

In the fourth chapter, a functional analysis of network design simulation software is performed, which explains distances, radio link powers and performance.

In the fifth chapter all the conclusions and recommendations that can be given on this thesis are made.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
1. ASPECTOS GENERALES.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Alcance.....	4
1.3. Justificación .....	4
1.4. Objetivo General.....	5
1.5. Objetivos específicos.....	5
1.6. Metodología a utilizar.....	5
CAPITULO II .....	7
2. DEFINICIÓN Y TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS .....	7
2.1. Introducción. ....	7
2.2. Definición y tipos de redes inalámbricas.....	7
2.2.1. Redes ad-hoc:.....	7
2.2.2. Punto de acceso: .....	8
2.2.3. WPAN (Wireless Personal Area Network).....	10
2.2.4. Estándar IEEE 802.15.1 .....	10
2.2.5. Estándar IEEE 802.15.3a.....	11
2.2.6. Estándar IEEE 802.15.4.....	11
2.2.7. WLAN (Wireless Local Area Network).....	12
2.2.8. WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) .....	13
2.2.9. WWAN (Wireless Wide Area Network).....	13
2.2.10. GSM 2G. ....	13
2.2.11. UMTS 3G. ....	14
2.2.12. HSDPA.....	14
2.2.13. LTE 4G.....	14

2.3. Estándar IEEE 802.11 .....	16
2.3.1. Estándar IEEE 802.11a.....	16
2.3.2. Estándar IEEE 802.11b.....	16
2.3.3. Estándar IEEE 802.11g.....	16
2.3.4. Estándar IEEE 802.11n.....	16
2.3.5. Estándar IEEE 802.11ac.....	17
2.3.6. Estándar IEEE 802.11ad.....	17
2.3.7. Estándar IEEE 802.11af.....	17
2.4. Equipos de la tecnología WIFI.....	18
2.4.1. Punto de acceso: .....	19
2.4.2. Tarjeta de Red Wireless:.....	19
2.4.3. Router: .....	19
2.5. Ventajas de la tecnología WIFI.....	19
2.6. Desventajas de la tecnología WIFI.....	20
2.7. Estándar IEEE 802.16.....	20
2.8. Características de la tecnología WIMAX .....	21
2.9. Ventajas de la tecnología WIMAX.....	21
2.10. Desventajas de la tecnología WIMAX .....	22
CAPITULO III .....	23
3. DISEÑO DE LA RED .....	23
3.1. Ondas de radio.....	23
3.2. Elementos de una onda electromagnética.....	24
3.3. Espectro Electromagnético.....	25
3.4. Estación Base de Telecomunicaciones.....	25
3.5. Antenas en la tecnología WIMAX.....	27
3.5.1. Antenas direccionales .....	27
3.5.2. Antenas sectoriales.....	28
3.5.3. Antenas tipo panel: .....	29

3.6. Ubicación y Coordenadas Geográficas de la Estación Base.....	29
3.7. Transferencia Efectiva (en inglés, Throughput).....	31
3.8. Escalabilidad.....	32
3.9. Cálculos de Potencias de Radioenlace. ....	33
3.9.1. P.I.R.E (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente).....	33
3.10. Pérdida en el espacio libre .....	33
3.11. Indicador de fuerza de la señal recibida.....	35
3.12. Presupuesto de enlace de la red WIMAX.....	35
3.13. PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) .....	36
3.14. FSL (Pérdida en el espacio libre) .....	36
3.15. RSSI (Indicador de fuerza de la señal recibida) .....	37
3.16. Análisis de viabilidad de estación base .....	38
3.17. Estación Base BS-Chilibulo.....	40
3.18. Topología de la red.....	41
3.19. Esquema de red WIMAX .....	42
3.20. Frecuencias a utilizar.....	42
3.21. Reglamentos de telecomunicaciones en Ecuador .....	42
3.22. Canales operables.....	44
3.23. Equipos con tecnología WIMAX. ....	44
3.24. Radioenlace BACKHAUL .....	50
3.24.1. Equipo LNK-LU-350-23 (Albentia Systems).....	50
3.25. EQUIPO BS-CHILIBULO WIMAX .....	52
3.25.1. Equipo AXS-BS-430-N (Albentia Systems).....	52
3.25.2. Antena sectorial 60 grados de 3,4 GHz y 18 dBi.....	54
3.26. EQUIPO CPE WIMAX .....	54
3.26.1. Equipo AXS-CPE130-20 (Albentia Systems).....	54
3.27. EQUIPO WIFI USUARIO FINAL .....	57

3.27.1. Equipo Access Point N TL-WA901nd (Tp-Link) .....	57
3.27.2. Esquema y Composición de Estación Base Chilibulo .....	58
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>60</b>
<b>4. Software y simulación del Diseño de la Red .....</b>	<b>60</b>
4.1. Software de simulación Radio Mobile.....	60
4.2. Simulaciones de la Red WIMAX en Radio Mobile. ....	61
4.3. Ubicación de CPEs con relación a la estación base Chilibulo .....	62
4.4. Simulación de Cobertura de BS-Chilibulo.....	63
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>73</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
5.1. Conclusiones .....	73
5.2. Recomendaciones .....	73
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas geográficas y altura, exactas de la empresa TEG-TEL y abonados o clientes respectivamente. ....	31
Tabla 2 Thounghput requerido para la red WIMAX .....	32
Tabla 3 Proyección anual de incremento (20%) de clientes de la empresa TEG-TEL .....	32
Tabla 4 Proyección anual de Throunghput con respecto a la tabla de clientes .....	33
Tabla 5 Especificaciones Técnicas .....	57
Tabla 6 Resultados Sector 1 .....	65
Tabla 7 Resultados Sector 2 .....	66
Tabla 8 Resultados del enlace Sector 3.....	67
Tabla 9 Cuadro de altura y ubicación correspondientes a los puntos conformados dentro de la red WIMAX. ....	68
Tabla 10 Cuadros generales de enalces de CPEs (Sector 1) .....	69
Tabla 11 Cuadros generales de enlaces de CPEs (Sector 2) .....	70
Tabla 12 Cuadros generales de enlaces de CPEs (Sector 3) .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de red ad-hoc. Tomado de (Arg-Wireless, 2017) .....	8
Figura 2. Tecnología WIFI como punto de acceso. Adaptado de (Tecnologías de la información y la comunicación , 2008) .....	9
Figura 3. Tecnologías de redes inalámbricas. Tomado de (La Red Intuitiva, 2017) .....	9
Figura 4. Dispositivos bluetooth. Tomado de (Ptolomeo, 2017, pág. 32) .....	10
Figura 5. Velocidades de trasmisión de hasta 400-500 Mbps. Adaptado de (Slideshare, 2012, pág. 7) .....	11
Figura 6. Tecnología ZigBee conectándose a diferentes dispositivos. Tomado de (Ruiz Osés, 2017) .....	12
Figura 7. Características de los estándares IEEE 802.11 más comunes. Tomado de (Telecom, 2017) .....	15
Figura 8. Diferentes estándares de la tecnología WI-FI. Tomado de (Computer Hoy.com, 2016) .....	18
Figura 9. Modelos de uso Wimax. Tomado de (Bucalima, 2010, pág. 47) .....	21
Figura 10. Ondas de radio. Tomado de (Didactic Hoy.com, 2017).....	23
Figura 11. Elementos de una onda electromagnética. Tomado de (Cáceres, 2017) .....	24
Figura 12. Espectro electromagnético. Tomado de (Abc.com, 2016).....	25
Figura 13. Estación base Tomado de (Saladasinforma.com.ar, 2017).....	27
Figura 14. Antenas direccionales. Tomado de (Cayro.webcindario, 2016) .....	28
Figura 15. Antenas omnidireccionales: Tomado de (Cayro.webcindario, 2016) .....	28
Figura 16. Antenas Omnidireccionales. Tomado de (Cayro.webcindario, 2016) .....	29
Figura 17. Antenas tipo panel. Tomado de (Electronica teoria y práctica, 2012) .....	29
Figura 18. Ubicación de la Empresa TEG-TEL. Tomado de (Google Maps, 2017) .....	30
Figura 19. Pérdida en el espacio libre. Tomado de (slideplayer, 2017).....	34

Figura 20. Simulación de área de cobertura. Tomado de (Radio Mobile, 2017) .....	39
Figura 21. Simulación de área de cobertura. Tomado de (Radio Mobile, 2017) .....	39
Figura 22. Ubicación exacta de la BS (Chilibulo). Tomado de (Google Maps, 2017) .....	41
Figura 23. Esquema de red WIMAX.....	42
Figura 24. Detalle de equipos. Tomado de (Albentia-systems).....	50
Figura 25. Especificaciones técnicas. Tomado de (Albentia.com, 2017) .....	51
Figura 26 Especificaciones Técnicas. Tomado de (albentia.com, 2017).....	53
Figura 27. Especificaciones Técnicas. Tomado de (albentia.com, 2017).....	56
Figura 28. Esquema General de Estación Base.....	58
Figura 29. Esquema de Montaje y Partes de Torre Arriostrada. Tomado de (Google imagenes, 2017) .....	59
Figura 30. Red Enlace del backhaul. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017) .....	61
Figura 31. Enlace de TEG-TEL hasta la BS chilibulo. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017) .....	62
Figura 32. Enlace punto multipunto de Chilibulo hasta los CPEs. Tomado de (Simulado Radio Mobile, 2017) .....	63
Figura 33 Zona de Cobertura de Red WIMAX. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017) .....	64
Figura 34 Resultados de estudio online de Radio Mobile. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017) .....	65
Figura 35 Resultado del estudio online de Radio Mobile sector 2.Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017) .....	66
Figura 36 Resultado del estudio online de Radio Mobile sector 3.Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017) .....	67
Figura 37 Altura y Ubicación de los enlaces. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017).....	69

## INTRODUCCIÓN

WIMAX dispone de innumerables ventajas, en la actualidad está considerada como una tecnología de última milla gracias a sus grandes distancias que puede alcanzar.

Gracias al gran avance de la tecnología hoy en día se puede contar con servicios de internet a gran velocidad con precios muy accesibles tanto para empresas como para usuarios finales.

En la presente tesis se utilizó un radio de cobertura de 7 kilómetros para la implementación de la red WIMAX-WIFI, de 20 abonados con una proyección a incrementar de un 20% anual para los clientes de la empresa TEG-TEL.

Dentro de la tecnología WIMAX se realizó un cuadro comparativo de los principales equipos con esta tecnología en el cual se decidió utilizar los equipos de la marca ALBENTIA SYSTEMS, ya que cumplen con todos los requerimientos a utilizar para la implementación de la red.

En el diseño de la red se utilizó tres antenas direccionales de 60° horizontales, de los cuales se logró obtener tres sectores de cobertura con una capacidad total de hasta 150 CPEs conectados simultáneamente.

## CAPÍTULO I

### 1. ASPECTOS GENERALES.

#### 1.1. Antecedentes

La búsqueda de mejorar el desarrollo tecnológico en el área de redes y telecomunicaciones se ha incrementado considerablemente en los últimos años en calidad y cantidad para los servicios de voz, video y datos que ofrecen las empresas de telecomunicaciones a nivel mundial.

Desde la aparición del Internet hace varios años atrás en nuestras vidas, el limitado ancho de banda que proporcionaban los antiguos proveedores de Internet con escasas velocidades que apenas permitían navegar por la web, las pequeñas aplicaciones y juegos que sus tamaños no pasaban de algunos kilobits, sin embargo, en la actualidad en nuestro país todavía hay sectores en donde no se ha podido brindar de internet con calidad de servicio a los usuarios.

En la actualidad la búsqueda para remplazar las tecnologías de redes alámbricas por las tecnologías inalámbricas se ha convertido en el principal objetivo para los proveedores y fabricantes de equipos de redes y telecomunicaciones.

Las tecnologías inalámbricas facilitan a los proveedores de telecomunicaciones un ahorro en tiempo y costos por el despliegue de la red, esto representa un avance importante en el progreso de las tecnologías, las redes inalámbricas son fundamentales para el desarrollo de las telecomunicaciones esto se debe de tener en cuenta y tratar de ir avanzando cada día más al desarrollo de nuevas tecnologías inalámbricas.

A partir del éxito que tuvieron con la tecnología WIFI los fabricantes comenzaron a crea nuevas tecnologías con mayor cobertura, es ahí donde

aparece WIMAX, considerado como una tecnología de última milla que utiliza ondas de radio frecuencia de 2.5 a 5.8 GHz tiene cobertura de 40-70 kilómetros con velocidades de hasta 124Mbit/s.

La tecnología 802.16, mejor conocida como WIMAX, llegar a zonas geográficamente difícil de acceder donde la distancia no favorece, como lo es una red de fibra óptica o cable de cobre xDSL por sus costos, es capaz de ofrecer servicio a decenas de usuarios particulares que se pueden conectar desde su celular, computadoras, hogares, empresas y universidades todos conectados desde la misma estación base.

TEG-TEL fue fundado el 6 de octubre de 2004 en la ciudad de Quito, desde esa fecha ha venido ganando mercado a nivel nacional, realizando proyectos en todo el país. Ofrece la ayuda necesaria para solucionar todos los problemas tecnológicos a los usuarios, esta empresa dispone de instalación, mantenimiento de redes telefónicas, eléctricas y de datos.

TEG-TEL lleva más de 12 años prestando servicios a empresas y hogares a nivel nacional, brindando siempre un servicio de calidad, con un gran compromiso y responsabilidad en todos los proyectos.

La misión de la empresa es ser la mejor alternativa para la oferta de servicios de telecomunicaciones para los hogares y empresas, desde una relación con el cliente, cercana y resolutive, ofreciendo las soluciones más innovadoras a los precios más competitivos del mercado.

La visión es crecer rápida y consistentemente en el mercado de telecomunicaciones residencial, de empresas y mayorista, innovando continuamente, brindando a los clientes una atención y unos servicios excelentes.

## **1.2. Alcance**

Realizar una investigación y diseño de la tecnología WIMAX en convergencia con tecnología WIFI, para prestar un servicio en voz video y datos gracias a la cobertura y velocidad que posee WIMAX.

El diseño de la red WIMAX en convergencia con WIFI servirá a la empresa TEG-TEL como modelo para implementar y después expandirse por toda la provincia de Pichincha ofreciendo el triple pack voz, video y datos con velocidades más avanzadas gracias a que WIMAX tiene banda ancha inalámbrica y una mayor disponibilidad de la red.

## **1.3. Justificación**

Con el avance de la tecnología en equipos inteligentes tales como Smart TV, celulares inteligentes, tabletas se crea la necesidad de mejorar la calidad de servicios y con un mayor ancho de banda para poder tener una mayor satisfacción al usuario final tanto en su trabajo como en su hogar por lo cual se necesita una investigación de posibles mejoramientos para la conectividad y banda ancha.

Las tecnologías inalámbricas tienen una mayor aceptación en los usuarios convirtiéndose rápidamente en las más preferidas, en la actualidad cuenta con una gran variedad de dispositivos móviles y laptops los cuales los usuarios prefieren interconectarse con tecnologías inalámbricas, la implementación de calidad de servicio en WIMAX es esencial para garantizar el éxito en servicios que requieren gran velocidad como VoIP (voz sobre IP o telefonía sobre IP), videoconferencia entre otras aplicaciones que demanden un gran ancho de banda para garantizar que la transmisión sea sin pérdidas de paquetes.

En esta investigación se va hacer una recopilación de toda la información de la tecnología WIMAX y de la tecnología WIFI con la que se va a dar a conocer las diferentes funciones, características, ventajas y desventajas de cada tecnología para dar a conocer que va hacer útil al momento de la convergencia entre

estas tecnologías en la cual servirá para solucionar la demanda de calidad de servicio a los usuarios finales.

En el Ecuador está establecido un plan nacional de frecuencias, el cual muestra las diferentes frecuencias que se pueden utilizar mediante la técnica de modulación digital, la tecnología WIMAX es la más usada para dar servicios digitales a zonas de difícil acceso.

#### **1.4. Objetivo General**

- Analizar y diseñar en convergencia con las tecnologías WIFI Y WIMAX para dar un servicio de voz, video y datos a los clientes de la empresa TEG-TEL

#### **1.5. Objetivos específicos**

- Elaborar un diseño de red para las dos tecnologías 802.16 WIMAX y 802.11 WI-FI para prestar un servicio.
- Dar a conocer las características más importantes y fundamentos técnicos de la tecnología WIMAX.
- Elaborar el diseño de la red para proveer de acceso a Internet a zonas geográficamente difíciles de llegar.

#### **1.6. Metodología a utilizar**

En este proyecto de tesis se va a utilizar la siguiente metodología:

- **Recopilar información:** Se utilizará el método descriptivo, recopilación de toda la información necesaria y datos que serán parte esencial, para el desarrollo de la presente tesis.

- **Análisis de la información:** Una vez recopilado toda la información de diferentes fuentes tales como internet, libros, revistas informáticas entre otros se procederá a analizar e identificar las características más importantes que van a ser útil para poder comprender su funcionamiento.
- **Diseño de la red:** Por último, se va a realizar el diseño de la red con coordenadas geográficas del área de cobertura para el número de usuarios que se pretende dar servicio.

## CAPITULO II

### 2. DEFINICIÓN Y TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS

#### 2.1. Introducción.

Actualmente las tecnologías inalámbricas se han adaptado como medio de comunicación al diario vivir teniendo una gran aceptación a nivel mundial en los últimos años gracias a su fácil y rápido despliegue, permitiendo tener acceso en cualquier lugar y momento a los servicios de banda ancha lo que hace años atrás no se podía lograr.

#### 2.2. Definición y tipos de redes inalámbricas.

Una red inalámbrica es la conexión de varios nodos, sin la necesidad de cables físicos, se comunica por ondas electromagnéticas que se transmiten a través del aire gracias a esta tecnología el usuario puede tener intercomunicación de datos y compartir recursos de una manera muy fácil dentro de una determinada área geográfica.

Dentro de las redes inalámbricas están:

- Redes ad-hoc.
- Punto de acceso.

##### 2.2.1. Redes ad-hoc:

Es la configuración más fácil que existe para el armado de la red, ya que solo necesita de terminales móviles con los adaptadores para la comunicación inalámbrica, el único requisito de esta red es que tienen que estar dentro del rango de cobertura de la señal.

Las redes ad-hoc se utilizan generalmente para compartir datos, juegos en red, compartir internet entre otros.

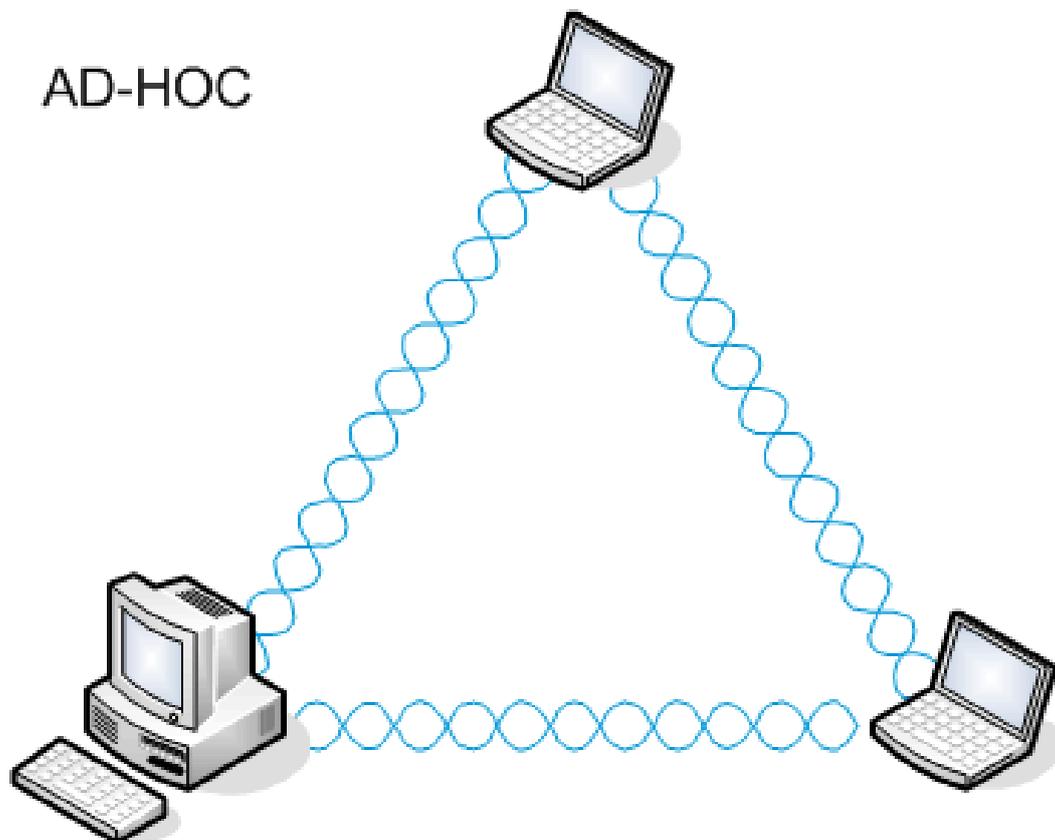


Figura 1. Arquitectura de red ad-hoc. Tomado de (Arg-Wireless, 2017)

### 2.2.2. Punto de acceso:

Los puntos de acceso son los encargados de la interconexión de equipos de comunicación inalámbricos a la red fija, son fáciles de conectar sin la necesidad de un cable intermediario.

Se pueden conectar ya sea a un router, switch con cable Ethernet y proyecta una señal WIFI dentro de un rango de cobertura de la señal.

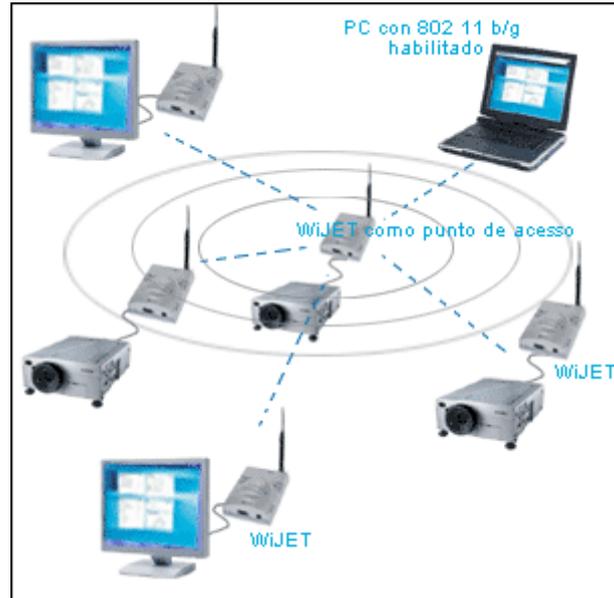


Figura 2. Tecnología WIFI como punto de acceso. Tomado de (Tecnologías de la información y la comunicación , 2008)

Dentro de las redes inalámbricas se puede encontrar distintos estándares y tipos que se clasifican de la siguiente forma:

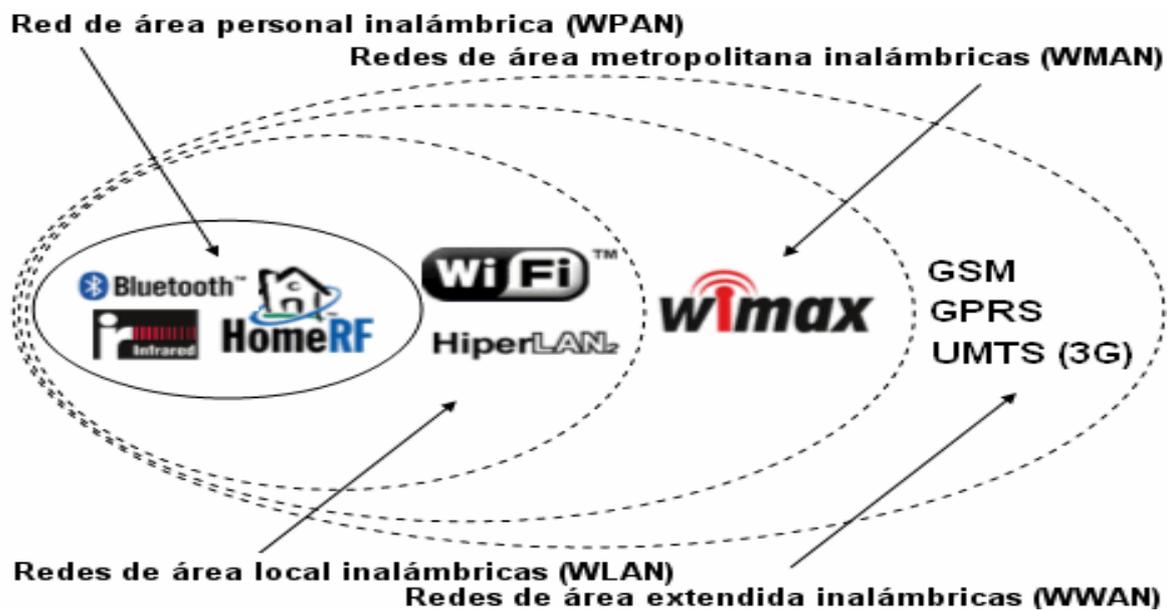


Figura 3. Tecnologías de redes inalámbricas. Tomado de (La Red Intuitiva, 2017)

### 2.2.3. WPAN (Wireless Personal Area Network)

Son redes de área personal con muy poco alcance estas redes se las usa para la interconexión de dispositivos personales inalámbricos en los cuales podemos encontrar Laptops, PCs, Celulares Tablet, Smart TV entre otros, cubren distancias aproximadamente de 10 metros, esta comunicación de dispositivos no requiere altos índices de transmisión de datos.

Dentro de las WPAN se pueden encontrar varias tecnologías tales como:

### 2.2.4. Estándar IEEE 802.15.1

El estándar 802.15.1 mejor conocido como Bluetooth, es un chip implementado en algunos dispositivos que permite crear pequeñas redes de forma inalámbrica sin la necesidad de cables físicos, no soporta altas velocidades y tiene una distancia de 10 metros, se utiliza para compartir música, videos, archivos y fotos en la actualidad este estándar es muy utilizado.

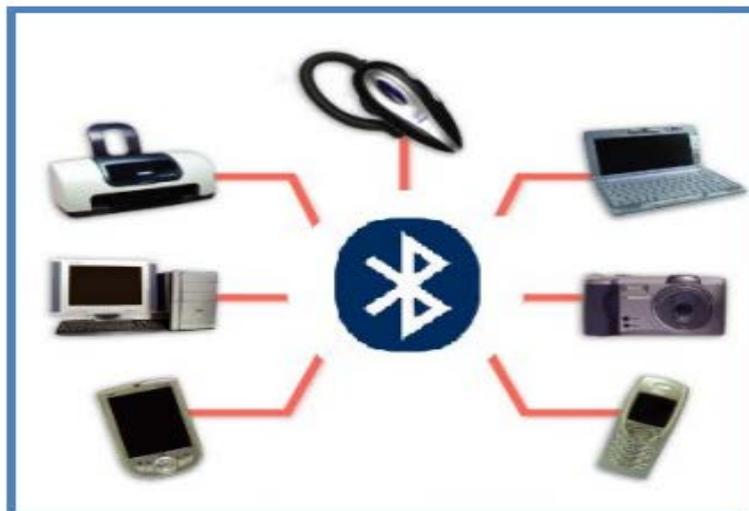


Figura 4. Dispositivos bluetooth. Tomado de (Ptolomeo, 2017, pág. 32)

### 2.2.5. Estándar IEEE 802.15.3a.

El estándar IEEE 802.15.3a mejor conocido como banda ultra ancha (UWB), es una tecnología en el rango de las WPAN (Wireless Personal Area Network). Tiene altas velocidades de transmisión en distancias de hasta los 10 metros esta tecnología es considerada como el futuro de las WPAN.



Figura 5. Velocidades de transmisión de hasta 400-500 Mbps. Tomado de (Slideshare, 2012, pág. 7)

### 2.2.6. Estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 mejor conocido como ZigBee es una tecnología en el rango de las WPAN (Wireless Personal Area Network). Permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos con una baja tasa de datos para maximizar la vida útil de sus baterías esta tecnología la encontramos en la actualidad en Internet de las Cosas (LoT).



Figura 6. Tecnología ZigBee conectándose a diferentes dispositivos. Tomado de (Ruiz Osés, 2017)

### 2.2.7. WLAN (Wireless Local Area Network)

Es una red de área local que no necesita conectarse mediante cables para estar vinculados, esta conexión se hace utilizando ondas de radiofrecuencia los usuarios tienen una amplia movilidad gracias a que no necesitan de cables físicos para entrar en esta red.

Tiene sus desventajas en seguridad y velocidad ya que cualquier usuario puede conectarse si no se toma las medidas de seguridad apropiadas y las velocidades de transmisión no son las mismas que la de redes cableadas.

### **2.2.8. WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)**

Es una red de área metropolitana en la que no necesita conexión cableada, la cual tiene un largo alcance de varios kilómetros cubriendo grandes áreas geográficas esta tecnología se basa en el estándar WIMAX.

### **2.2.9. WWAN (Wireless Wide Area Network)**

Es una red inalámbrica de área extensa la cual tiene un mayor alcance con respecto a las demás redes inalámbricas, esta tecnología la podemos encontrar en todos los teléfonos móviles, entre sus principales tecnologías están: GSM, GPRS, UMTS.

A continuación, se va a detallar las principales tecnologías en las que se encuentra WWAN (Wireless Wide Area Network).

- GSM 2G
- UMTS 3G.
- HSDPA 3.5G
- LTE 4G

### **2.2.10. GSM 2G.**

Global System For Mobile o mejor conocido en español como Sistema Global para Comunicaciones Móviles, es la segunda generación de tecnología celular, fue presentado en el año 1990.

Esta tecnología se la conoce normalmente como GSM y alcanza velocidades de hasta los 97 Kb/s teóricos superando a la primera generación, con esta tecnología se empezó a transmitir datos y mandar mensajes de texto.

### **2.2.11. UMTS 3G.**

Universal Mobile Telecommunications System o mejor conocido en español como Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (3G) es la tercera generación de tecnología celular.

Esta tecnología permite navegar por la web, utilizar redes sociales, transmitir voz, datos de una manera más eficiente que su antecesor tecnología (2G) llegando a velocidades de hasta 2 Mbps.

### **2.2.12. HSDPA.**

High-Speed Downlink Packet Access, es la evolución de la tercera generación tiene una velocidad de hasta 84Mb/s de descarga y hasta los 22Mb/s de subida, esta tecnología funciona transfiriendo datos en paquetes a alta velocidad, utilizando uno o varios canales de la red.

### **2.2.13. LTE 4G.**

LTE 4G es la cuarta generación de telefonía celular se caracteriza por tener una mayor velocidad de la tecnología 3G, ofreciendo una mayor velocidad de conexión permitiendo mejorar y disfrutar la experiencia a la hora de navegar por internet y un mejor desempeño a la hora de descargar aplicaciones y juegos en línea entre otros.

TABLE 1: IEEE 802.11 COMMON WIFI STANDARDS BREAKDOWN							
Standard	Frequency Band	Bandwidth	Modulation Scheme	Channel Arch.	Maximum Data Rate	Range	Max Transmit Power
802.11	2.4 GHz	20 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, FHSS	2 Mbps	20 m	100 mW
b	2.4 GHz	21 MHz	BPSK to 256-QAM	CCK, DSSS	11 Mbps	35 m	100 mW
a	5 GHz	22 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	54 Mbps	35 m	100 mW
g	2.4 GHz	23 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps	70 m	100 mW
n	2.4 GHz, 5 GHz	24 MHz and 40 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	600 Mbps	70 m	100 mW
ac	5 GHz	20, 40, 80, 80+80=160 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	6.93 Gbps	35 m	160 mW
ad	60 GHz	2.16 GHz	BPSK to 64-QAM	SC, OFDM	6.76 Gbps	10 m	10 mW
af	54-790 MHz	6, 7, and 8 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	26.7 Mbps	>1km ?	100 mW
ah	900 MHz	1, 2, 4, 8, and 16 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	40 Mbps	1 km	100 mW

Figura 7. Característica del estándar IEEE 802.11 más comunes. Tomado de (Telecom, 2017)

Dentro de los Estándares IEEE 802.11 se encuentran los siguientes.

- Estándar IEEE802.11
- Estándar IEEE802.11a
- Estándar IEEE802.11b
- Estándar IEEE802.11g
- Estándar IEEE802.11n
- Estándar IEEE802.11ac
- Estándar IEEE802.11ad
- Estándar IEEE802.11af
- Estándar IEEE802.11ah

### **2.3. Estándar IEEE 802.11**

El estándar 802.11 permite un ancho de banda de 1 a 2 Mbps, su publicación fue en 1997 por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos en el cual se encargan del mantenimiento de este estándar.

#### **2.3.1. Estándar IEEE 802.11a**

Este estándar fue publicado en el año de 1999 pero no llegó a comercializarse hasta el año 2002, su velocidad máxima de transmisión es de 54Mbps, aunque en la práctica es de 30 Mbps, provee ocho canales de radio, funciona en la banda de frecuencia de 5GHz, utiliza la técnica de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales OFDM

#### **2.3.2. Estándar IEEE 802.11b**

Este estándar fue publicado en el año de 1999 su velocidad máxima de transmisión es de 11 Mbps funciona en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y puede ser utilizada por cualquier tecnología inalámbrica.

#### **2.3.3. Estándar IEEE 802.11g**

Este estándar fue publicado en el año 2003, su velocidad máxima de transmisión de datos es de 54Mbps es compatible con el estándar anterior 802.11b y utiliza la técnica de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDM) y del espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS).

#### **2.3.4. Estándar IEEE 802.11n**

Este estándar fue publicado en el año 2003 con la idea de intentar resolver problemas derivados de la coexistencia de las redes 802.11 con sistemas de radares o satélites, la base de su funcionamiento es la incorporación de varias

antenas que permiten usar varios canales para enviar y recibir datos simultáneamente usa la técnica de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDM) su velocidad máxima de transmisión es de 600 Mbps y funciona en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, 5 GHz.

### **2.3.5. Estándar IEEE 802.11ac**

Este estándar fue aprobado en el año 2014 con el objetivo de garantizar una mayor velocidad a la red inalámbrica con un aumento de eficiencia de un 10% o mejor conocido como WIFI Gigabit, es una mejora de la norma IEEE 802.11n su velocidad máxima de transmisión es de 1.3 Gbit/s empleando 3 antenas funciona en la banda de frecuencia de 5GHz, utiliza hasta 8 flujos MIMO(Múltiple entrada múltiple salida) e incluye modulación de alta densidad.

### **2.3.6. Estándar IEEE 802.11ad**

El estándar IEEE 802.11ad mejor conocido como WiGig es capaz de proporcionar un mayor rendimiento que el estándar 802.11ac WIFI 5G la principal característica es proporcionar un mayor rendimiento que otras tecnologías inalámbricas como el WIFI AC, su velocidad máxima de transmisión es de 6.76 Gbit/s funciona en la banda de frecuencia de 60GHz, con estas velocidades se permiten hacer streaming de contenido 4K y HDR sin problemas.

### **2.3.7. Estándar IEEE 802.11af**

El estándar 802.11af o mejor conocido como WIFI 2.0 O White-Fi se creó a partir de una idea de Microsoft y de Google para crear un estándar mejorado de acceso inalámbrico a internet, su velocidad máxima de transmisión es de 26.7 Mbps funciona en la banda de frecuencia de 54-790MHz su objetivo principal es de operar con los dispositivos de baja potencia internet de las cosas (IoT), proporciona funciones similares a las de Bluetooth con un bajo consumo de batería se espera que sea una realidad para el año 2018.

### 2.3.8 Estándar IEEE 802.11ah

El estándar IEEE 802.11ah mejor conocido como White-Fi o también como súper WIFI su velocidad máxima de transmisión es de 40 Mbps funciona en la banda de frecuencia de 900MHz, La velocidad que ofrece el estándar 802.11ah es menor que la de estándar 802.11ac y la del estándar 802.11ad, pero tiene la ventaja de que la señal puede llegar a una distancia de 1 km, gracias a esto se puede aplicar a webcams, sensores entre dispositivos que estén muy lejos de su estructura primaria.

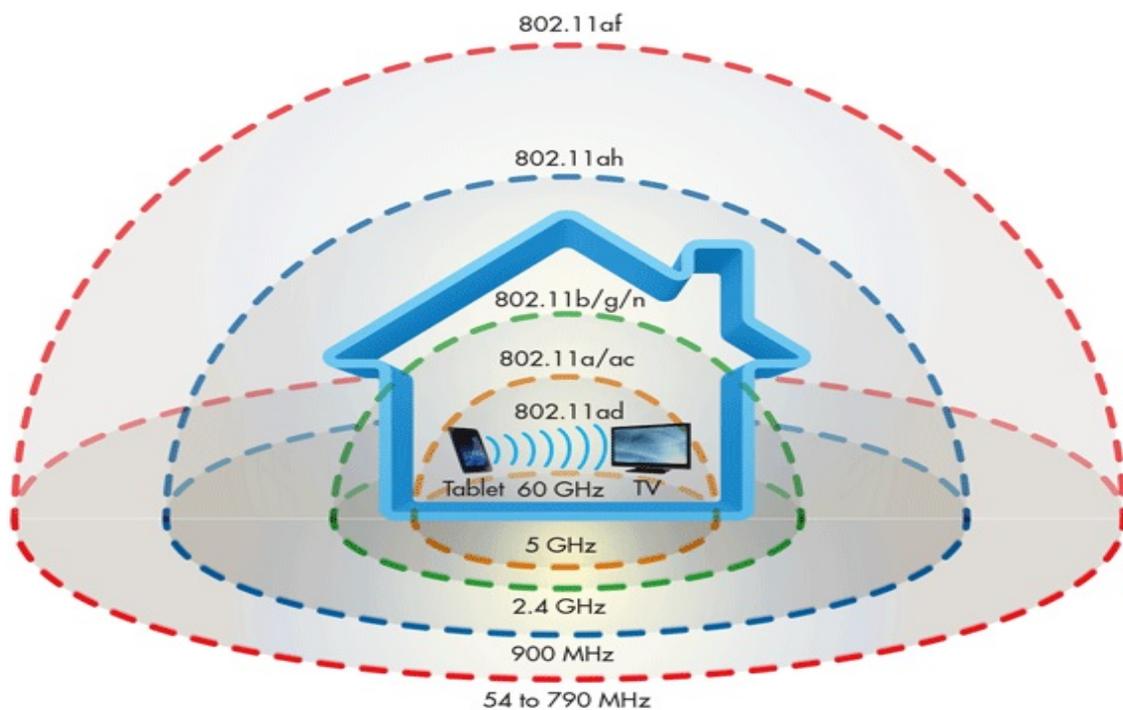


Figura 8. Diferentes estándares de la tecnología WI-FI. Tomado de (Computer Hoy.com, 2016)

### 2.4. Equipos de la tecnología WIFI.

En la actualidad tecnología WIFI es una de las más utilizadas para crear redes inalámbricas de área local sus principales equipos son:

- El punto de acceso

- Tarjeta de Red Wireless
- Router

#### **2.4.1. Punto de acceso:**

Es el que permite la interconexión de todos los dispositivos de la red con el router son utilizados en la casa o en oficinas.

#### **2.4.2. Tarjeta de Red Wireless:**

También conocidas como adaptador de red, son tarjetas que sirven para enviar y recibir datos sin la necesidad de cables, esta tarjeta permite al usuario final conectarse en su punto de acceso más cercano.

#### **2.4.3. Router:**

Es el que permite interconectar dispositivos a un punto de acceso a Internet, se encuentra en el nivel de red del modelo OSI, su principal función es enviar datos de una red a otra.

### **2.5. Ventajas de la tecnología WIFI.**

Las redes inalámbricas están diseñadas para funcionar en bandas de frecuencia de 2.4 GHz y de 5GHz que no es necesario licencia de uso sus principales ventajas son:

- Conectividad inalámbrica no se necesita nada de cables.
- Libertad de movimiento y fácil reubicación donde el cableado es difícil de realizar.
- Fácil instalación y menor costo a comparación de una red cableada coaxial o de fibra óptica.

## 2.6. Desventajas de la tecnología WIFI.

En la tecnología WIFI no todo son virtudes también tienen sus desventajas al compararlas con las redes cableadas en estas podemos encontrar:

- Menor ancho de banda, la velocidad de transmisión se comparte dependiendo a cuantos usuarios estén conectados a la red WIFI.
- Seguridad se puede conectar a una red WIFI si no se toma las medidas de seguridad apropiadas.
- La señal puede presentar interferencias.

## 2.7. Estándar IEEE 802.16.

El estándar IEEE 802.16 mejor conocido como WIMAX es una tecnología inalámbrica de última milla que permite la recepción de datos por microondas y su retransmisión por ondas de radio brinda conectividad de varios kilómetros con velocidades de 50Mbps, dependiendo de obstáculos tales como árboles, edificios, ruido, interferencia y condiciones climáticas esta tecnología está orientada a transmisiones inalámbricas para áreas metropolitanas.

La tecnología WIMAX tiene dos modelos de uso las cuales son WIMAX fijo y WIMAX móvil. El primero está basado en la versión 802.16d del estándar IEEE 802.16 que está diseñada para servir como remplazo del DSL inalámbrico y competir con los principales proveedores de cable de banda ancha mientras que WIMAX móvil está basado en la versión 802.16E es una solución de banda ancha permitiendo la convergencia de redes fija y móvil a través de acceso de radio desplegada sobre una área extensa y su modo de transmisión es OFDM actualmente compite con tecnologías LTE.

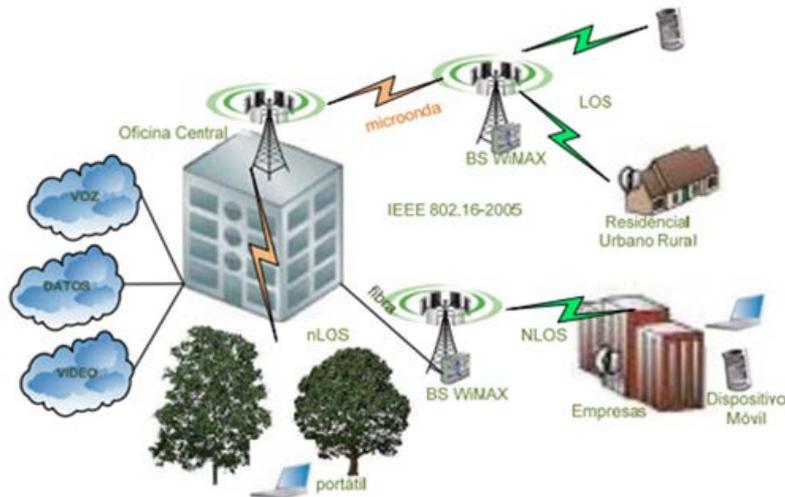


Figura 9. Modelos de uso Wimax. Tomado de (Bucalima, 2010, pág. 47)

## 2.8. Características de la tecnología WIMAX

Las principales características del estándar IEEE 802.16 son:

- Es una tecnología inalámbrica la cual puede llegar a distancias muy largar.
- WIMAX puede llegar a velocidades de hasta 75 Mbps dependiendo si el espectro está libre.
- En cuanto a seguridad WIMAX tiene autenticación de usuarios a través de algoritmos y encriptación de datos.

## 2.9. Ventajas de la tecnología WIMAX.

- Tiene la facilidad de aumentar más canales esto depende de la regulación de cada país.
- Costos de operación reducible.
- Es compatible con otros estándares como WIFI, Token Ring entre otros.
- Escalabilidad.
- WIMAX llega a lugares geográficamente en los que es difícil la comunicación y no disponen acceso de internet ADSL ni fibra óptica.

### **2.10. Desventajas de la tecnología WIMAX**

- La tecnología WIMAX solo se puede utilizar en lugares donde un operador proporcione cobertura y tenga antenas instaladas.
- La velocidad de banda ancha puede ser afectada y disminuida por interferencias.
- Aumento de repetidores debido a la línea de vista lo cual aumenta los costos.

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DE LA RED

#### 3.1. Ondas de radio.

Son oscilaciones propagadas en el vacío (espacio) en conjunto de un campo eléctrico y magnético, es decir, son ondas electromagnéticas que no están vinculadas a un medio, difundiéndose tridimensionalmente y a la velocidad de la luz.

Las ondas de radio muestran longitudes de onda bastante mayores que la luz visible, razón por la cual no se pueden ver, estando por todos lados, pues se utilizan considerablemente para las comunicaciones.

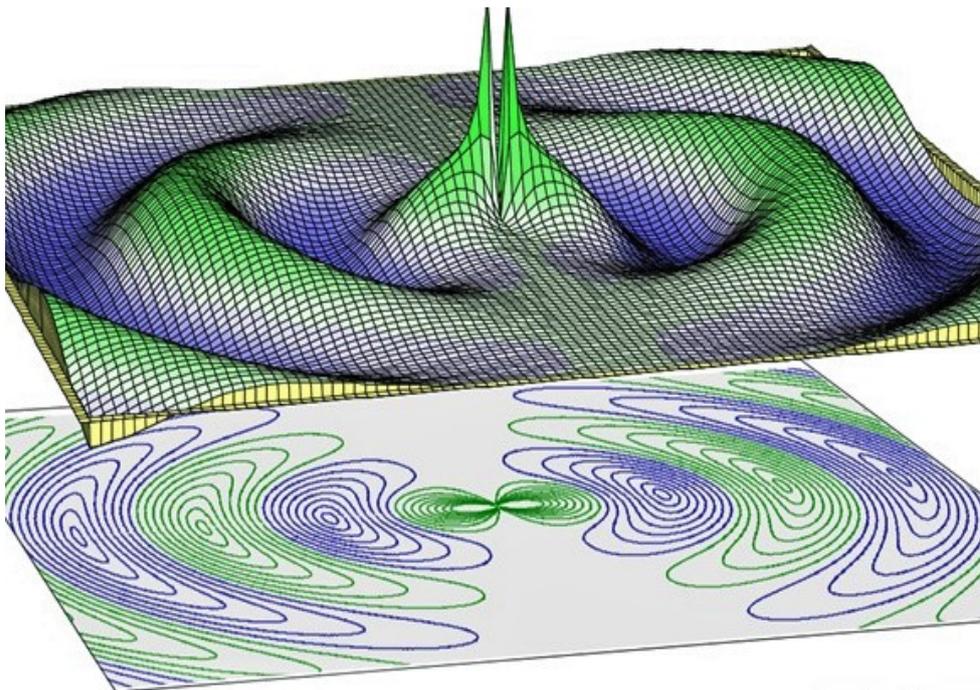
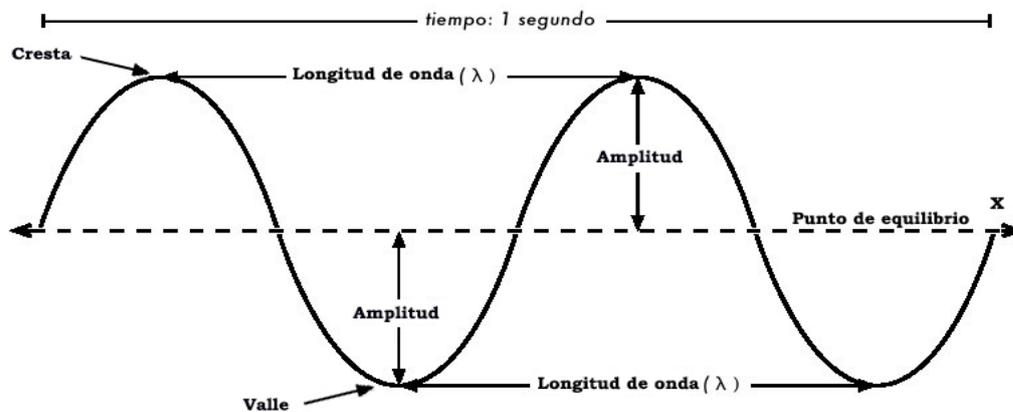


Figura 10. Ondas de radio. Tomado de (Didactic Hoy.com, 2017)

### 3.2. Elementos de una onda electromagnética.

- **Amplitud (A):** Es la distancia que existe entre el valor máximo (el punto más alto o bajo de la onda) y el punto de equilibrio.
- **Cresta:** Es el valor máximo positivo de la amplitud.
- **Valle:** Es el valor máximo negativo de la amplitud.
- **Punto de equilibrio:** Es donde la amplitud de la onda es 0, es decir, donde no existe alguna cresta o valle. Es el plano lineal **X**, del medio de propagación de la onda.
- **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** Es la distancia entre dos crestas o valles consecutivos.
- **Frecuencia:** Mide la cantidad de oscilaciones que se difunden en una unidad de tiempo. Se mide en rps (oscilaciones por segundo o hertz).
- **Ciclo:** Es una oscilación completa, como puede ser la curva entre dos crestas o valles.
- **Periodo:** Es el tiempo que tarda en pasar una onda completa, por un punto de referencia.



En este caso la frecuencia es 2 ciclos por segundo, o 2Hz.

Figura 11. Elementos de una onda electromagnética. Tomado de (Cáceres, 2017)

### 3.3. Espectro Electromagnético.

Es el rango de todas las frecuencias de ondas electromagnéticas, aunque se ha fijado convencionalmente por debajo de 3000 GHz. Dichas frecuencias se dividen en: luz visible, infrarroja, ultravioleta, rayos X, rayos gama, radiofrecuencia y microonda. Las frecuencias más utilizadas son las de radiofrecuencia, soportando una amplia gama de aplicaciones para las comunicaciones, como lo son: radio, televisión, internet, telefonía móvil, etc.

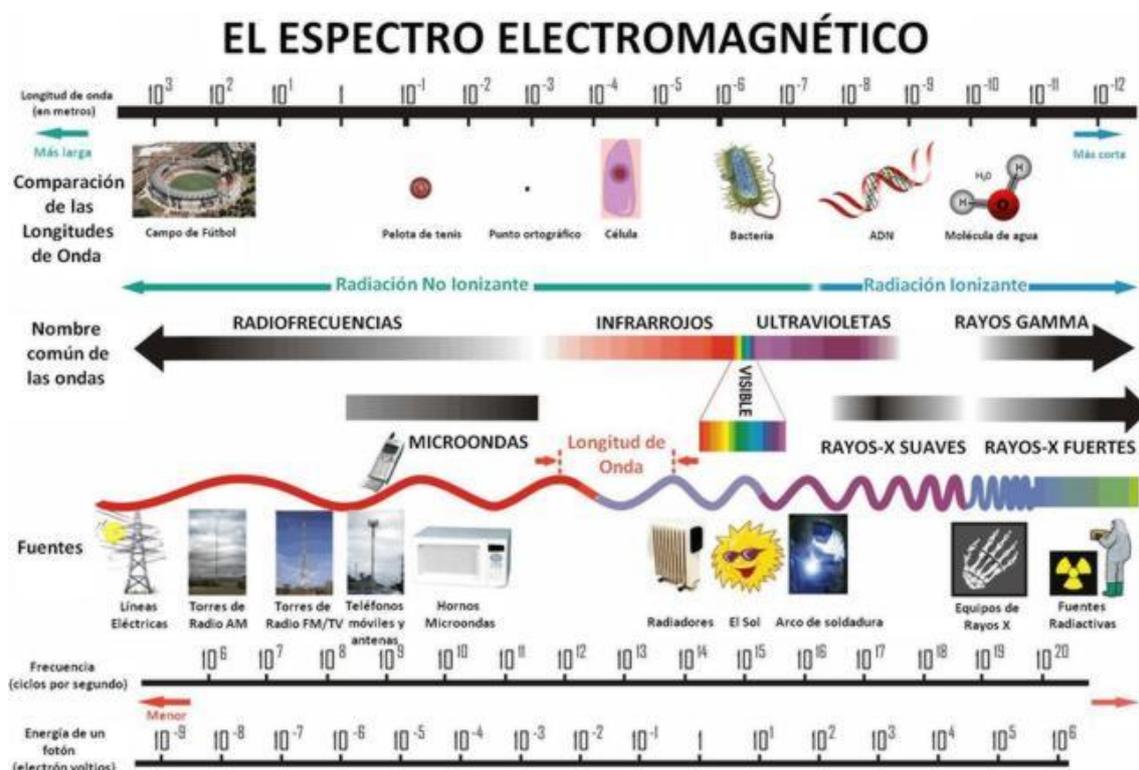


Figura 12. Espectro electromagnético. Tomado de (Abc.com, 2016)

### 3.4. Estación Base de Telecomunicaciones.

La estación base o sus siglas en inglés BS (Base Station) es una instalación fija de radio para una comunicación bidireccional, compuesta de una o más antenas (transmisión/recepción) y un conjunto de sistemas eléctricos y electrónicos, para el control de la transmisión y recepción de las señales de onda de radiofrecuencia y también de microonda.

Las estaciones base habitualmente se emplean como punto de acceso a una red de comunicación fija (como la internet o la red telefónica) permitiendo el enlace entre dispositivos, por ejemplo, teléfonos móviles, o computadoras portátiles con tarjeta WiMax/WiFi. La estación base también puede servir como puente de conexión entre dos o más estaciones base mediante enlaces de microonda.

La estructura física de una estación base por lo general está constituida por torres o postes de material metálico, que tienen una altura entre los 5 y 100 metros. Dichas estructuras sirven para fijar y direccionar las antenas que son un elemento radiante de ondas de radio. Es necesario mencionar que también existen estaciones bases instaladas en las terrazas o azoteas de edificaciones, en razón de aprovechar la altura, evitando la instalación de torres o postes, para montar las antenas.

Como es de conocimiento previo, las ondas de radio viajan por el vacío y al colisionar en su camino con obstáculos como, por ejemplo, edificios, montañas, arboles, etc, causa una pérdida de señal o degradación de la misma. Por tal razón, para evitar estas interferencias y cubrir zonas más amplias de cobertura de señal de radio, las antenas se colocan en lugares altos.



Figura 13. Estación base. Tomado de (Saladasinforma.com.ar, 2017)

### **3.5. Antenas en la tecnología WIMAX.**

Las principales antenas para la implementación de una red WIMAX y sus principales características son las siguientes:

- Antenas direccionales.
- Antenas sectoriales.
- Antenas omnidireccionales.
- Antenas tipo panel.

#### **3.5.1. Antenas direccionales**

Las antenas direccionales también conocidas como unidireccional o directiva orientan la señal hacia una sola dirección teniendo un largo alcance, pueden llegar hasta los 5 km de distancia.



Figura 14. Antenas direccionales. Tomado de (Cayro.webcindario, 2016)

### 3.5.2. Antenas sectoriales

Las antenas sectoriales tienen un ángulo de cobertura entre 60, 90 y 120 grados es la unión de las antenas omnidireccionales y las antenas direccionales se caracterizan por tener mayor alcance que las omnidireccionales.



Figura 15. Antenas omnidireccionales: Tomado de (Cayro.webcindario, 2016)

Las antenas omnidireccionales tienen un ángulo de cobertura de 360 grados permitiendo orientar la señal a todo lado haciendo posible el envío de información en todas las direcciones con menor alcance.



Figura 16. Antenas Omnidireccionales. Tomado de (Cayro.webcindario, 2016)

### 3.5.3. Antenas tipo panel:

Las antenas tipo panel se caracteriza por tener una ganancia de 14 y 24 decibelios con un ángulo de cobertura de 12 grados, estas antenas son usadas en enlaces punto a punto puede llegar hasta los 5 km de distancia.



Figura 17. Antenas tipo panel. Tomado de (Electronica teoria y práctica, 2012)

### 3.6. Ubicación y Coordenadas Geográficas de la Estación Base.

Se establece la ubicación exacta de la Empresa Teg-Tel, con los siguientes datos:

## TEG-TEL

Dirección: El Pangui 427 y S14C  
 Sector: El Pintado  
 Coordenadas Geográficas: Latitud -0.26037187, Longitud -78.53698566  
 Altitud: 2841.9 metros

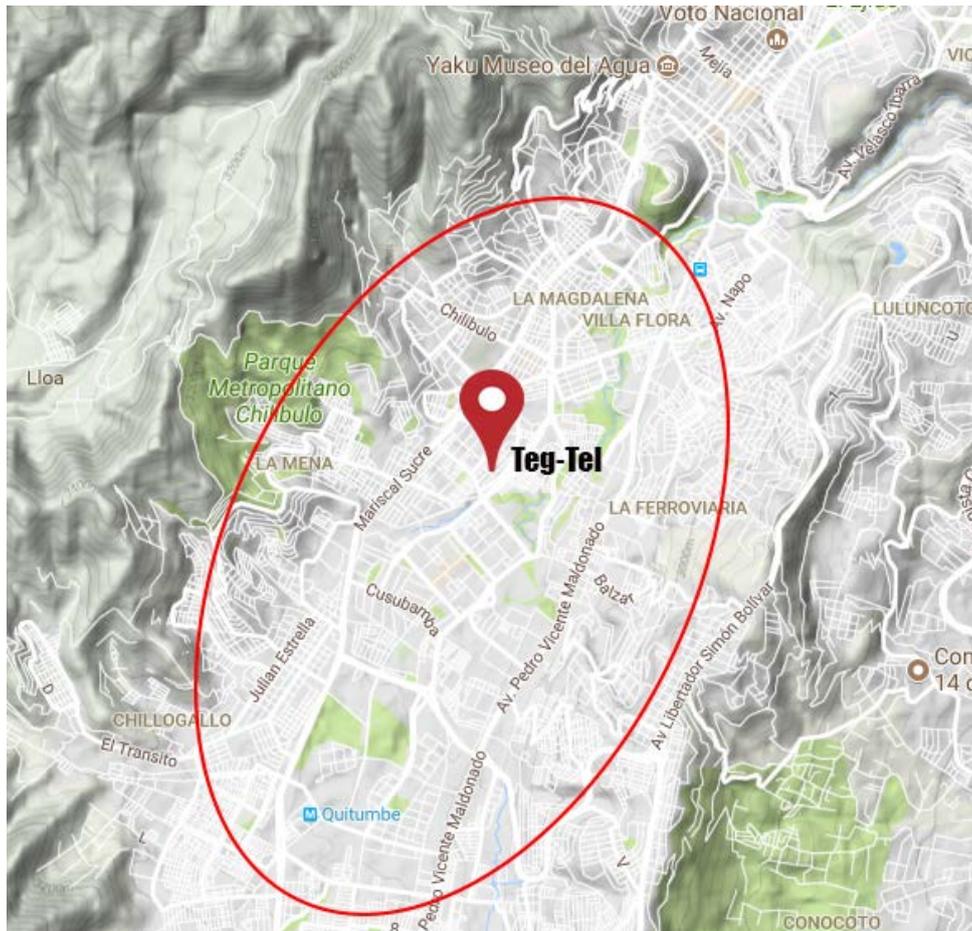


Figura 18. Ubicación de la Empresa TEG-TEL. Tomado de (Google Maps, 2017)

Se visualiza un mapa de la zona a implementar la red WIMAX - WIFI, contrastando las zonas sombreadas de los relieves de terreno. Ubicado el punto de la empresa TEG-TEL, se establece el área de cobertura que desea abarcar, para brindar sus servicios de conexión a internet.

La empresa TEG-TEL, ha prospectado una cartera de clientes corporativa fija, que requieren del servicio de conexión a internet.

Tabla 1

*Coordenadas geográficas y altura, exactas de la empresa TEG-TEL y abonados o clientes respectivamente.*

	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud
Teg-Tel	2841.9	-0.26037187	-78.53698566
Abonado 1	2813.4	-0.25246205	-78.52829403
Abonado 2	2813.9	-0.25139997	-78.52831676
Abonado 3	2806.1	-0.25571616	-78.52642658
Abonado 4	2818.3	-0.25717131	-78.52700185
Abonado 5	2829.8	-0.25678909	-78.53397828
Abonado 6	2828.7	-0.25653700	-78.53123703
Abonado 7	3009.8	-0.25962129	-78.51022080
Abonado 8	2998.1	-0.25749566	-78.50915730
Abonado 9	3088.8	-0.26138617	-78.50756407
Abonado 10	2949.9	-0.26063930	-78.51651179
Abonado 11	2890.0	-0.26714761	-78.52190169
Abonado 12	2877.8	-0.27130499	-78.52359283
Abonado 13	2986.4	-0.27841142	-78.52294507
Abonado 14	2836.1	-0.26105108	-78.53263985
Abonado 15	2881.2	-0.25775663	-78.54989926
Abonado 16	2894.5	-0.28342806	-78.55143453
Abonado 17	3004.7	-0.28882485	-78.53005574
Abonado 18	2860.0	-0.28220939	-78.53718492
Abonado 19	2868.9	-0.28201627	-78.53255677
Abonado 20	2963.0	-0.29373992	-78.53282779

### 3.7. Transferencia Efectiva (en inglés, Throughput)

Es la medida de utilización real de la conexión o enlace, es decir técnicamente, es el volumen de información que un componente de red puede desplazar en un periodo de tiempo. Cabe mencionar que es diferente al concepto de Ancho de Banda que tiene como diferencia, que es una medida de utilización de conexión o enlace tomando un máximo teórico.

Dentro del diseño de la red WIMAX se tiene una prospección de 20 clientes corporativos o usuarios, que requieren de servicios de conexión a internet, de los cuales algunos usuarios requerirán una capacidad de transmisión mayor a la habitual para la navegación de internet, ya que requieren servicios tales como, streaming o videovigilancia remota.

Tabla 2

*Thounghput requerido para la red WIMAX*

Servicio	Ancho de banda/servicio	Usuarios por servicio	Throughput
Navegación en internet	512-1024 Kbps	12	6-12 Mbps
Streaming y Video	1.5-2 Mbps	8	12-16 Mbps
		<b>Total</b>	<b>18–28 Mbps</b>

### 3.8. Escalabilidad

La red WIMAX a implementar debe proyectar el incremento progresivo de clientes, para que lo pueda soportar a futuro; razón por la cual la empresa TEG-TEL tiene establecida una tabla de proyección de incremento para los 6 años posteriores a la implementación de la red WIMAX.

Tabla 3

*Proyección anual de incremento (20%) de clientes de la empresa TEG-TEL.*

	2018	2019	2010	2021	2022	2023
<b>Usuarios- Navegación de internet)</b>	12	14	16	19	22	26
<b>Usuarios–Streaming y video</b>	8	10	12	14	17	20
<b>Total de Usuarios</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>46</b>

Tabla 4

*Proyección anual de Throunghput con respecto a la tabla de clientes*

	2018	2019	2010	2021	2022	2023
<b>Usuarios</b>	6-12	7-14	8-16	9,5-19	11-22	13-26
<b>512 - 1024 Kbps</b>	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps
<b>Usuarios</b>	12-16	15-20	18-24	21-28	25,5-34	30-40
<b>1.5 - 2 Mbps</b>	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps	Mbps
<b>Total de Mbps</b>	<b>18-28</b>	<b>22-34</b>	<b>26-40</b>	<b>30,5-47</b>	<b>36,5-57</b>	<b>43-68</b>
	<b>Mbps</b>	<b>Mbps</b>	<b>Mbps</b>	<b>Mbps</b>	<b>Mbps</b>	<b>Mbps</b>

### 3.9. Cálculos de Potencias de Radioenlace.

#### 3.9.1. P.I.R.E (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)

Es el valor de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica, para originar la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena.

$$\text{PIRE(dBm)} = \text{Pt(dBm)} - \text{Lc(dB)} + \text{Ga(dBi)}$$

- **Pt** = potencia de transmisión
- **Lc** = pérdidas del cable y conectores
- **Ga** = ganancia de la antena

#### 3.10. Pérdida en el espacio libre

Gran parte de la potencia de un radioenlace se perderá en el vacío de acuerdo con los principios de Huygens. La Pérdida en el espacio libre (**FSL**- Free Space Loss), mide la potencia que se disipa en el mismo sin ningún obstáculo. La

señal de una radiofrecuencia se atenúa en el vacío debido a la expansión dentro de una superficie esférica.

La pérdida en el espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y proporcional al cuadrado de la frecuencia. Denotando la fórmula en decibelios quedaría de la siguiente manera:

$$\text{FSL(dB)} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + k$$

- **d** = distancia
- **f** = frecuencia
- **k** = constante dependiendo de las unidades usadas en **d** y **f**

Si **d** se mide en kilómetros, **f** en MHz y el enlace usa antenas isotrópicas, la fórmula es:

- **FSL(dB) = 20log<sub>10</sub>(d) + 20log<sub>10</sub>(f) + 32,4**

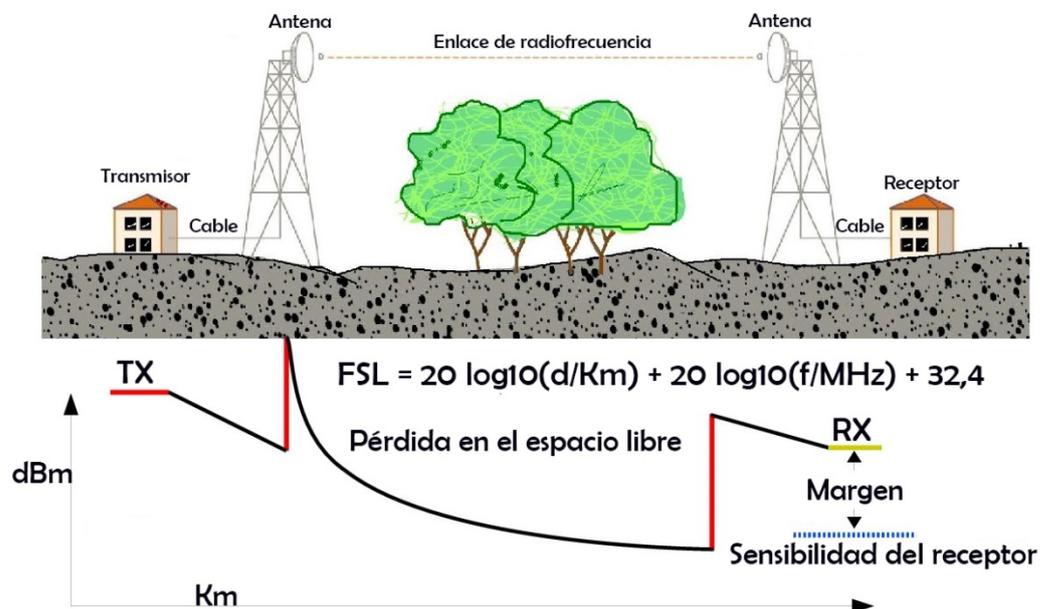


Figura 19. Pérdida en el espacio libre. Tomado de (slideplayer, 2017)

### 3.11. Indicador de fuerza de la señal recibida

El Indicador de fuerza de la señal recibida (**RSSI** - Received Signal Strength Indicator) es un valor de referencia, que muestra el nivel de potencia de señal recibida por un dispositivo de red inalámbrico.

Hipotéticamente un enlace es viable, siempre y cuando el RSSI sea al menos un valor de recepción igual al valor de la sensibilidad de recepción del dispositivo.

$$\text{RSSI(dB)} = \text{Pt(dBm)} - \text{LcTx(dB)} + \text{GaTx(dBi)} - \text{FSL(dB)} + \text{GaRx(dBi)} - \text{LcRx(dB)}$$

- **Pt** = potencia de transmisión
- **LcTx** = pérdidas del cable y conectores del transmisor
- **GaTx** = ganancia de la antena del transmisor
- **FSL** = pérdida en el espacio libre
- **GaRx** = ganancia de la antena del receptor
- **LcRx** = pérdidas del cable y conectores del receptor

### 3.12. Presupuesto de enlace de la red WIMAX

Como precedente, se sabe que la red WIMAX a implementar deberá tener un alcance de cobertura de un radio de hasta 7 kilómetros, tomando como punto central la ubicación de la empresa Teg-Tel. Por lo cual, para tener los datos referentes de la Potencia Radiada que se necesita para cubrir el área mencionada, es conveniente utilizar las fórmulas previamente vistas.

### 3.13. PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)

En **Pt** (potencia de transmisión) se utiliza un valor intermedio de **23 dBm** a razón que el estándar IEEE 802.16 tiene una limitación de un máximo de 30 dBm (1 W).

Para **Lc** (pérdidas del cable y conectores) se toma como referencia el uso de cable coaxial RG58 (utilizado comúnmente en radioenlaces WIMAX y WiFi) de 1,5 metros de longitud con conectores tipo N. Cabe mencionar que el cable coaxial RG58 tiene una atenuación de 1,77 dB por cada metro y los conectores N tiene atenuación de 0,2 dB por cada uno.

Para **Ga** (ganancia de la antena) se toma como referencia el uso de una antena de **18 dBi** comúnmente usado en las redes WIMAX.

#### Datos:

$$Pt = 23 \text{ dBm}$$

$$Lc = 1,5(1,77) + 2(0,2) \text{ dB}$$

$$Ga = 18 \text{ dBi}$$

$$\text{PIRE} = 23 \text{ dBm} - 3,05 \text{ dB} + 18 \text{ dBi}$$

$$\text{PIRE} = 37,95 \text{ dBm}$$

### 3.14. FSL (Pérdida en el espacio libre)

En **d** (distancia) se tiene como dato **7 Km**, a razón del área de radio de cobertura que se desea y se utilizará en **f** (frecuencia) dos valores diferentes, **3.4 Ghz** y **5 Ghz**.

#### **Frecuencia 3.4 Ghz**

#### Datos:

$$d = 7 \text{ Km}$$

$$f = 3400 \text{ MHz}$$

$$\text{FSL} = 20\log_{10}(7[\text{Km}]) + 20\log_{10}(3400[\text{MHz}]) + 32,4$$

$$\text{FSL} = 119,92 \text{ dB}$$

### **Frecuencia 5 Ghz**

Datos:

$$d = 7 \text{ Km}$$

$$f = 5000 \text{ MHz}$$

$$\text{FSL} = 20\log_{10}(7[\text{Km}]) + 20\log_{10}(5000[\text{MHz}]) + 32,4$$

$$\text{FSL} = 123,27 \text{ dB}$$

### **3.15. RSSI (Indicador de fuerza de la señal recibida)**

En **GaRx** (ganancia de la antena del receptor) y **LcRx** (pérdidas del cable y conectores del receptor) utilizaremos los mismos valores que los del transmisor ya que son típicos de uso en cuanto a las redes WIMAX.

### **Frecuencia 3.4 Ghz**

Datos:

$$P_t = 23 \text{ dBm}$$

$$\text{PIRE} = 37,95 \text{ dBm} \quad (\text{PIRE} = P_t - L_{cTx} + G_{aTx})$$

$$L_{cTx} = 3,05 \text{ dB}$$

$$G_{aTx} = 18 \text{ dBi}$$

$$\text{FSL} = 119,92 \text{ dB}$$

$$G_{aRx} = 18 \text{ dBi}$$

$$L_{cRx} = 3,05 \text{ dB}$$

$$\text{RSSI} = \text{PIRE}(\text{dBm}) - \text{FSL}(\text{dB}) + G_{aRx}(\text{dBi}) - L_{cRx}(\text{dB})$$

$$\text{RSSI} = 37,95 \text{ dBm} - 119,92 \text{ dB} + 18 \text{ dBi} - 3,05 \text{ dB}$$

$$\text{RSSI} = -67,02 \text{ dB}$$

### Frecuencia 5 Ghz

#### Datos:

$$P_t = 23 \text{ dBm}$$

$$\text{PIRE} = 37,95 \text{ dBm} \quad (\text{PIRE} = P_t - L_{cTx} + G_{aTx})$$

$$L_{cTx} = 3,05 \text{ dB}$$

$$G_{aTx} = 18 \text{ dBi}$$

$$FSL = 123,27 \text{ dB}$$

$$G_{aRx} = 18 \text{ dBi}$$

$$L_{cRx} = 3,05 \text{ dB}$$

$$\text{RSSI} = \text{PIRE(dBm)} - \text{FSL(dB)} + \text{GaRx(dBi)} - \text{LcRx(dB)}$$

$$\text{RSSI} = 37,95 \text{ dBm} - 123,27 \text{ dB} + 18 \text{ dBi} - 3,05 \text{ dB}$$

$$\text{RSSI} = -70,37 \text{ dB}$$

### 3.16. Análisis de viabilidad de estación base

Teniendo los datos, de las potencias necesarias para irradiar la zona de cobertura, se realiza un análisis con la ayuda de un software de simulación de radioenlace (Radio Mobile), que se detallará más adelante en el desarrollo del proyecto.

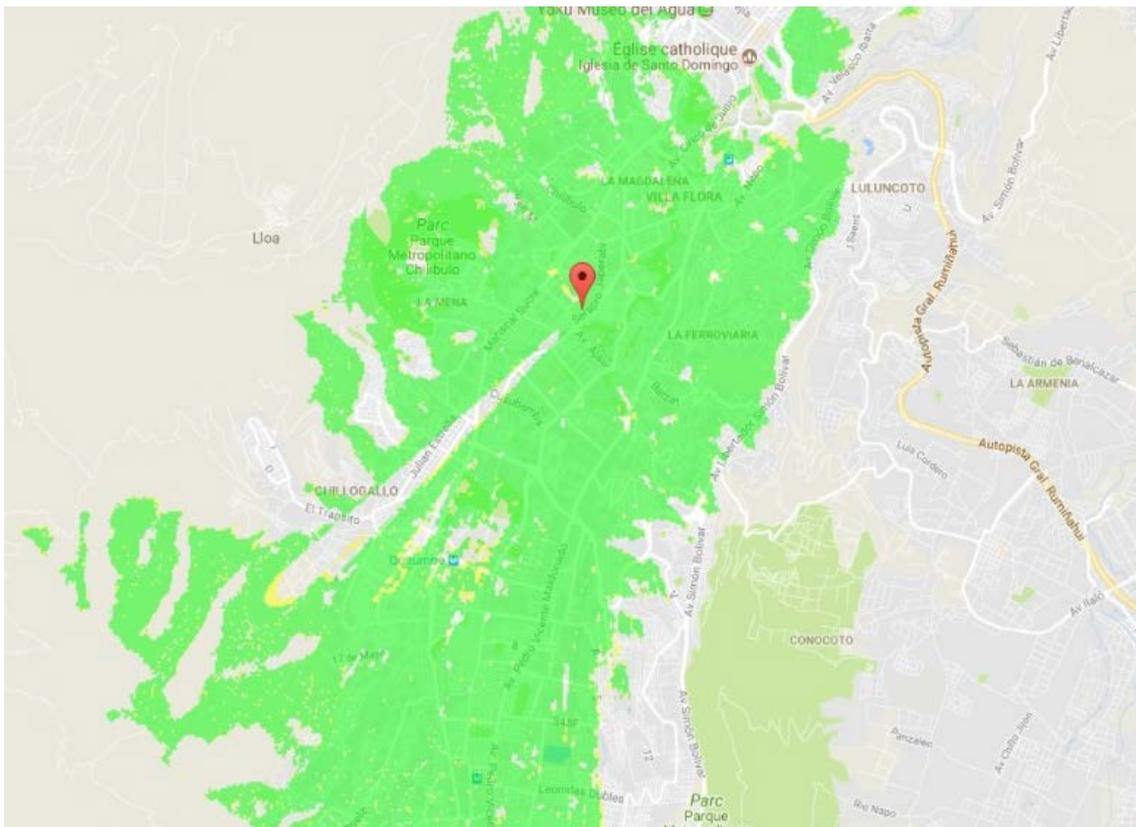


Figura 20. Simulación de área de cobertura. Tomado de (Radio Mobile, 2017)

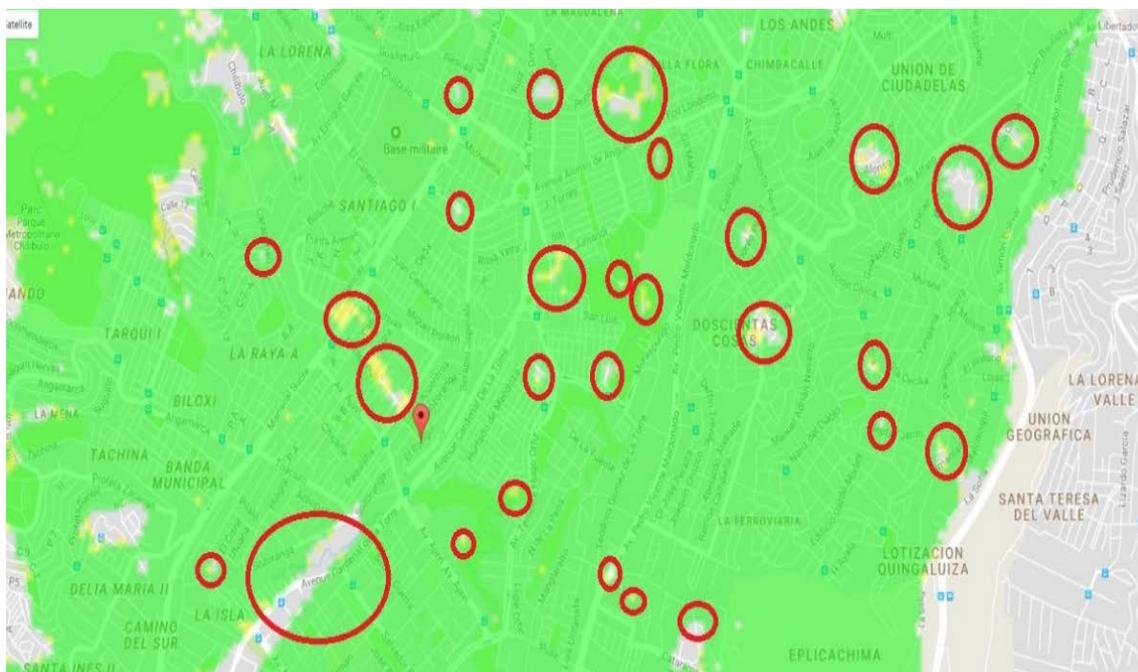


Figura 21. Simulación de área de cobertura. Tomado de (Radio Mobile, 2017)

Realizada la simulación, arroja una imagen que en color verde nos indica el área de cobertura del radioenlace, pero se nota a simple vista que dentro del área existe varias sombras o huecos de **no cobertura** considerables (se ha remarcado con círculos de contorno rojo), demostrando que el punto de la empresa TEG-TEL no es viable para el montaje de la estación base, ya que se sitúa en un lugar donde existe una depresión de terreno, además que los alrededores al punto, hay variaciones considerables de elevaciones de unos cuantos metros más, también tomando en cuenta que existen edificios, causando la degradación de la señal o pérdidas. Por tales motivos se toma como punto importante que la estación base de la red WIMAX debe estar en un lugar más alto, resaltando que el diseño de la red WIMAX a implementar, trabajará con Línea de Vista – LOS (Line of Sight).

Tomada la justificación previa, se localiza un lugar propicio para el montaje de la estación base (BS) de la red WIMAX. Estableciendo parámetros importantes como son, altura del lugar (sitio con mayor altura, en relación a los puntos de los clientes prospectados), punto que cubra un radio de 7 Km de cobertura equivalente al área de cobertura del punto de la empresa TEG-TEL, zona con poca congestión urbana, acceso vial al lugar y previo acuerdo con los propietarios del terreno para arrendamiento de 16 m<sup>2</sup> (área necesaria para la instalación de la estación base).

Posteriormente se da los datos de ubicación exacta de la estación base (BS) Chilibulo:

### **3.17. Estación Base BS-Chilibulo**

Coordenadas Geográficas:      Latitud -0.25005351, Longitud -78.55597972  
Altitud:                              2998.7 metros

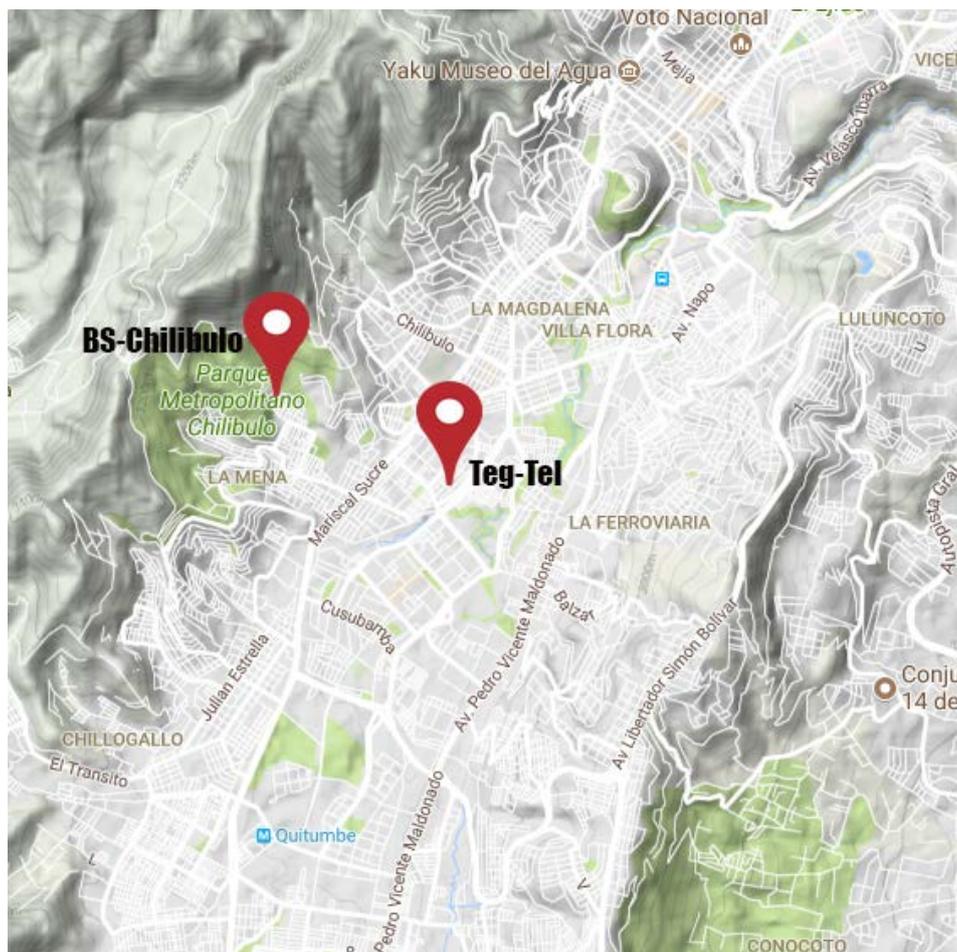


Figura 22. Ubicación exacta de la BS (Chilibulo). Tomado de (Google Maps, 2017)

### 3.18. Topología de la red

Se utilizará una topología tipo estrella, en la red WIMAX a implementar, con sistema FWA-Fixed Wireless Access (Bucle Local Inalámbrico), para la conexión entre la BS-Base Station (Estación Base) y los CPE-Customer Premises Equipment (Equipo Local del Cliente), respectivamente.

**FWA.** - Sistema de radiocomunicaciones, que se emplea para el suministro de enlaces de última milla, para usuarios finales de una red fija de telecomunicaciones.

### 3.19. Esquema de red WIMAX

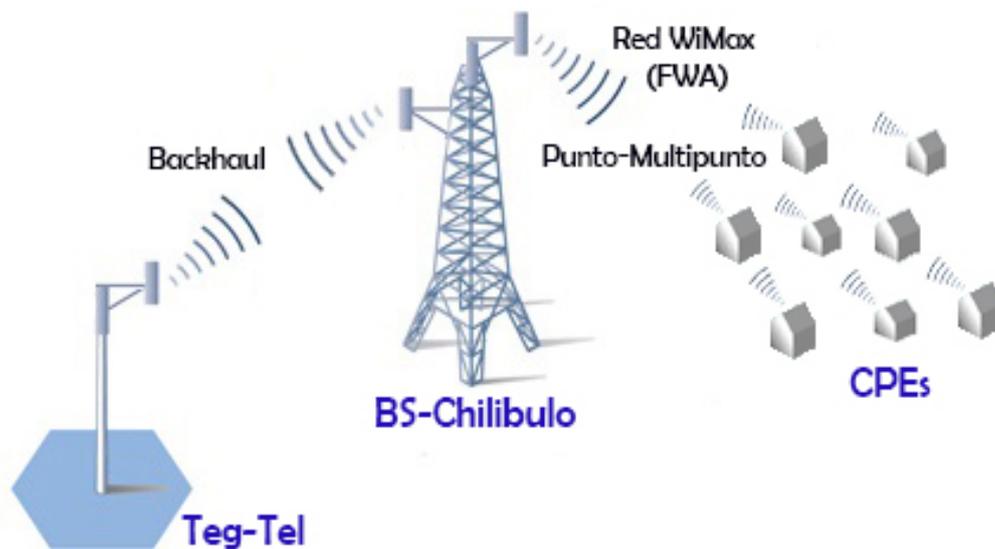


Figura 23. Esquema de red WIMAX.

### 3.20. Frecuencias a utilizar

La frecuencia de operación para el enlace Backhaul de tipo, punto a punto, se encuentra en la banda libre 5Ghz.

La frecuencia de operación para la red WIMAX se encuentra en la banda de 3.4 GHz. puesto que es posible transmitir a potencias altas sin limitaciones, para lo cual se necesita una licencia otorgada por la ARCOTEL. Dicha institución declara los requerimientos esenciales para usar la banda en sus reglamentos publicados, a continuación, se dará a conocer algunos puntos principales.

### 3.21. Reglamentos de telecomunicaciones en Ecuador

“Se detalla la razón técnica por la que se escoge la frecuencia 3.5 GHz, modificaciones al texto del Plan Nacional de Frecuencias”. (Arcotel, 2014)

Se puede operar mediante la concesión de una licencia en la banda de frecuencia de 3.5 GHz sin generar daños a otros Sistemas de comunicaciones, como por ejemplo señales satelitales. Plan nacional de frecuencias ecuador 2012 cuadro de atribución de frecuencias. (Arcotel, 2014)

Mediante el documento publicado la Ley N° 184 LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA, se describe normas que se deben considerar al momento de implementar Radio Bases FWA, se describe el sistema tarifario, ente otros aspectos sumamente importantes. (Arcotel, 2014)

La Resolución No. 017-02-CONATEL-2002 se constituye de normas para regular la prestación de los servicios de telecomunicaciones. (Arcotel, 2014)

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. (Arcotel, 2014)

### **Títulos habilitantes**

Para la prestación de un servicio de telecomunicaciones es necesaria la obtención de un título habilitante, la solicitud se ofrece de forma gratuita y consiste en lo siguiente:

El otorgamiento se lo realiza a los usuarios que cumplen con los requisitos legales, técnicos y económicos – financieros, según los formatos establecidos. El proceso de otorgamiento termina con la recepción del pago por derechos de concesión para los casos que aplique y la suscripción del acta de sujeción con la que el usuario acepta las condiciones estipuladas en el título habilitante y la aplicación del ordenamiento jurídico vigente. (Arcotel, 2017)

La administración se la realiza en atención a la solicitud presentada por los usuarios para esto deben cumplir con los requisitos legales y técnicos presentados acorde al tipo de solicitud según los formatos establecidos. El poseedor del título habilitante puede solicitar: cesión, transferencia, enajenación, extinción, modificaciones legales o técnicas del título habilitante. (Arcotel, 2017)

### **3.22. 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 10 MHz ya que permite un mayor rendimiento y se puede entregar servicios diferenciados que requieren elevado ancho de banda.

### **3.23. Equipos con tecnología WIMAX.**

Dentro de la tecnología WIMAX existen varios fabricantes a nivel mundial, que compiten a la par en el mercado de las redes de comunicación inalámbrica. Razón por la cual se ha puesto a comparación varios equipos de diferentes marcas detallando las características técnicas más sobresalientes para analizar las ventajas y desventajas de cada uno en cuestión al proyecto de implementación de la red WIMAX-WIFI de la empresa TEG-TEL.

ESTACION BASE (BS)		
MARCA	MODELO	DESCRIPCION
<b>Airspan</b>	<b>HiperMAX</b>	Equipo de gran capacidad y robusto en el mercado de las comunicaciones inalámbricas, tiene configuraciones como: BS full <u>outdoor</u> , BS full <u>indoor</u> y BS mixta operando a varias frecuencias del espectro 700 MHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz, 3.7 GHz, 4.9 GHz, la BS promete <u>QoS</u> por cada CPE por las funciones de gestión de recursos incorporada, tiene una opción muy poco habitual en equipos <u>WiMAX</u> la cual consta de puertos de fibra óptica que funciona a una velocidad de hasta 3.1 <u>Gbps</u> conectados a cables de fibra óptica con capacidad para transportar hasta 10 <u>Gbps</u> para una futura expansión, condición para evitar un enlace <u>PtP Backhaul</u> reduciendo los costos que este enlace conlleva
	<b>MicroMAX</b>	Este modelo de Estación Base brinda soluciones a clientes corporativos que requieren únicamente infraestructuras cableadas, descartando interconexiones inalámbricas a 2.4 GHz como <u>Wi-Fi</u> , esta aplicación se da en Bancos públicos y privados, Farmacias, entre otros. La configuración principal de la BS es fija, full <u>outdoor</u> , es decir para exteriores. Al ser una BS básica realmente no soporta altas densidades de tráfico, ideal para el acceso de banda ancha rural, funciona en bandas con licencia (700 MHz, 1.4 GHz, 1.5 GHz, 1.9 GHz, 2.3 GHz, 2.5 GHz, 2.8 GHz, 3.3-3.8 GHz TDD and FDD, 4.9 and 5.9 GHz) y bandas no licenciada (5.1, 5.4 and 5.8 GHz), dando al operador opciones de implementación.

	<b>AXS-BS-430-N</b>	<p>Actualmente el mejor equipo para WISP, contiene cuatro canales radio independientes de 140 Mbps cada uno, brinda <u>QoS</u> por CPE en cinco niveles (BE, <u>nRTPS</u>, <u>eRTPS</u>, RTPS, UGS) manteniendo colas independientes por cada servicio. Minimiza el uso espectral y proporciona la mejor protección ante interferencias por el uso de canales muy estrechos, ARQ y TBIM.</p> <p>Totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes al cumplir con el estándar IEEE802.16 y la frecuencia de 3.5 GHz. La ventaja de disponer de GPS integrado para los operadores con redes ampliamente desplegadas es el rápido y fácil acceso de la ubicación exacta del equipo.</p> <p>140 Mbps (Ráfaga 64QAM-3/4) aplicando canales de 10 MHz</p>
<u>Alvarion</u>	<b><u>BreezeMAX®</u> Extreme 3600</b>	<p>El equipo trabaja en la banda de 3.6 – 3.8 GHz, puede ser interoperable y tiene certificación de <u>WiMAX</u> fórum. Está diseñado para un alto uso de acceso a internet así también como para video vigilancia y servicios en tiempo real. La máxima potencia de transmisión es de 17 a 30 <u>dBm</u>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas avanzadas para antenas MIMO A/B y MRRC con un ancho de canal máximo de 2x10MHz.</li> <li>• Diseñado con las técnicas OFDMA y corrección de errores de codificación.</li> <li>• Consta de un analizador de espectro integrado y es el mejor en cuanto el tipo de enlace NLOS.</li> </ul>
	<b><u>BreezeMAX®</u> Extreme 3650</b>	<p>Consta de una antena integrada, puerta de enlace ASN y un receptor GPS. Esta creada para reducción de costos, tiene una configuración fácil y es auto sostenido de los ecosistemas, útil para empresas de prestación de servicios. Soporta modulaciones QAM 16/64.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antena <u>outdoor</u> y fácil de instalar, soporta una antena MIMO A/B para el incremento de la cobertura.</li> <li>• La seguridad en cuanto a la conectividad es</li> </ul>

<b>Aperto Networks</b>	<b>PacketMAX5000</b>	<p>Es un equipo que trabaja bajo frecuencias licenciadas y no licenciadas, es compatible con bandas de 3.3GHz, 3.5GHz, 3.65GHz y 5.6GHz, además tiene para alojar 12 sectores inalámbricos, consta de una sensibilidad de -96dBm.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de administración remota completa con software especializado por consola.</li> <li>• Tiene alta redundancia, y puede establecerse en varios sectores.</li> </ul> <p>Video y datos de aplicaciones de ancho de banda que requieren baja latencia y performance predecibles.</p>
	<b>PacketMAX3000</b>	<p>Es un equipo que conviene para incrementar una red, puesto que se puede tratar servicios de voz, datos y multimedia, al igual que el <u>PacketMAX 5000</u> opera en diferentes bandas y trabaja con línea de vista o sin línea de vista. El PacketMAX3000 es un punto de acceso inalámbrico eficaz para cientos de unidades de abonados activos simultáneamente sirven tanto para aplicaciones interiores y exteriores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consta de una unidad <u>indoor</u> que realizar funciones de red IP, red de retorno, y de control de radio.</li> </ul> <p>Y una unidad <u>outdoor</u> que tiene un espectro de radio específico y una antena que se conecta a la unidad <u>indoor</u> a través de cable coaxial.</p>
<b>Mercury Networks</b>	<b>Mercury Quantum 6600</b>	<p>Solución completa para entregar cobertura en 360°, cuenta con tres antenas de 2x2 posibilitando el despliegue más flexible disponible en el mercado, la configuración de estas antenas depende de los requerimientos del operador teniendo en cuenta que solo puede ocupar el canal de 10 MHz, se puede optar entre 180° o 270°, esto crea una superposición de antenas para aumentar el radio celular por ende mejora considerablemente la cobertura en condiciones NLOS y perfecciona el balance de los enlaces. Como conclusión se reduce significativamente la cantidad de Estaciones Base necesarias para servir a una propuesta área.</p>

EQUIPO LOCAL DE CLIENTE (CPE)		
MARCA	MODELO	DESCRIPCION
<u>Airspan</u>	<u>EasyST-2/EasyWiFi</u>	Es una solución estándar en la que ambos dispositivos se interconectan para poder brindar conectividad al usuario, EasyST-2 puede ser utilizado únicamente para infraestructuras cableadas adicionando un <u>Switch</u> y opera en frecuencias de 700 MHz a 5.95 GHz Full indoor sin Línea de Vista (NLOS), se complementa con <u>EasyWiFi</u> para brindar un punto de acceso omnidireccional mediante IEEE 802.11b/g.
	<u>ProST</u>	Funciona como antena exterior sin Línea de Vista, comprende una arquitectura de dos partes, la Unidad Exterior (ODU), para la recepción de la señal <u>WiMAX</u> en la banda de frecuencia establecida por el operador y un Adaptador de Datos del Suscriptor (SDA) que entrega cobertura <u>WiFi</u> 802.11b/g. Para <u>VoIP</u> se requiere de equipos adicionales como SDA-MSG o SDA- <u>WiFi</u> .
	<u>ProST-WiFi</u>	Contiene unidades de acceso híbrido, es compatible con IEEE 802.11b/g para crear un punto de acceso inalámbrico <u>WiFi</u> al aire libre y <u>WiMAX</u> de <u>Backhaul</u> , dependiendo de las concesiones entre usuario y operador. Es un excelente instrumento para el despliegue de Hot-Zones <u>WiFi</u> .
<u>Albentia System</u>	<u>AXS-CPE130-RS</u> <u>AXS-CPE130-N</u> <u>AXS-CPE130-16</u> <u>AXS-CPE130-20</u>	Opera en la banda de 3.3-3.9 GHz, CPE de uso residencial de bajo costo, funcionalidades avanzadas Home-Gateway para enlaces de fibra óptica, totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes. Se puede realizar enlaces mayores a 20 Km. <u>QoS</u> garantizada al tener ilimitado número de servicios con colas independientes por servicio en cinco niveles, esto definido entre usuario-operador. Posee un conector N

<b>Aperto Networks</b>	<b>PacketMAX 320</b>	<p>Este CPE tiene un sistema que soporta más de 1.000 abonados y para diferentes aplicaciones sean como descargas, VoIP, multimedia y web. El equipo está diseñado para los clientes empresariales que puedan tener beneficios a menor costo, acceso inalámbrico de banda ancha sin la complicación y el gasto de servicio de la línea telefónica. Me permite establecer VLAN's a nivel de capa 1,2, 3 y 4.</p> <p>Para el uso como WiFi se tendría que colocar un modem el cual se conecte el cable Ethernet que baja del PacketMAX 320 y así distribuir a todo un sector.</p>
<b>Alvarion</b>	<b>BreezeMAX® PRO 2000</b>	<p>Son unidades de acceso híbridos que permiten una alta cobertura y rendimiento de datos. Las características que ofrece es una alta sensibilidad de recepción, gestión de calidad de servicio, configuración WiFi, gestión de fallos y VoIP. La frecuencia de operación se encuentra entre 2.3, 2.5 y 3.5 GHz.</p>
	<b>BreezeMAX® Si 2000</b>	<p>Al igual que el modelo 1000 puede trabajar sin línea de vista y a su vez es un equipo indoor, consta de varios puertos y viene incluida una tarjeta WiFi pero solo operable en la banda de 3.5GHz. La ventaja es que se puede colocar una tarjeta de red inalámbrica para operar en bandas de 2.4 GHz. La VoIP puede tener el protocolo SIP v2, consta de transferencia de llamadas, llamadas en espera, bloqueo y desvío de llamadas.</p>
<b>Mercury</b>	<b>QTS-ODU X4G CPE</b>	<p>Dispositivo de usuario final de alto rendimiento y capacidad, utiliza antenas inteligentes con patrón de radiación dinámico evitando al operador buscar las frecuencias con mayor disponibilidad. Contiene un puerto de datos con firewall integrado que proporciona una efectiva solución de seguridad para los usuarios.</p>

<b>Green Packet</b>	<b>WiMAX Indoor IAD Modem</b>	<p>Dedicado a usuarios residenciales y SOHO (Small Office-Home Office), es un compacto producto que brinda la solución híbrida inalámbrica entre <u>WiMAX/Wi-Fi</u>, recibe señales inalámbricas <u>WiMAX</u> a 3.5 GHz y transmite bajo el estándar 802.11 b/g/n a 2.4 GHz posibilitando la conexión de varios dispositivos en una amplia cobertura, la modulación adaptativa permite tener varias tasas de transmisión dependiendo de diversos factores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 - 9 Mbps para QPSK</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 - 18Mbps para 16QAM</li> <li>• Sobre los 20 Mbps para 64QAM</li> </ul> <p>El modelo CPE adaptable para el diseño de red es IDU DX 350, características convenientes e inmejorables para el acceso a Internet, <u>QoS</u> y <u>VoIP</u>.</p>

Figura 24. Detalle de equipos. Tomado de (Albentia-systems)

Después de realizar el análisis respectivo, de acuerdo al diseño de la red y los servicios a proveer a los abonados, se decide utilizar equipos de la marca ALBENTIA SYSTEMS, ya que brinda todos los puntos tomados a consideración y también destacando que la Empresa ha ganado mercado en los últimos años a nivel mundial, gracias a la capacidad y fiabilidad de los equipos que fabrican y comercializan.

### 3.24. Radioenlace BACKHAUL

#### 3.24.1. Equipo LNK-LU-350-23 (Albentia Systems)

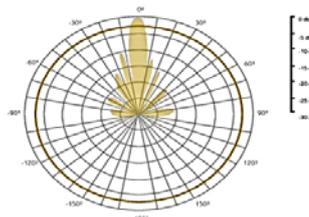
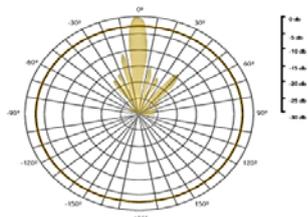
Es el radioenlace punto a punto de gama profesional de Albentia Systems en la banda libre de 5GHz. El equipo ofrece una capacidad neta de 180 Mbps y bruta de 300 Mbps, permitiendo un mayor aprovechamiento del espectro y reutilización de frecuencias.

Este equipo posee de control automático de potencia (ATPC) que permite un despliegue óptimo de la red, la reutilización de frecuencias próximas y evita interferencias. Esta solución concentra potentes mecanismos para garantizar

una comunicación fiable. Incluye, asimismo, autenticación, ARQ, cifrado AES128 y una robusta modulación adaptativa, así como mecanismo de detección de errores. Su elevada velocidad de procesamiento lo convierte en una solución óptima para aplicaciones profesionales en tiempo real, como VoIP o transporte de vídeo.

### Especificaciones técnicas

PARÁMETROS RADIO		GESTIÓN	
Rango de frecuencias	5150-5915 MHz	Interfaces de gestión	HTTP / HTTPS / SSH / SFTP/SNMP v1/2/3
Modulación	OFDM, MIMO 2x2 IEEE 802.11n	<b>FUNCIONALIDADES DE LA RED</b>	
Ancho de banda de canal	40 / 20 MHz	Funcionalidad de red capa 2	Bridging (802.11), VLAN (802.1q), ISL, MPLS
Modulación adaptativa	BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM	Funcionalidad de red capa 3	N/A
FEC	Reed-Solomon y convolucional	Interfaz de datos	10/100/1000 Base-T
Método de duplexación	TDD (Multiplexación por división en el tiempo)	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
División uplink/downlink	Dinámica	Dimensiones	360 x 350 x 110 mm (embalado)
Antena	Integrada 2.3dBi Doble polarización Apertura vertical: 12° Apertura horizontal: 12°	Peso	3 kg (herraje incluido)
Sensibilidad	-94 dBm / -72 dBm	Alimentador PoE (no incluido)	Entrada: 100-240VAC 50/60Hz, salida 48VDC (Opción Entrada DC: 10-30 VDC; 6.36-7.2 VDC)
P.I.R.E.	5150 - 5250 MHz 23dBm 5250 - 5350 MHz 30dBm 5470 - 5725 MHz 30dBm 5725 - 5850 MHz 36dBm	Consumo de potencia	< 10 W (100% tráfico)
<b>TRÁFICO Y THROUGHPUT</b>		Rango de temperatura operación	De -30 °C a +55 °C (ambiente)
Máxima tasa de transferencia bruta	300 Mbps	<b>ESTÁNDARES</b>	
Tráfico Ethernet agregado	180 Mbps	Protocolo	Proprietario
Máximo PPS	60000	Radio	ETSI EN 301 893 V1.5.1 (5GHz), ETSI EN 302 502 V1.2.1 (5.8GHz), ETSI EN 302 326-2
Soporte de ARQ	Sí	Entorno	ODU: protección (IP67), ETSI EN 60950-1:2006 (seguridad), IEC 61000-4-2 (ESD), IEC 61000-4-5 (Surge)
Cifrado	AES128	EMC	ETSI EN 301489-1 V1.8.1 (compatibilidad electromagnética), ETSI EN 50385 (2002) (SAR), ETSI EN 50385 (EMF)



Todos los productos de Alentia Systems están diseñados y fabricados en la Unión Europea

DATASHEET DE PRODUCTO LNK-LU-350-23

**alcentia**  
systems

Alentia Systems S.A.  
C/ Margarita Salas, 22 - 28918 Leganés - Madrid (ESPAÑA)  
Tel: +34 91 440 0213  
Fax: +34 91 327 4362  
E-mail: sales@alcentia.com

www.alcentia.com

Las especificaciones anteriores están sujetas a cambios y se muestran a modo de información. Alentia Systems se reserva el derecho de hacer cambios en las especificaciones y apariencia de los productos descritos en este documento en cualquier momento y sin aviso. © Abr 2015 Alentia Systems SA

Figura 25. Especificaciones técnicas. Tomado de (Alentia.com, 2017)

### **3.25. EQUIPO BS-CHILIBULO WIMAX**

#### **3.25.1. Equipo AXS-BS-430-N (Albentia Systems)**

La Estación Base AXS-BS-430-N ha sido diseñada para proporcionar cobertura y gran capacidad en redes de acceso en la banda de 3.4GHz, multiplicando la capacidad de la estación base AXS-BS-130. Provee hasta 140Mbps netos utilizando 4 canales radio independiente de hasta 10 MHz, y ofrece una QoS equivalente a las redes de cable (HFC).

Se trata de un equipo full-outdoor de bajo consumo, alta capacidad, muy compacto, y con una gran capacidad de procesamiento. La estación base AXS-BS-430-N minimiza el uso espectral y provee la mejor protección ante interferencias gracias al uso de canales muy estrechos, ARQ y TBIM entre otros mecanismos. Además, es totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes al cumplir con el estándar IEEE802.16-2012, lo que protege la inversión del operador.



### **3.25.2. Antena sectorial 60 grados de 3,4 GHz y 18 dBi**

Antena sectorial de ganancia 18 dBi y frecuencia operativa de 3,4 GHz. Fabricada en plástico ABS de alta resistencia. Posee herrajes para fijación al mástil que otorga la orientación apropiada de la antena.

#### Especificaciones

- ✓ Frecuencia de operativa: 3400 a 3600 MHz.
- ✓ Ganancia: 18 dBi.
- ✓ VSWR:  $\leq 1,5$ .
- ✓ Ángulo de radiación horizontal:  $60^\circ$ .
- ✓ Ángulo de radiación vertical:  $7^\circ$ .
- ✓ Ratio F/B:  $> 25$  dB.
- ✓ Polarización: Vertical.
- ✓ Impedancia: 50 Ohm.
- ✓ Potencia máxima de entrada: 100 W.
- ✓ Conector: N hembra integrado en la parte posterior de la antena.
- ✓ Tamaño de la antena: 700 x 160 x 70 mm.
- ✓ Peso: 3,6 Kg.
- ✓ Diámetro del mástil de montaje: 40 a 70 mm.
- ✓ Velocidad máxima del viento: 241 Km/h.

### **3.26. EQUIPO CPE WIMAX**

#### **3.26.1. Equipo AXS-CPE130-20 (Albentia Systems)**

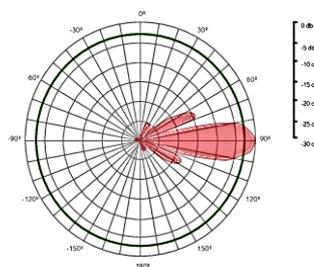
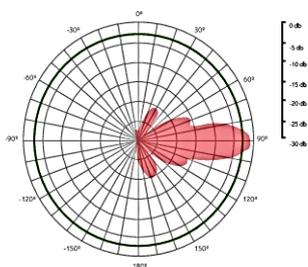
El terminal de usuario AXS-CPE130-20 ha sido diseñado por Albentia Systems para cubrir las necesidades de despliegue en redes de acceso inalámbrico en la banda de 3.3-3.4GHz.

Se trata de un CPE de uso residencial de bajo coste y fácil instalación, que permite al operador ofrecer servicios equivalentes a los de las redes de acceso cableadas. Basado en el estándar IEEE802.16-2012, es totalmente interoperable con equipos de otros fabricantes.

Con funcionalidad de Home-Gateway, ofrece una interfaz web de fácil configuración para el usuario final y permite ahorrar costes al eliminar la necesidad de un router doméstico.

## Especificaciones técnicas

PARÁMETROS RADIO		NETWORKING Y SEGURIDAD	
Banda de trabajo	3300-3900 MHz	Funcionalidad de red capa 2	Bridging (IEEE 802.11), PPPoE cliente
Salto de canal	1MHz	VLAN	802.1q, 802.1p, soporte q-in-q, ilimitadas VLANs
Capacidad neta agregada	35Mbps	Funcionalidad de red capa 3	Routing dinámico/estático, NAT, DHCP servidor/cliente
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz	Cifrado	AES128/256
Eficiencia espectral neta	3,5bps/Hz	Latencia	5ms
Sensibilidad BPSK	-92dBm @ 10MHz -99dBm @ 1.75MHz	Certificados X.509	Sí
Sensibilidad 64QAM	-75dBm @ 10MHz -82dBm @ 1.75MHz	Interfaz de datos	Ethernet 10/100 Base T
Máx. potencia de Tx	23dBm	Tamaño máx. paquete	2048 bytes
Antena	20dBi integrada	<b>GESTIÓN</b>	
Modulación	OFDM de 256 portadoras	Local	Puerto para ACC-HU, Serie
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)	Remota	Web, SSH, XML-RPC, SNMP v1, 2 y 3
FEC	Sí, Reed-Solomon concatenado con código convolucional	Avanzada	Soporte canal SMC, doble IP datos/gestión
DFS	Sí	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	
Downlink/Uplink	Desde 100/0 hasta 0/100	Dimensiones	370 x 335 x 100 mm (embalado)
Acceso al medio	TDMA síncrono con implementación hardware	Peso	2,80 kg
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)	Alimentador PoE (no incluido)	Entrada 110-240 VAC 50/60Hz Salida 24VDC (Opción entrada DC 10-24 VDC)
<b>CALIDAD DE SERVICIO (QoS)</b>		Consumo de potencia	< 4.5 W
Control de QoS	Colas independientes por servicio. 5 niveles de QoS (BE, nRTPS, eRTPS, RTPS, UGS)	Rango de temperatura	De -30°C a +55°C (ambiente, en operación)
Diferenciación de servicios	Capa 2: Dirección MAC origen/destino, EtherType, etiqueta VLAN/PPPoE Capa 3: DSCP ToS, dirección IP origen/destino, subred, protocolo Capa 4: Puerto TCP o UDP origen/destino	<b>ESTÁNDARES</b>	
Número máx. servicios	Ilimitados	Protocolo de acceso al medio radio	IEEE 802.16-2012
		Radio	ETSI EN 302 326-2
		Entorno	ODU: IP67 (protección), ETSI EN 60950-1:2006 (seguridad), IDU: IEC 61000-4-2 (ESD), IEC 61000-4-5 (Surge)



Todos los productos de Albenitia Systems están diseñados y fabricados en la Unión Europea

DATASHEET DE PRODUCTO AXS-CPE130-20

**albenitia**  
systems

Albenitia Systems S.A.  
C/ Margarita Salas, 22 - 28918 Leganés - Madrid (ESPAÑA)  
Tel: +34 91 440 0213  
Fax: +34 91 327 4362  
E-mail: sales@albenitia.com

www.albenitia.com

Las especificaciones anteriores están sujetas a cambios y se muestran a modo de información. Albenitia Systems se reserva el derecho de hacer cambios en las especificaciones y apariencia de los productos descritos en este documento en cualquier momento y sin aviso. © Jun 20 15 Albenitia Systems SA

Figura 27. Especificaciones Técnicas. Tomado de (albenitia.com, 2017)

### 3.27. EQUIPO WIFI USUARIO FINAL

#### 3.27.1. Equipo Access Point N TL-WA901nd (Tp-Link)

El punto de acceso inalámbrico TL-WA901ND de TP-LINK diseñado para montar o ampliar una red inalámbrica N de alta velocidad escalable o para enlazar varios dispositivos Ethernet tales como: consolas de videojuegos, reproductores multimedia, impresoras o dispositivos de almacenamiento en red a una red inalámbrica. El TL-WA901ND soporta una extensa gama de funcionalidades que aumenta el nivel de flexibilidad de su red.

Tabla 5  
*Especificaciones Técnicas*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
<b>Interfaz</b>	Un puerto Ethernet 10/100 Mmps (RJ45) Soporte para PoE pasivo			
<b>Botones</b>	Botón de configuración rápida de seguridad (Quick Setup Security) Botón de reset			
<b>Consumo de Potencia</b>	5.8W			
<b>Fuente de Alimentación Externa</b>	9VDC / 0.85A			
<b>Estándares Inalámbricos</b>	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b			
<b>Dimensiones</b>	7,67*5,12*1,43 pulgadas (194.82*129.93*36.2mm)			
<b>Tipo de Antena</b>	3 de 5 dBi, desmontable omnidireccional (RP-SMA)			
<b>Frecuencia</b>	2.4-2.4835GHz			
<b>Tasa de Señal</b>	11n:	Hasta	300Mbps	(dinámico)
	11g:	Hasta	54Mbps	(dinámico)
	11b:	Hasta	11Mbps	(dinámico)
<b>Sensibilidad de Recepción</b>	270M:	-68dBm	10%	PER
	130M:	-68dBm	10%	PER
	108M:	-68dBm	10%	PER
	54M:	-68dBm	10%	PER
	11M:	-85dBm	8%	PER
	6M:	-88dBm	10%	PER
	1M:	-90dBm	8%	PER
<b>Potencia de Transmisión</b>	<20dBm(EIRP)			
<b>Modos Inalámbricos</b>	Punto de acceso/múltiples SSID/cliente punto de acceso/repetidor/ Repetidor universal/bridge+punto de acceso			
<b>Funciones Inalámbricas</b>	Activación/desactivación señal inalámbrica, bridge WDS,			
<b>Seguridad Inalámbrica</b>	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2,WPA-PSK / WPA2-PSK			
<b>DHCP</b>	Servidor DHCP			
<b>Calidad de Servicio</b>	WMM			
<b>Gestión</b>	SNMP			
<b>Funciones Avanzadas</b>	Soporte PoE hasta 30 metros			

### 3.27.2. Esquema y Composición de Estación Base Chilibulo

Como punto de partida se estableció una área de 16 m<sup>2</sup>, para el montaje de la Estación Base, la que constará con los siguientes elementos y o sistemas, necesarios para el funcionamiento correcto y seguridad de la Estación Base, al igual de cumplir con los requerimientos solicitados por la entidad reguladora Estatal, para la emisión de los respectivos permisos:

- Cerco de malla de alambre para área de 16 metros cuadrados.
- Torre arriostrada de 30 metros con sus respectivos anclajes.
- Sistema de pararrayos y puesta a tierra.
- Luces de señalización.
- Gabinete o armario de servicio pesado para exterior.
- Baterías de respaldo de energía.

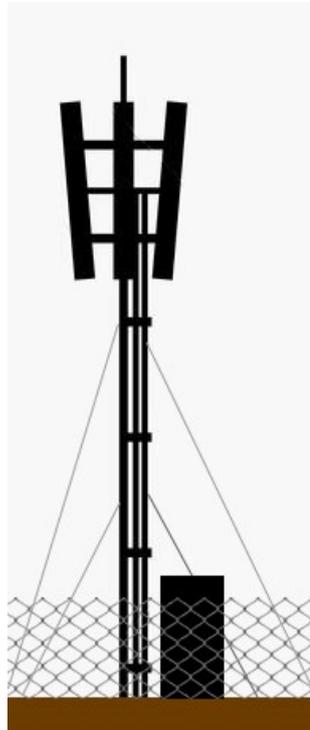
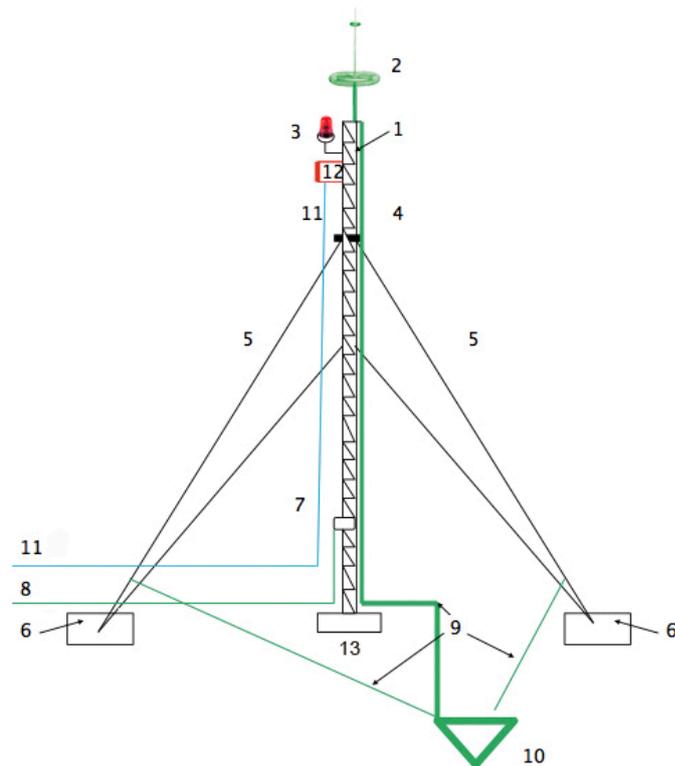


Figura 28. Esquema General de Estación Base.



- |                               |                             |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1. Torre AT 45                | 6. Bases de concreto        | 10. Delta de tierras              |
| 2. Pararrayos tipo dipolo     | 7. Barra de cobre           | 11. Cable LRM 600 con conectores  |
| 3. Luces de señalización      | 8. Cable calibre 2 a tierra | 12. Soporte para antena           |
| 4. Triángulo estabilizador    | 9. Cable calibre 0          | 13. Base y ancla central de torre |
| 5. Retenidas de cable de 1/4" |                             |                                   |

Figura 29. Esquema de Montaje y Partes de Torre Arriostrada. Tomado de (Google imagenes, 2017)

## CAPITULO IV

### 4. Software y simulación del Diseño de la Red

#### 4.1. Software de simulación Radio Mobile

Radio Mobile es un programa de simulación de radio enlaces gratuito que sirve para crear emulaciones dentro del rango de 20 MHz a 20 GHz.

Con él es posible hacer los cálculos y obtener todos los datos necesarios para realizar radio enlaces funcionales, evitando la tediosa tarea de hacerlo manualmente: obtener las cartas topográficas e ir obteniendo todas las curvas de nivel que cruza nuestro enlace, para posteriormente apenas empezar a considerar los demás aspectos para un correcto enlace.

El programa permite dibujar la elevación en los mapas usando los datos de misión topográfica radar shuttle (SRTM) descargados desde Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission, con la posibilidad de agregar los mapas de rutas y autopistas simultáneamente a los relieves del contorno, junto a las curvas de nivel.

Cada unidad transmisora o receptora puede ser especificada detallando la potencia, sensibilidad, parámetros de la antena, etc los enlaces entre las unidades también pueden ser analizados. El patrón de cobertura puede analizarse individualmente para cada unidad en caso de ser necesario. Presenta la característica mejor sitio (Best Site) que sugiere los lugares de emplazamiento óptimos.

## 4.2. Simulaciones de la Red WIMAX en Radio Mobile.

Con los datos necesarios de los equipos a usar y los puntos geográficos de la empresa TEG-TEL y la estación base (Chilibulo), se procede a ingresar la información en el software de simulación para obtener los cálculos de viabilidad técnica del enlace.

Desde el punto **TEG-TEL** hacia **BS-Chilibulo**

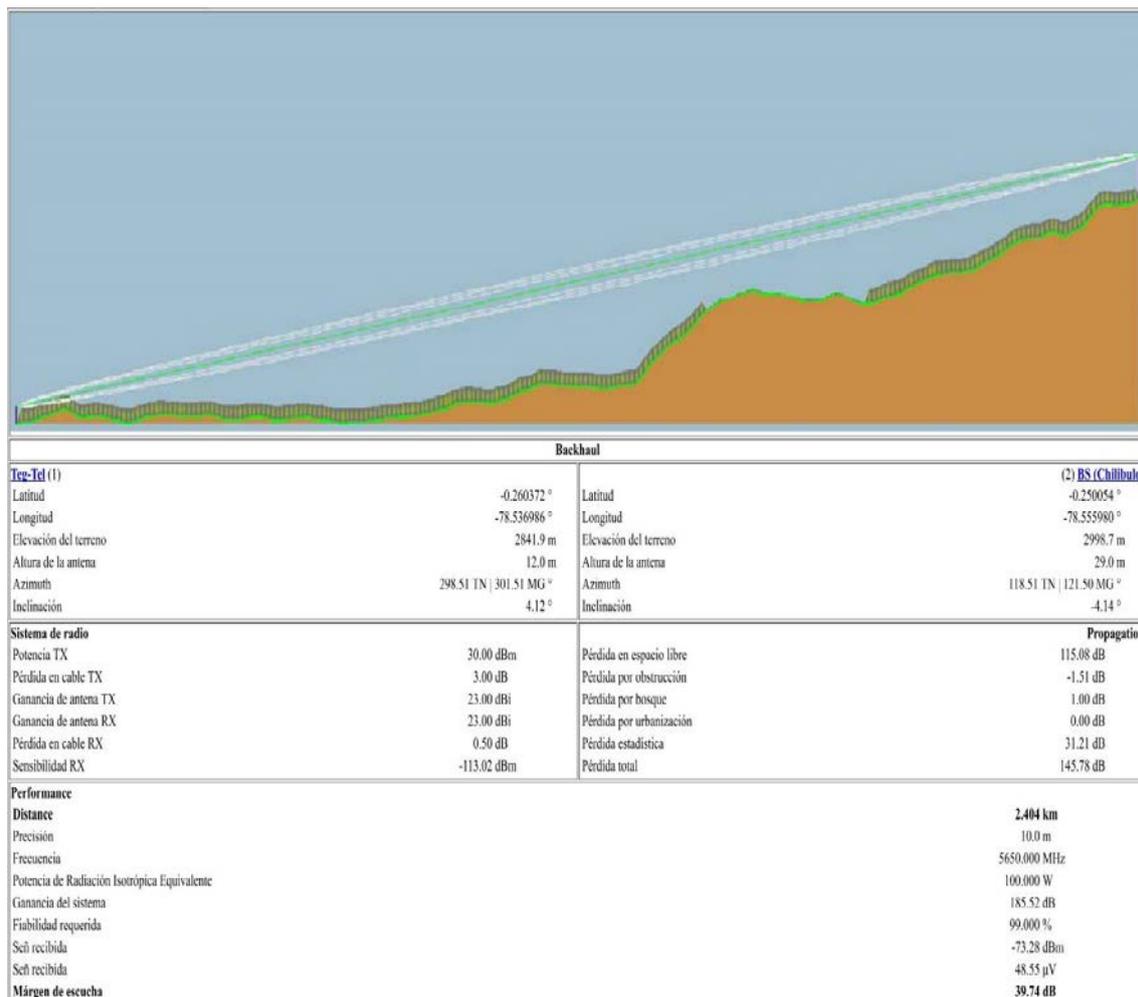


Figura 30. Red Enlace del backhaul. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017)

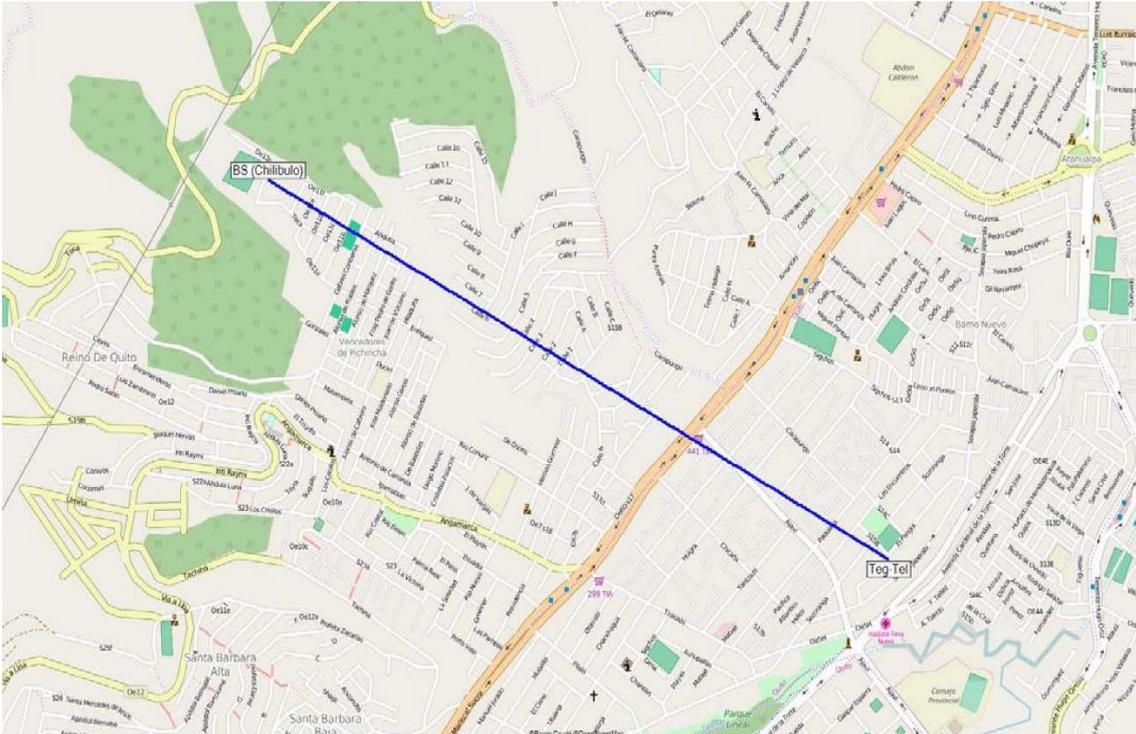


Figura 31. Enlace de TEG-TEL hasta la BS chililublo. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017)

#### 4.3. Ubicación de CPEs con relación a la estación base Chililublo

Dentro del Software de simulación Radio Mobile se ha colocado los puntos geográficos específicos de los CPEs (Clientes), para posteriormente realizar la simulación y cálculo de viabilidad técnica de cada uno de los enlaces.

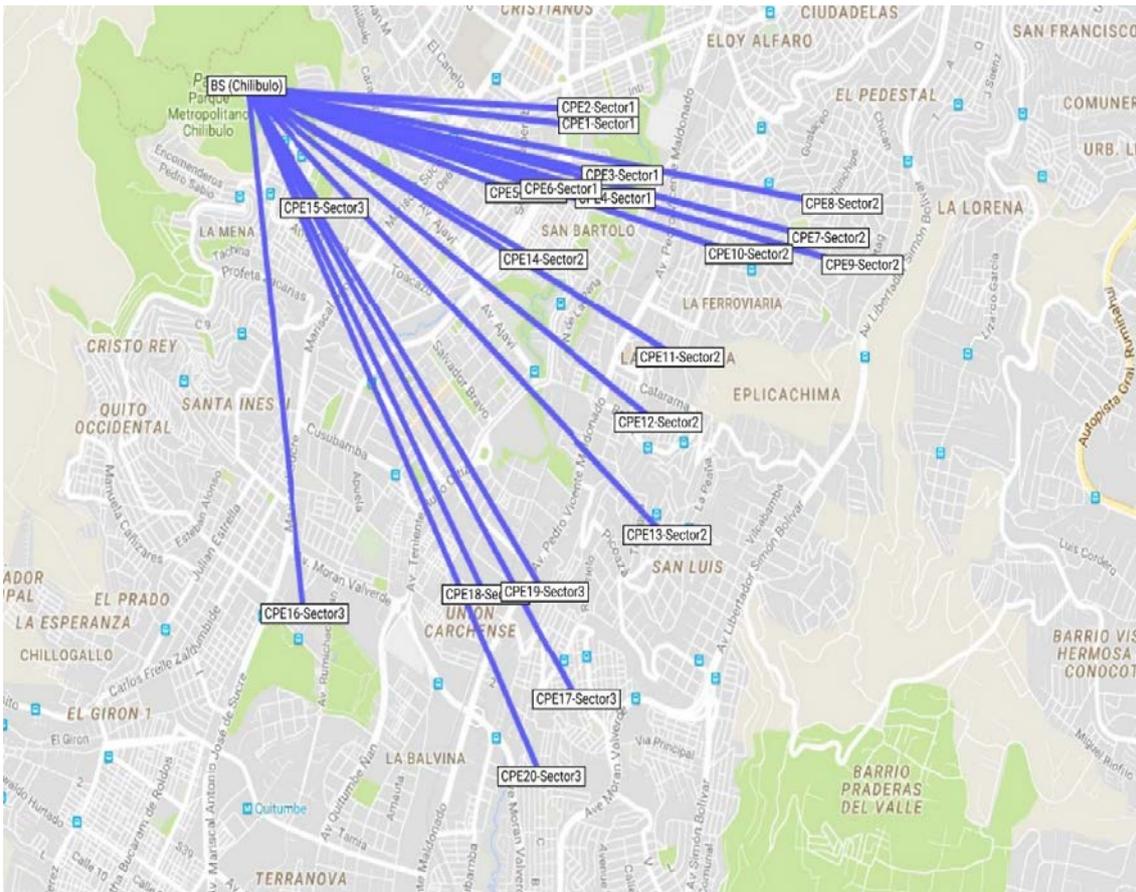
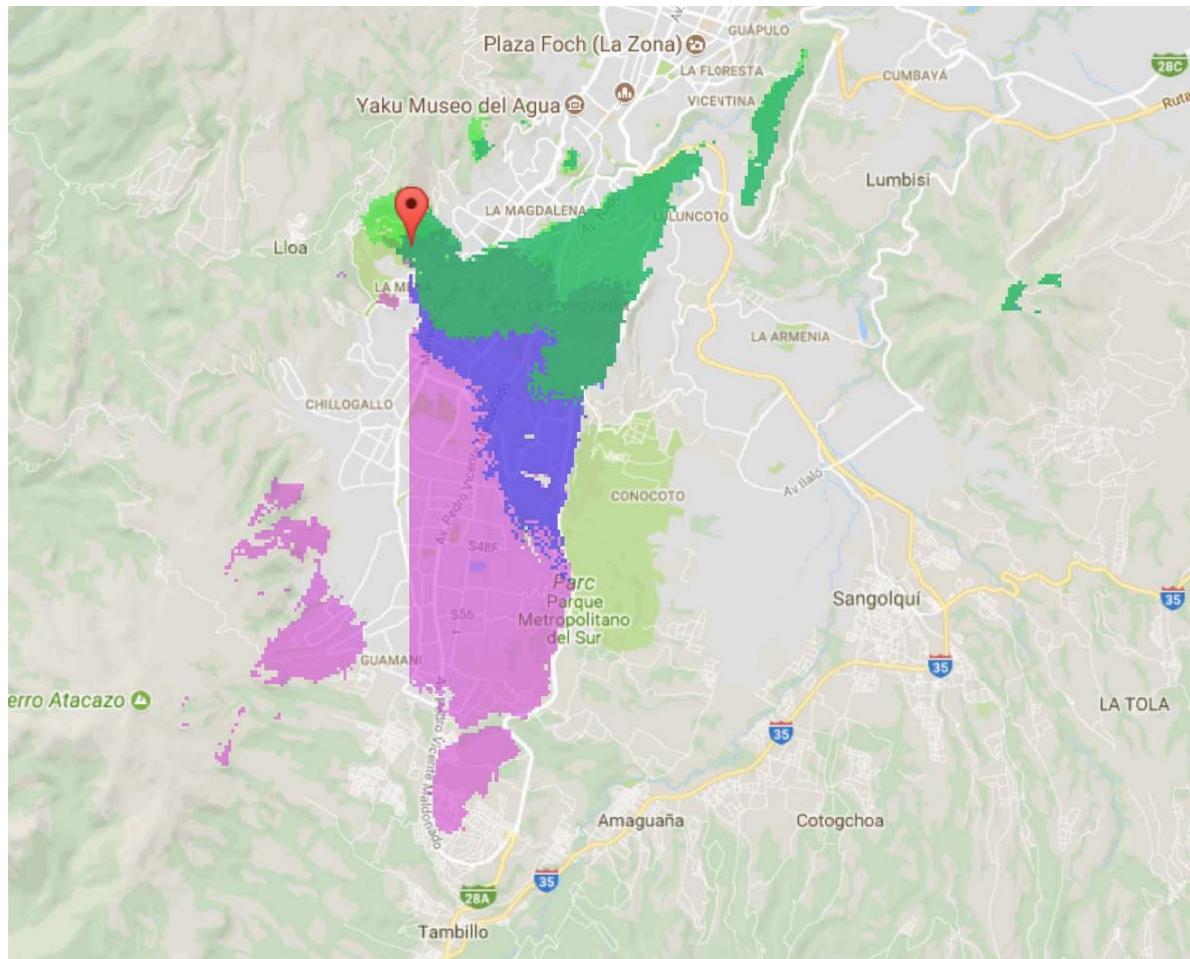


Figura 32. Enlace punto multipunto de Chilibulo hasta los CPEs. Tomado de (Simulado Radio Mobile, 2017)

#### 4.4. Simulación de Cobertura de BS-Chilibulo

Con el software de Radio Mobile, ingresando los datos respectivos del equipo BS, al igual que de antena, se obtiene una imagen de cobertura de nuestra señal WIMAX, detallando como punto importante, que se utilizan tres antenas direccionales de  $60^\circ$  horizontal, obteniendo de esta manera tres sectores de cobertura, con saltos de canal de 10MHz entre cada sector. De esta manera, obtendremos una capacidad total de hasta 150 CPE conectados simultáneamente, ya que el equipo BS dentro de sus características describe que por cada sector tiene capacidad de 50 CPE.



**Verde: Sector 1    Azul: Sector 2    Morado: Sector 3**

Figura 33 Zona de Cobertura de Red WIMAX. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017)

## SECTOR 1

Tabla 6  
Resultados Sector 1

<b>Resultados del estudio online de Radio Mobile</b>	
Descripción	BS-Chilibulo Sector1
Frecuencia	3450 MHz
Nombre de la estación base	BS (Chilibulo)
Latitud	-0.25005351 °
Longitud	-78.55597972 °
Latitud	00° 15' 00.19"S
Longitud	078° 33' 21.53"W
QRA	FI09RR
UTM (WGS84)	17M E772039 S9972336
Elevación	2998.7 m
Altura de la antena base	29 m
Ganancia de la antena base	18.0 dBi
Tipo de antena base	carlosche_741327_1768_x_co_p45_v3.ant
Azimuth de la antena base	30 °
Inclinación de la antena base	0 °
Altura de la antena móvil	29.0 m
Ganancia de la antena móvil	29.0 dBi
Potencia Tx de transmisión	0.79500 W
Pérdidas en el cable de transmisión	3.0 dB
Pérdidas en el cable de recepción	0.5 dB
Sensibilidad del receptor	0.500 µV (-113.0 dBm)
Fiabilidad requerida	99%
Margen requerido para una señal fuerte	10.0 dB
Zona de señal débil	5.9 dBµV/m
Zona de señal fuerte	15.9 dBµV/m
Área cubierta por la señal débil	37 km <sup>2</sup>
Área cubierta por la señal fuerte	25 km <sup>2</sup>
Población alcanzada por una señal débil	130410 pop
Población alcanzada por una señal fuerte	87415 pop
Tipo de terreno usado	Si
Método de dos rayos empleado	Si

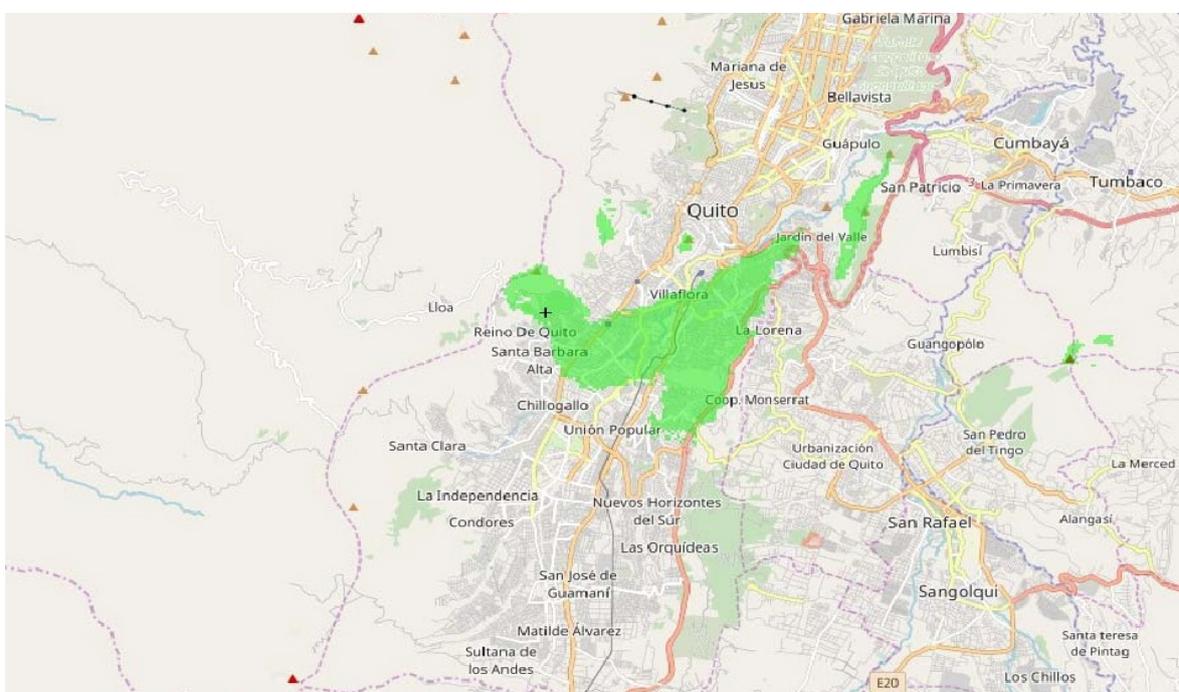


Figura 34 Resultados de estudio online de Radio Mobile. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017)

## SECTOR 2

Tabla 7  
Resultados Sector 2

<b>Resultados del estudio online de Radio Mobile</b>	
Descripción	BS-Chilibulo Sector2
Frecuencia	3460 MHz
Nombre de la estación base	BS (Chilibulo)
Latitud	-0.25005351 °
Longitud	-78.55597972 °
Latitud	00° 15' 00.19"S
Longitud	078° 33' 21.53"W
QRA	FI09RR
UTM (WGS84)	17M E772039 S9972336
Elevación	2998.7 m
Altura de la antena base	29 m
Ganancia de la antena base	18.0 dBi
Tipo de antena base	carlosche_741327_1768_x_co_p45_v3.ant
Azimuth de la antena base	90 °
Inclinación de la antena base	0 °
Altura de la antena móvil	29.0 m
Ganancia de la antena móvil	18.0 dBi
Potencia Tx de transmisión	0.79500 W
Pérdidas en el cable de transmisión	3.0 dB
Pérdidas en el cable de recepción	0.5 dB
Sensibilidad del receptor	0.500 µV (-113.0 dBm)
Fiabilidad requerida	99%
Margen requerido para una señal fuerte	10.0 dB
Zona de señal débil	17.0 dBµV/m
Zona de señal fuerte	27.0 dBµV/m
Área cubierta por la señal débil	70 km <sup>2</sup>
Área cubierta por la señal fuerte	34 km <sup>2</sup>
Población alcanzada por una señal débil	216757 pop
Población alcanzada por una señal fuerte	120656 pop
Tipo de terreno usado	Si
Método de dos rayos empleado	Si

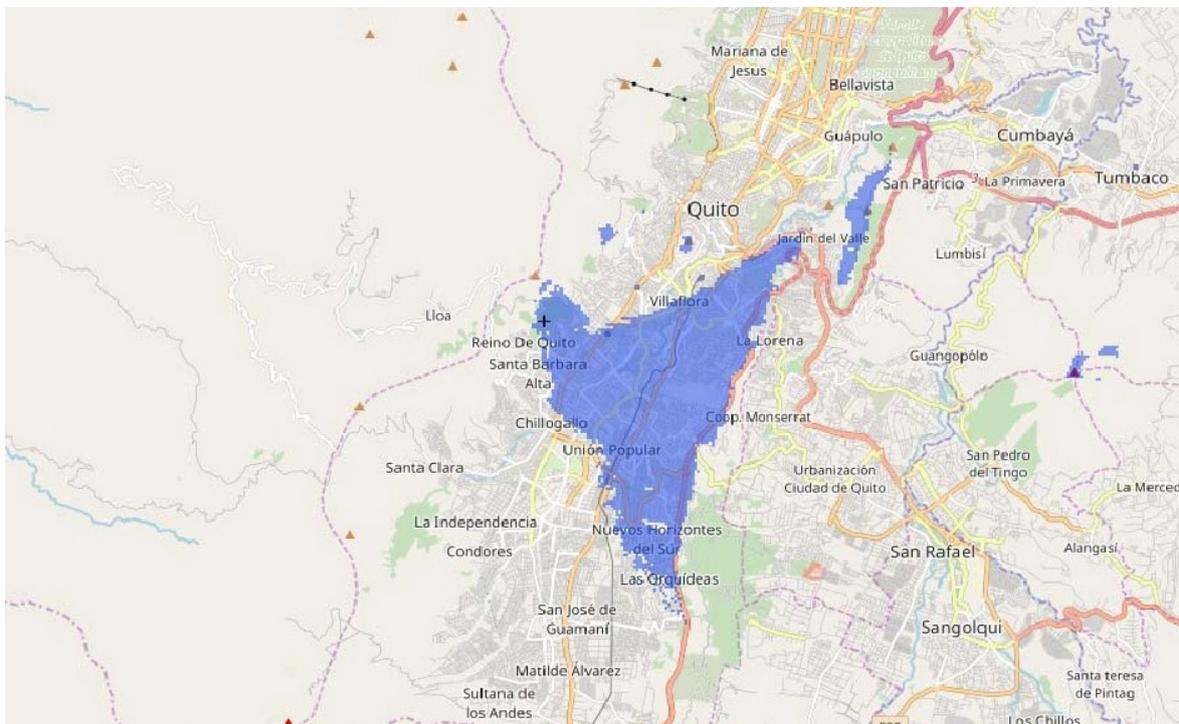


Figura 35 Resultado del estudio online de Radio Mobile sector 2. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017)



Tabla 9

*Cuadro de altura y ubicación correspondientes a los puntos conformados dentro de la red WIMAX.*

	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud
BS-Chilibulo	2998.7	-0.25005351	-78.55597972
Teg-Tel	2841.9	-0.26037187	-78.53698566
CPE1	2813.4	-0.25246205	-78.52829403
CPE2	2813.9	-0.25139997	-78.52831676
CPE3	2806.1	-0.25571616	-78.52642658
CPE4	2818.3	-0.25717131	-78.52700185
CPE5	2829.8	-0.25678909	-78.53397828
CPE6	2828.7	-0.25653700	-78.53123703
CPE7	3009.8	-0.25962129	-78.51022080
CPE8	2998.1	-0.25749566	-78.50915730
CPE9	3088.8	-0.26138617	-78.50756407
CPE10	2949.9	-0.26063930	-78.51651179
CPE11	2890.0	-0.26714761	-78.52190169
CPE12	2877.8	-0.27130499	-78.52359283
CPE13	2986.4	-0.27841142	-78.52294507
CPE14	2836.1	-0.26105108	-78.53263985
CPE15	2881.2	-0.25775663	-78.54989926
CPE16	2894.5	-0.28342806	-78.55143453
CPE17	3004.7	-0.28882485	-78.53005574
CPE18	2860.0	-0.28220939	-78.53718492
CPE19	2868.9	-0.28201627	-78.53255677
CPE20	2963.0	-0.29373992	-78.53282779

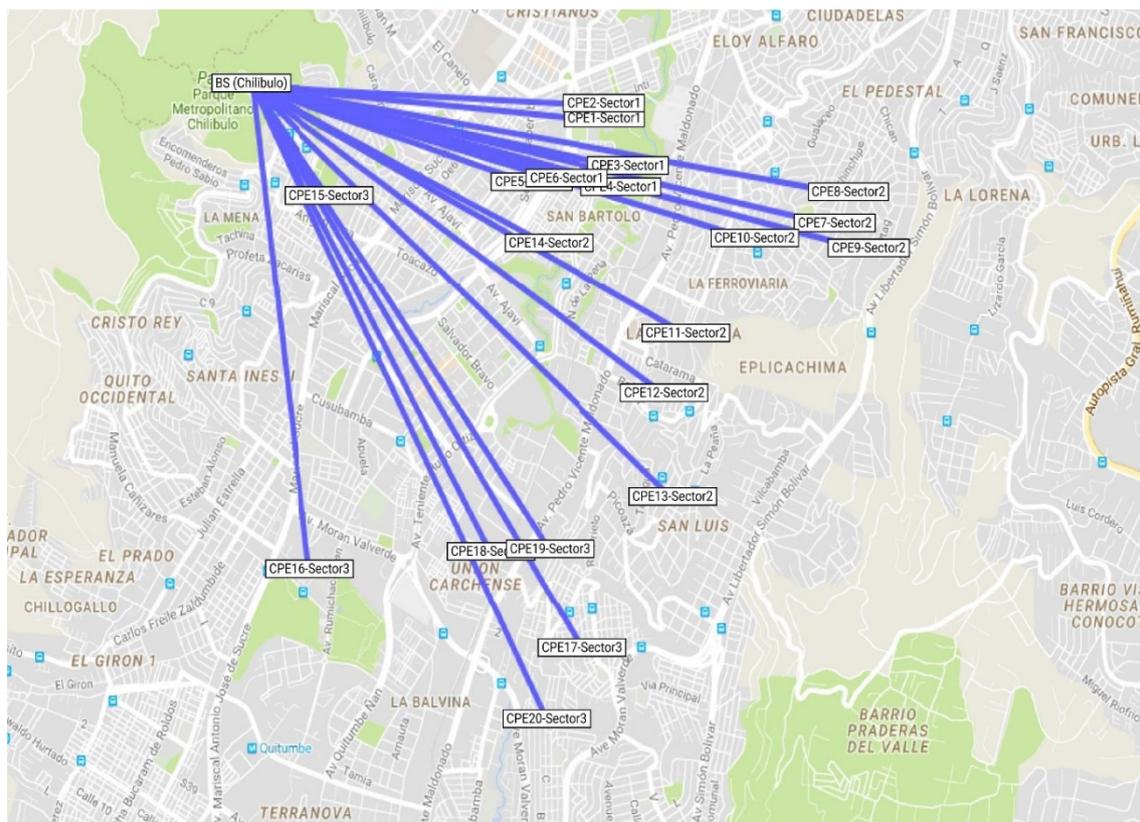


Figura 37 Altura y Ubicación de los enlaces. Tomado de (Simulador Radio Mobile, 2017)

Tabla 10  
Cuadros generales de enlaces de CPEs (Sector 1)

Enlace	Distancia (m)	Tipo	Banda (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
BS-Chilibulo a CPE1-Sector1	3090	Line of sight	3.4	10	3450	23
BS-Chilibulo a CPE2-Sector1	3080	Line of sight	3.4	10	3450	23
BS-Chilibulo a CPE3-Sector1	3346	Line of sight	3.4	10	3450	23
BS-Chilibulo a CPE4-Sector1	3318	Line of sight	3.4	10	3450	23
BS-Chilibulo a CPE5-Sector1	2559	Line of sight	3.4	10	3450	23
BS-Chilibulo a CPE6-Sector1	2844	Line of sight	3.4	10	3450	23
Enlace	Ganancia de Antena (dBi)	Pérdida Total (dB)	Señal recibida (dBm)	Fiabilidad (%)		
BS-Chilibulo a CPE1-Sector1	18	143.55	-86.05	99		
BS-Chilibulo a CPE2-Sector1	18	145.27	-87.77	99		
BS-Chilibulo a CPE3-Sector1	18	138.84	-81.33	99		
BS-Chilibulo a CPE4-Sector1	18	138.82	-81.32	99		

CPE4-Sector1				
BS-Chilibulo a CPE5-Sector1	18	142.23	-84.73	99
BS-Chilibulo a CPE6-Sector1	18	143.19	-85.68	99

Tabla 11

## Cuadros generales de enlaces de CPEs (Sector 2)

Enlace	Distancia (m)	Tipo	Banda (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
BS-Chilibulo a CPE7-Sector2	5198	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE8-Sector2	5272	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE9-Sector2	5529	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE10-Sector2	4544	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE11-Sector2	4239	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE12-Sector2	4307	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE13-Sector2	4841	Line of sight	3.4	10	3460	23
BS-Chilibulo a CPE14-Sector2	2869	Line of sight	3.4	10	3460	23

Enlace	Ganancia de Antena (dBi)	Pérdida Total (dB)	Señal recibida (dBm)	Fiabilidad (%)
BS-Chilibulo a CPE7-Sector2	18	149.27	-91.77	99
BS-Chilibulo a CPE8-Sector2	18	147.99	-90.48	99
BS-Chilibulo a CPE9-Sector2	18	149.59	-92.09	99
BS-Chilibulo a CPE10-Sector2	18	148.00	-90.50	99
BS-Chilibulo a CPE11-Sector2	18	148.13	-90.63	99
BS-Chilibulo a CPE12-Sector2	18	148.88	-91.38	99
BS-Chilibulo a	18	147.51	-90.00	99

CPE13-Sector2				
BS-Chilibulo a CPE14-Sector2	18	138.37	-80.87	99

Tabla 12

*Cuadros generales de enlaces de CPEs (Sector 3)*

Enlace	Distancia (m)	Tipo	Banda (GHz)	Ancho de Canal (MHz)	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
BS-Chilibulo a CPE15-Sector3	1091	Line of sight	3.4	10	3470	23
BS-Chilibulo a CPE16-Sector3	3745	Line of sight	3.4	10	3470	23
BS-Chilibulo a CPE17-Sector3	5186	Line of sight	3.4	10	3470	23
BS-Chilibulo a CPE18-Sector3	4142	Line of sight	3.4	10	3470	23
BS-Chilibulo a CPE19-Sector3	4406	Line of sight	3.4	10	3470	23
BS-Chilibulo a CPE20-Sector3	5498	Line of sight	3.4	10	3470	23

Enlace	Ganancia de Antena (dBi)	Pérdida Total (dB)	Señal recibida (dBm)	Fiabilidad (%)
BS-Chilibulo a CPE15-Sector3	18	134.61	-77.10	99
BS-Chilibulo a CPE16-Sector3	18	146.01	-88.51	99
BS-Chilibulo a CPE17-Sector3	18	148.50	-90.99	99
BS-Chilibulo a CPE18-Sector3	18	147.14	-89.64	99
BS-Chilibulo a CPE19-Sector3	18	142.18	-84.67	99
BS-Chilibulo a CPE20-Sector3	18	149.45	-91.94	99

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Con el avance del tiempo las tecnologías inalámbricas se han convertido en las más utilizadas para implementar, ofreciendo un sinnúmero de beneficios gracias a su cobertura, infraestructura y su facilidad de despliegue, entre las tecnologías inalámbricas destaca WIMAX por tener mayor cobertura y un gran ancho de banda a comparación con otras tecnologías inalámbricas.

Actualmente existe un sinnúmero de fabricantes de equipos WIMAX certificados por WIMAX Forum, para lo cual el usuario tiene mayor libertad de escoger entre un sinnúmero de productos de acuerdo a los requerimientos que necesite.

Con el diseño de la red propuesto se pudo llegar a una gran zona de la ciudad de Quito al cual se puede ir escalando para aumentar el número de abonados y así llegar a más usuarios con precios asequibles.

Con esto se puede concluir que WIMAX es preferida para llegar a zonas de difícil acceso en donde las redes cableadas como cable coaxial y fibra óptica se les dificultan llegar por sus elevados costos, en esta tecnología también se pudo concluir que se puede ofrecer servicios de valor agregado como es el caso del triple pack que es voz, video y datos

#### 5.2. Recomendaciones

Con el desarrollo y los datos obtenidos del diseño de la red se pudo observar y analizar las dificultades que se obtuvieron al momento de implementar, por lo cual se va a dar las siguientes recomendaciones para poder sacar un mayor beneficio a esta tecnología.

Como primera recomendación es necesario investigar los equipos WIMAX, ya que cada equipo tiene diferentes características y costos los cuales se deben analizar, de acuerdo a nuestro presupuesto y necesidades al momento de instalar esta tecnología.

Después de haber investigado características y equipos WIMAX se debe considerar la cantidad de clientes o abonados que se beneficiaran de esta tecnología, al final se debe hacer una proyección a futuro para el crecimiento de la red.

## REFERENCIAS

- Abc.com.* (15 de 12 de 2016). Obtenido de <http://www.abc.es/Media/201506/17/espectro-electromagnetico--644x462.jpg>
- albentia.com.* (15 de 12 de 2017). Tomado de [www.albentia.com](http://www.albentia.com)
- albentia.com.* (15 de 12 de 2017). Tomado de [www.albentia.com](http://www.albentia.com)
- Albentia.com.* (15 de 12 de 2017). Tomado de [www.albentia.com](http://www.albentia.com)
- Arcotel. (2014). *Reglamentos de Telecomunicaciones en el Ecuador.* Recuperado el 12 de Noviembre de 2017, de [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec): <http://www.arcotel.gob.ec>)
- Arcotel. (2017). *Títulos habilitantes.* Recuperado el 21 de Noviembre de 2017, de [www.arcotel.gob.ec](http://www.arcotel.gob.ec): <http://www.arcotel.gob.ec/solicitud-de-dotorgamiento-o-administracion-de-titulos-habilitantes/>
- Arg-Wireless. (2017). *Montando una red AD-HOC [punto a punto].* Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de [arg-wireless.com.ar](http://arg-wireless.com.ar): <http://arg-wireless.com.ar/index.php?topic=357.0>
- Bucalima, S. (2010). *Estudio y diseño de una red WiMAX para la ciudad de cuenca.* Recuperado el 20 de Noviembre de 2017, de [dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec): <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2555/1/tm4320.pdf>
- Cayro.webcindario. (2016). Recuperado el 19 de Noviembre de 2017, de [cayro.webcindario.com](http://cayro.webcindario.com): <http://cayro.webcindario.com/wifi/Antenas.htm>
- Computer Hoy.com. (13 de Enero de 2016). *El Súper WiFi.* Recuperado el 19 de Septiembre de 2017, de [computerhoy.com](http://computerhoy.com): <https://computerhoy.com/noticias/internet/todo-que-necesitas-saber-del-wifi-ad-wifi-ah-halow-39101>
- Didactic Hoy.com.* (10 de 12 de 2017). Tomado de [http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/multimedia/programme\\_applets/e\\_lehre/dipolstrahlung/bilder\\_dipol/web\\_bilder\\_orig/dip\\_3h\\_pot\\_o.gif](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/multimedia/programme_applets/e_lehre/dipolstrahlung/bilder_dipol/web_bilder_orig/dip_3h_pot_o.gif)

Electronica teoria y práctica. (2012). *Antena panel*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2017, de [electronica-teoriaypractica.com](http://electronica-teoriaypractica.com): [electronica-teoriaypractica.com/que-es-una-antena-panel/](http://electronica-teoriaypractica.com/que-es-una-antena-panel/)

Google imagenes. (2017). *Servicios de instalación y mantenimiento*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2017, de [www.google.com.ec](http://www.google.com.ec): <https://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.kbest.com.mx%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F07%2Fserv-inst-y-mant2.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.kbest.com.mx%2Fcategory%2Ftelecomunicaciones%2Fservicios-de-instalacion-y-mantenimiento%2F&docid=qQ>

La Red Intuitiva. (2017). *Redes inalámbricas*. Recuperado el 19 de Octubre de 2017, de [es.ccm.net](http://es.ccm.net): <http://es.ccm.net/contents/818-redes-inalambricas>

Ptolomeo. (2017). *Dispositivos Bluetooth*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2017, de [www.ptolomeo.unam.mx](http://www.ptolomeo.unam.mx):8080: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/229/A5.pdf?sequence=5>

Radio Mobile. (15 de 12 de 2017).

Radio Mobile. (15 de 12 de 2017).

Ruiz Osés, D. (27 de Mayo de 2017). *¿Qué es Zigbee?* Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de [www.davidruizoses.com](http://www.davidruizoses.com): <http://www.davidruizoses.com/zigbee-y-xbee/>

*Saladasinforma.com.ar*. (15 de 12 de 2017). Tomado de <http://www.saladasinforma.com.ar/fotonotas/2016-04-29-16-46-21-995022-433487.jpg>

*Saladasinforma.com.ar*. (19 de 12 de 2017). Obtenido de : <http://www.saladasinforma.com.ar/fotonotas/2016-04-29-16-46-21-995022-433487.j>

Simulado Radio Mobile. (15 de 12 de 2017).

Simulador Radio Mobile. (15 de 12 de 2017).

Slideshare. (18 de Octubre de 2012). *Diseño de un amplificador de bajo ruido de ultra banda ancha para un receptor de uwb en cmos 035 m*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de es.slideshare.net: <https://es.slideshare.net/RFIC/diseo-de-un-amplificador-de-bajo-ruido-de-ultra-banda-ancha-para-un-receptor-de-uwb-en-cmos-035-m>

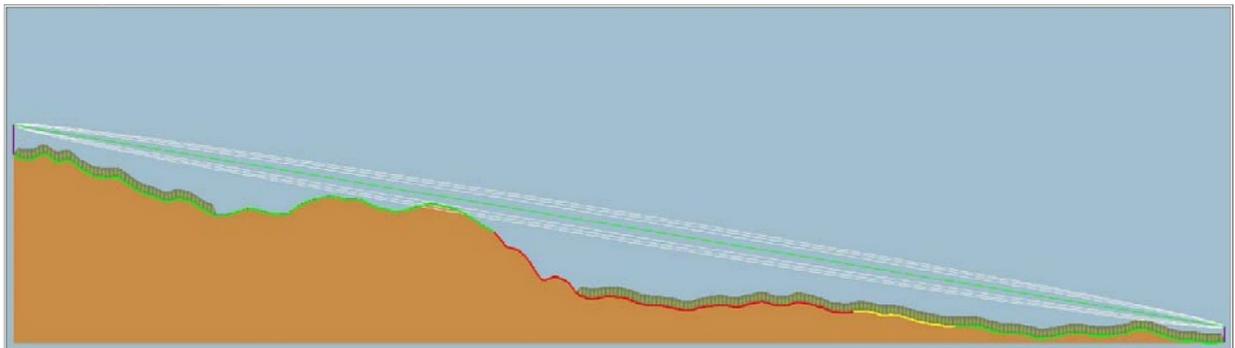
Tecnologías de la información y la comunicación . (17 de Noviembre de 2008). *Conectividad (redes locales, red. Internet)* . Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de tics-perez2.blogspot.com: <http://tics-perez2.blogspot.com/2008/10/conectividad-redes-locales-red-internet.html>

Telecom. (2017). *Cual es la diferencia entre los estandares ieee 802 11ah y 802 11af*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2017, de blog.telecom.pucp.edu.pe: <http://blog.telecom.pucp.edu.pe/index.php/2016/09/14/cual-es-la-diferencia-entre-los-estandares-ieee-802-11ah-y-802-11af/>

Tp-link. (2017). *Especificaciones técnicas*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2017, de [www.tp-link.es](http://www.tp-link.es): <http://www.tp-link.es/search/?q=especificaciones+tecnicas+wifi>

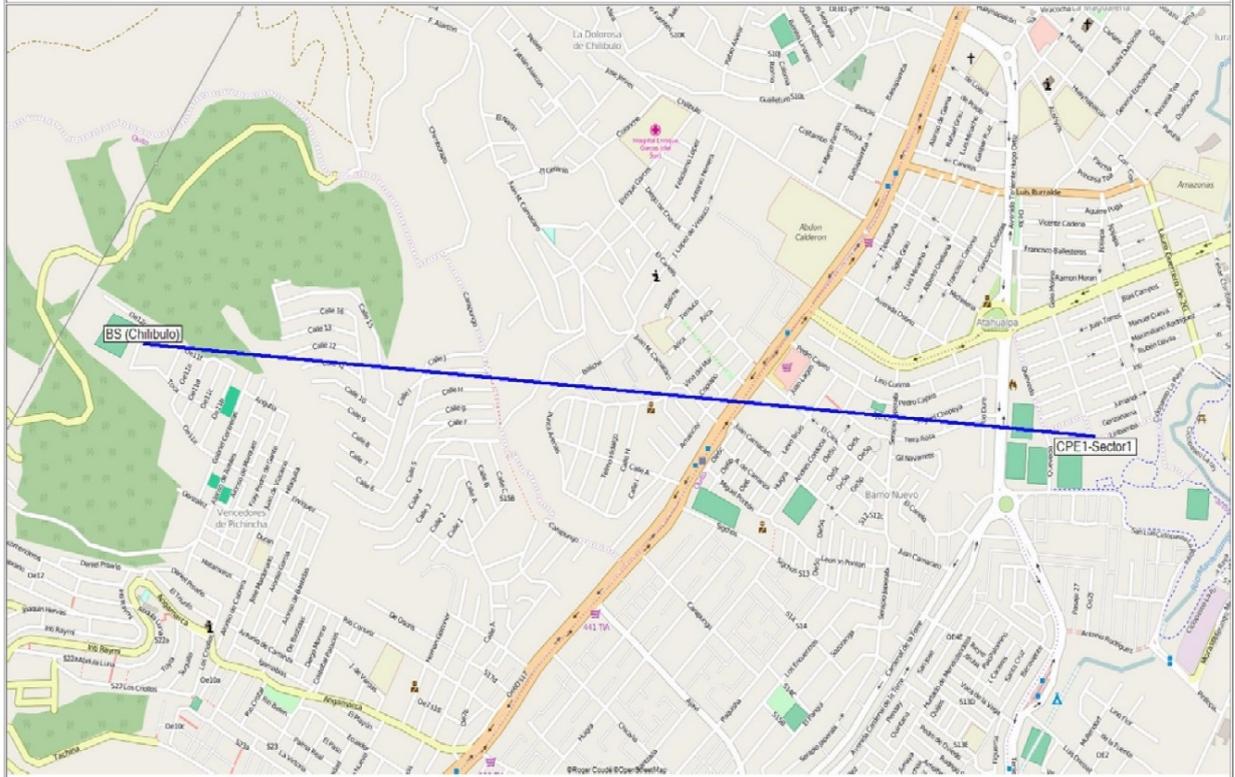
## ANEXOS

### Anexo 1. Enlace 1 Sector 1

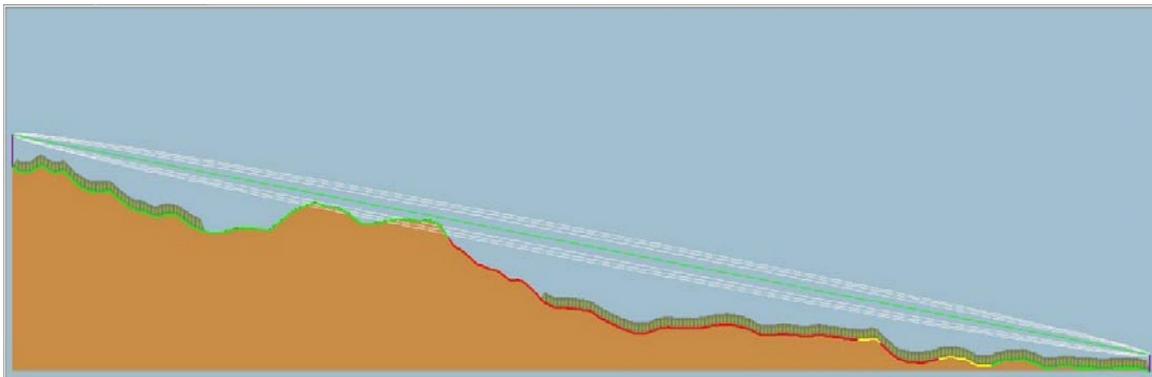


Enlace1-WiMax			
<b>BS (Chilbulo) (1)</b>		<b>(2) CPE1-Sector1</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.252462 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.528294 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2813.4 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	15.0 m
Azimuth	94.97 TN   97.96 MG °	Azimuth	274.97 TN   277.97 MG °
Inclinación	-3.70 °	Inclinación	3.67 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	112.97 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.56 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida por estadística	31.14 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	143.55 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>3.090 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3450.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señal recibida	-86.05 dBm
Señal recibida	11.16 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>26.97 dB</b>

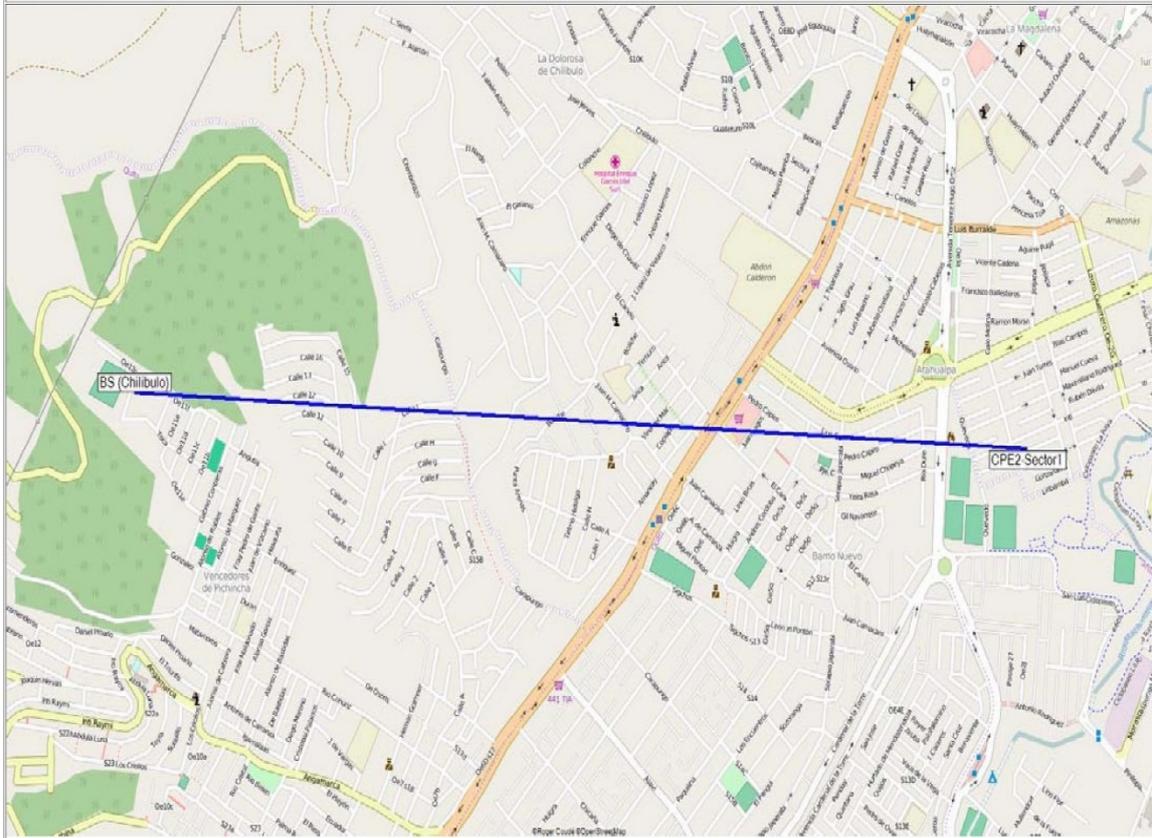


### Anexo 2. Enlace 2 Sector 1

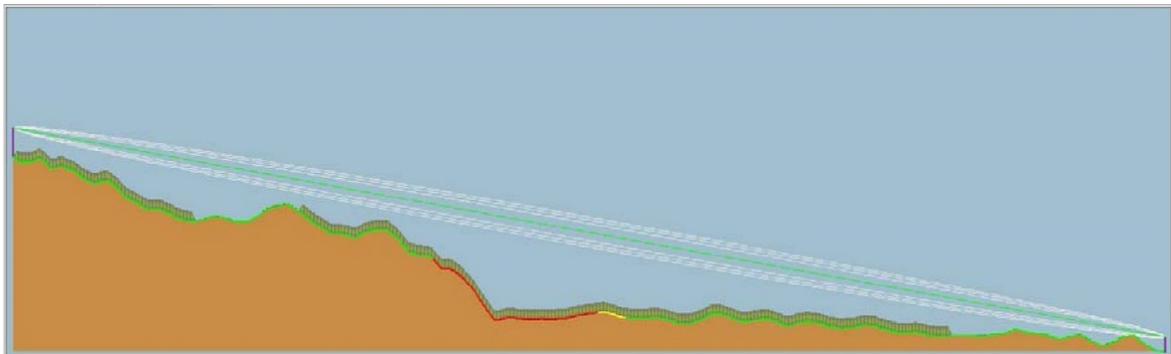


Enlace2-WiMax			
<b>BS (Chilbulo) (1)</b>		<b>(2) CPE2-Sector1</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.251400 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.528317 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2813.9 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	15.0 m
Azimuth	92.79 TN   95.77 MG °	Azimuth	272.79 TN   275.79 MG °
Inclinación	-3.71 °	Inclinación	3.68 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	112.94 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.21 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.12 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	145.27 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>3.080 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3450.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-87.77 dBm
Señ recibida	9.15 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>25.25 dB</b>

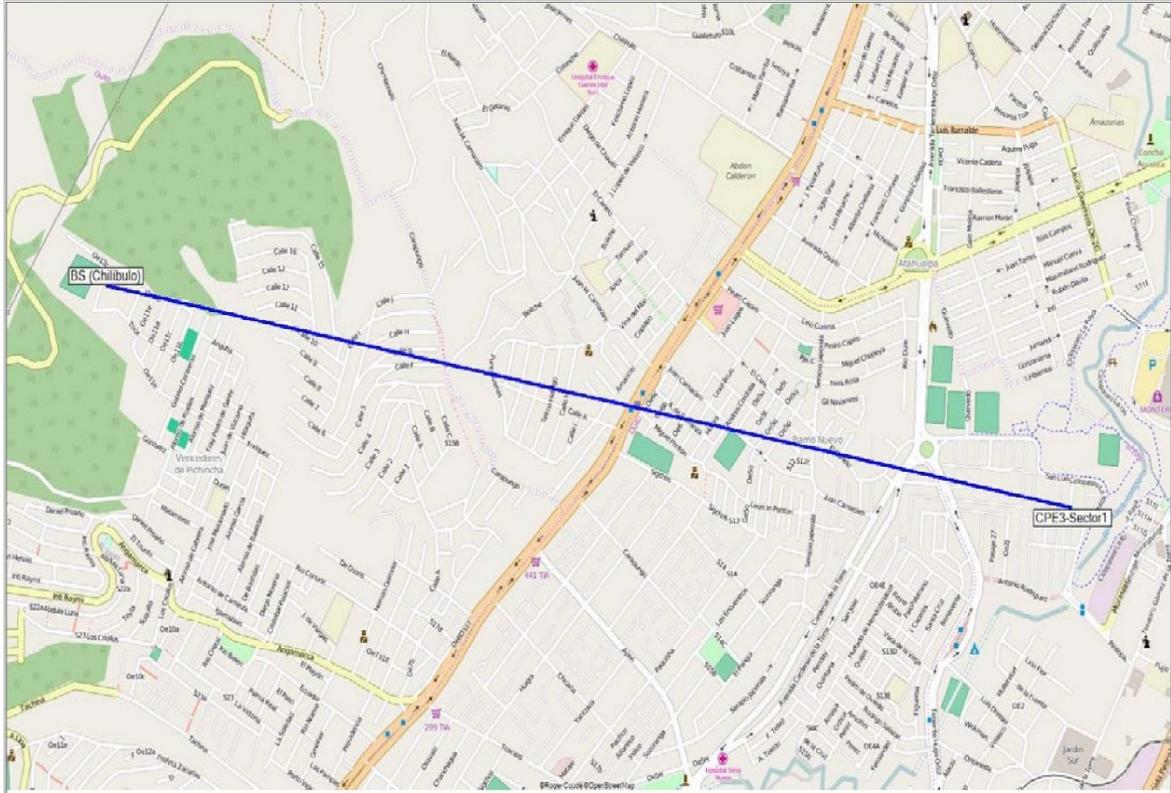


### Anexo 3. Enlace 3 Sector 1

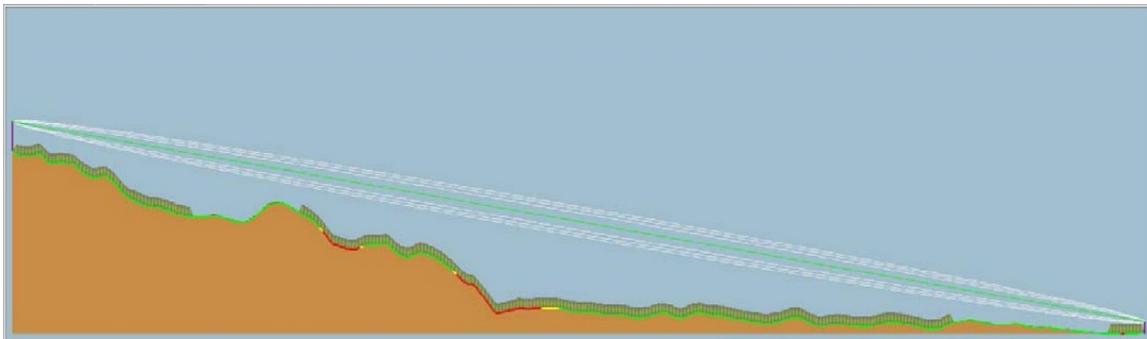


Enlace3-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE3-Sector1</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.255716 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.526427 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2806.1 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	15.0 m
Azimuth	100.85 TN   103.83 MG °	Azimuth	280.85 TN   283.85 MG °
Inclinación	-3.55 °	Inclinación	3.52 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	113.66 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-5.97 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.14 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	138.84 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>3.346 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3450.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señal recibida	-81.33 dBm
Señal recibida	19.21 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>31.69 dB</b>

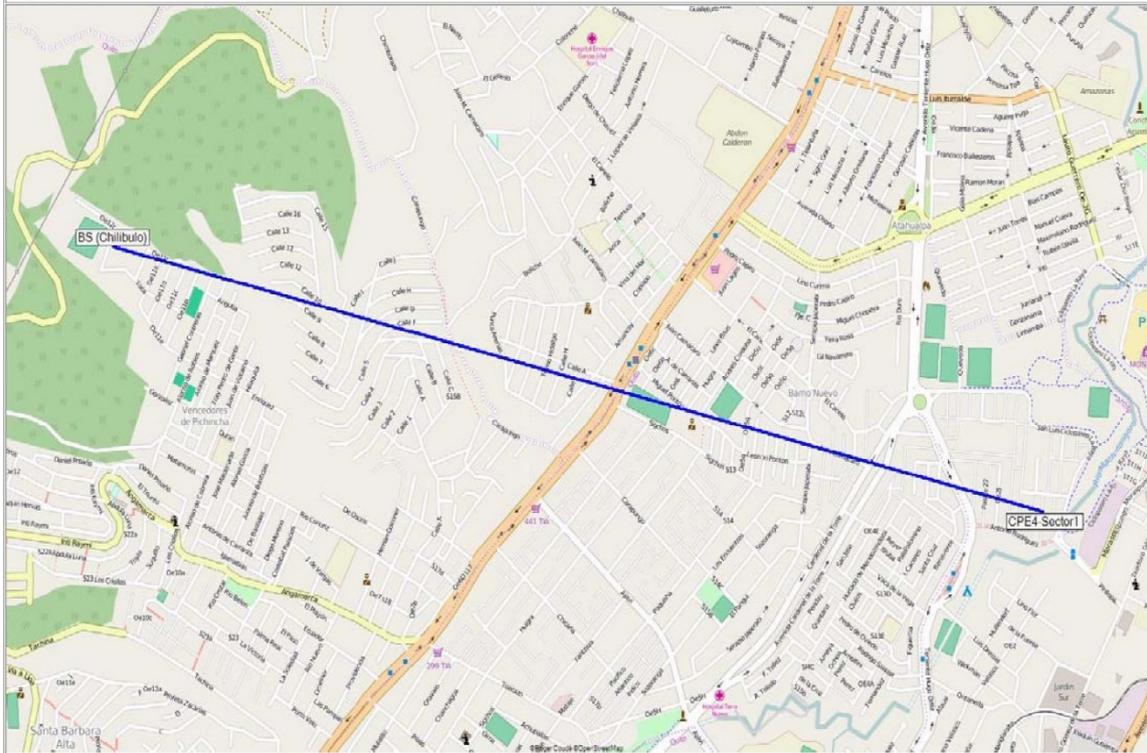


### Anexo 4. Enlace 4 Sector 1

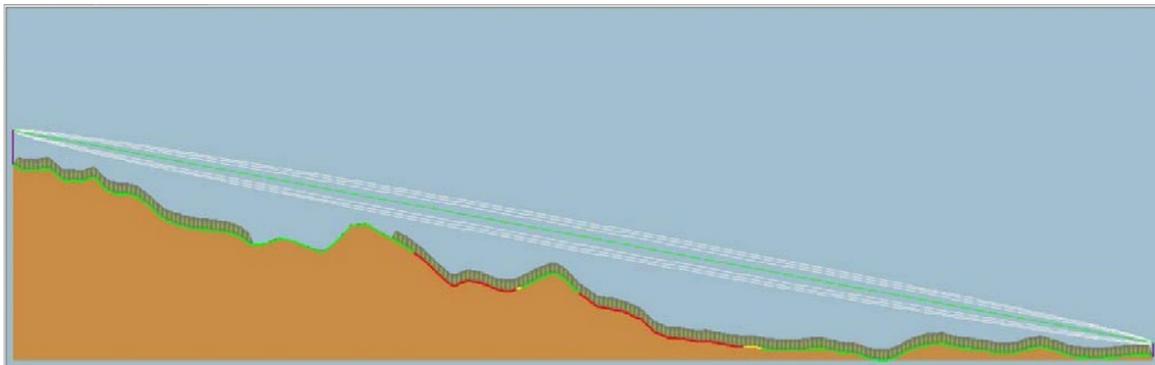


Enlace4-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE4-Sector1</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.257171 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.527002 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2818.3 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	12.0 m
Azimuth	103.80 TN   106.78 MG °	Azimuth	283.80 TN   286.80 MG °
Inclinación	-3.42 °	Inclinación	3.39 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	113.59 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-5.92 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.15 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	138.82 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>3.318 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3450.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-81.32 dBm
Señ recibida	19.24 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>31.70 dB</b>

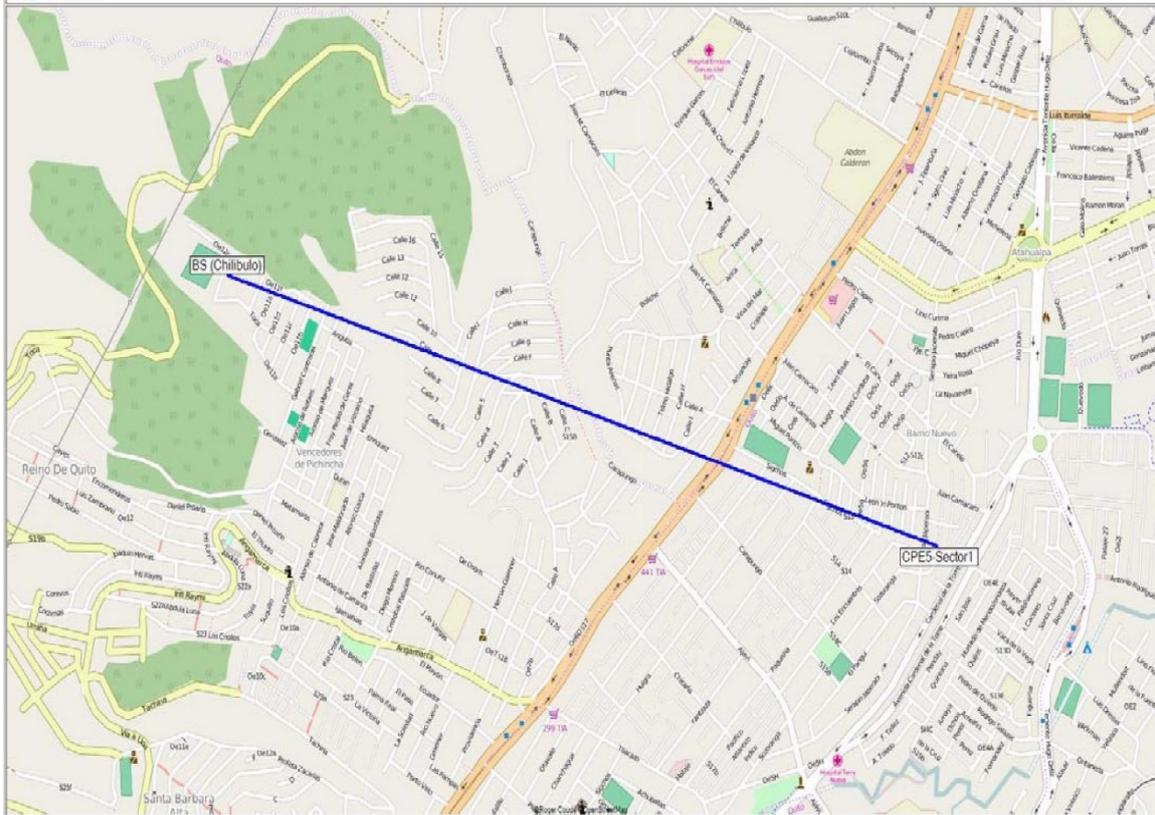


Anexo 5. Enlace 5 sector 1

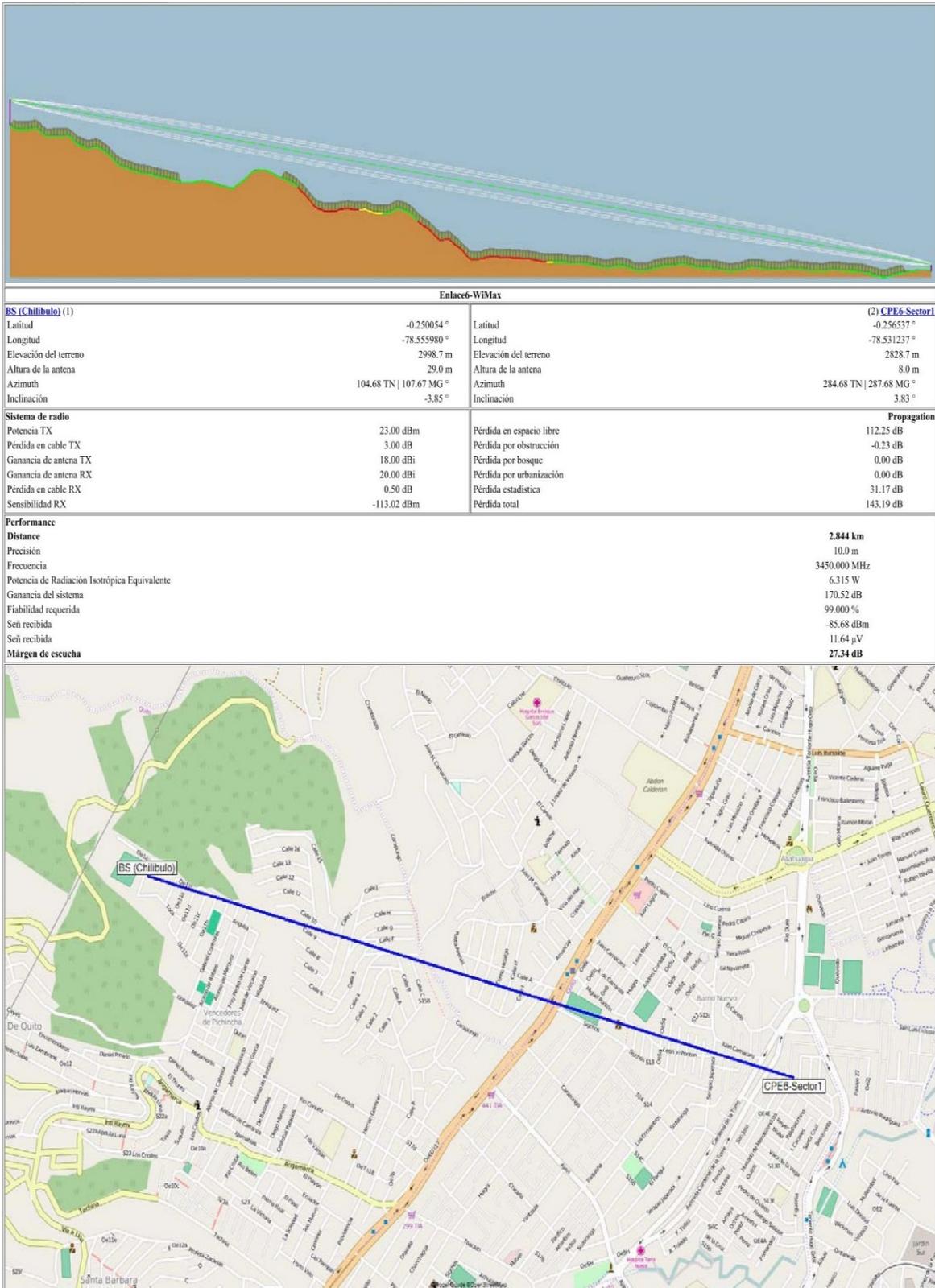


Enlace5-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE5-Sector1</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.256789 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.533978 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2829.8 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	12.0 m
Azimuth	107.02 TN   110.01 MG °	Azimuth	287.02 TN   290.02 MG °
Inclinación	-4.17 °	Inclinación	4.14 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	111.34 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.28 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.17 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	142.23 dB

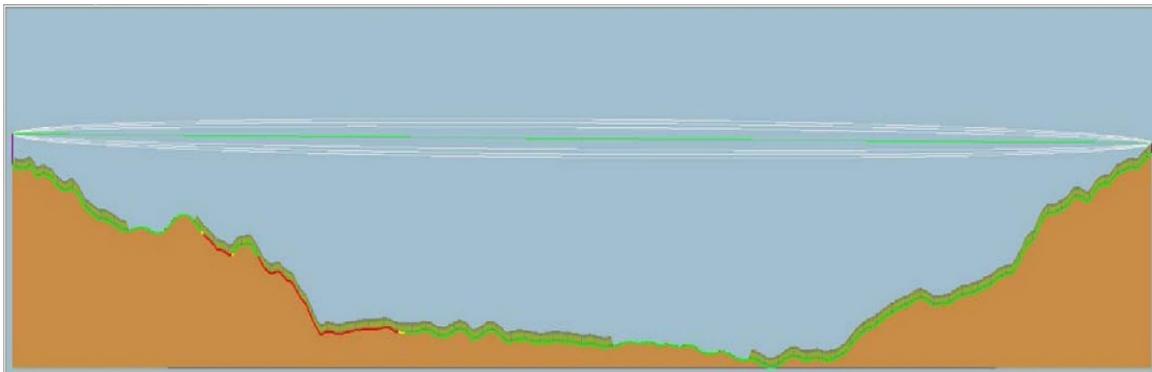
<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	2.559 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3450.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-84.73 dBm
Señ recibida	12.99 µV
<b>Márgen de escucha</b>	28.29 dB



Anexo 6. Enlace 6 sector 1

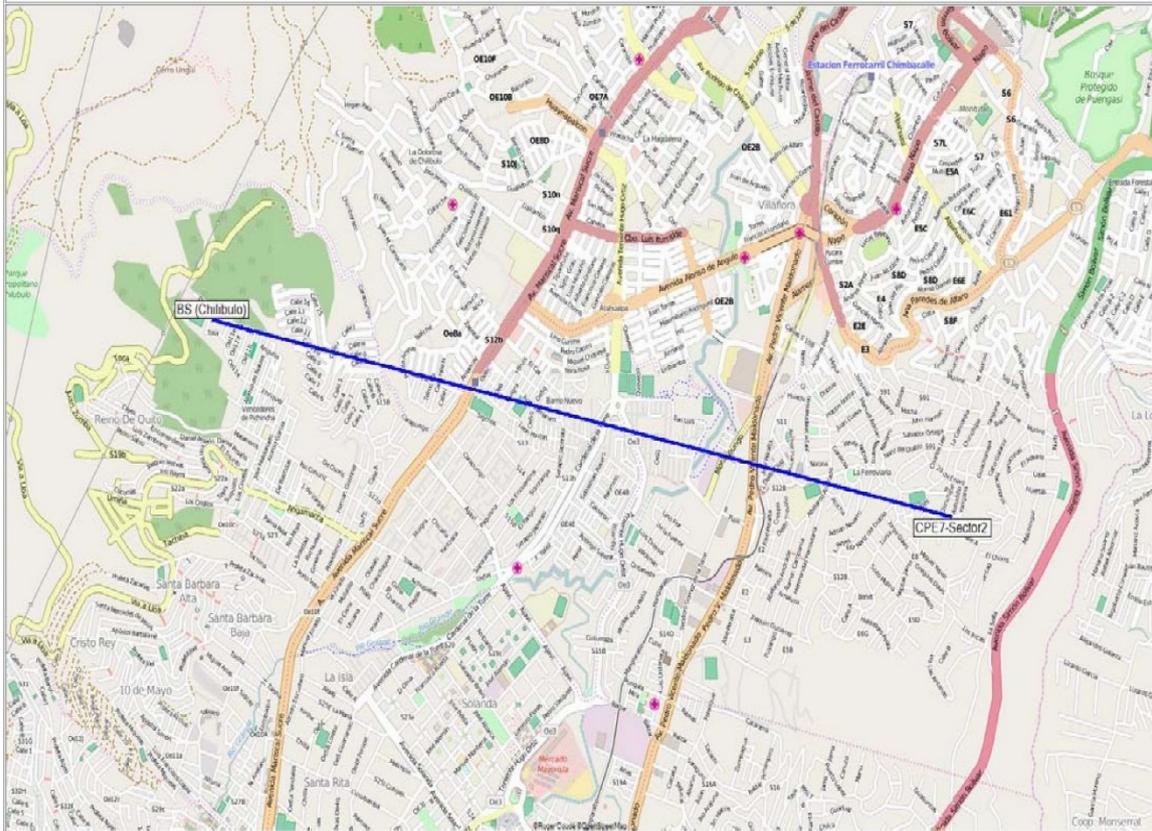


### Anexo 7. Enlace 7 Sector 2

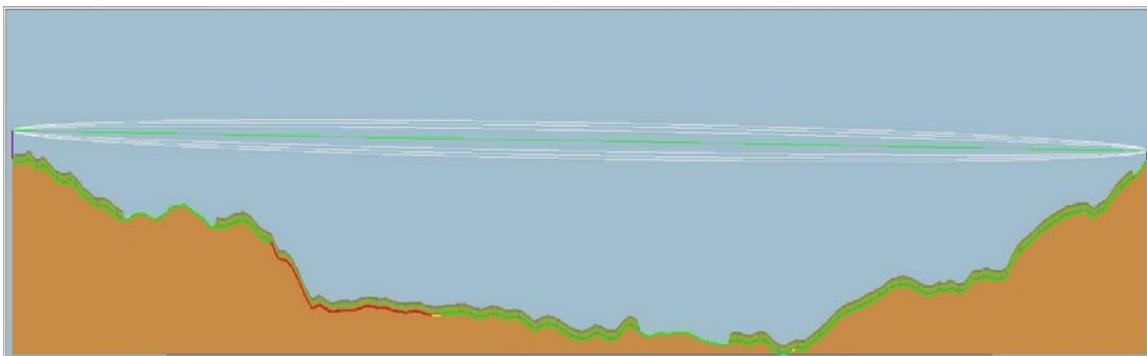


Enlace7-WiMax			
<b>BS (Chilbulo) (1)</b>		<b>(2) CPE7-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.259621 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.510221 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	3009.8 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	9.0 m
Azimuth	101.81 TN   104.79 MG °	Azimuth	281.81 TN   284.82 MG °
Inclinación	-0.12 °	Inclinación	0.07 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	117.50 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.59 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.18 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	149.27 dB

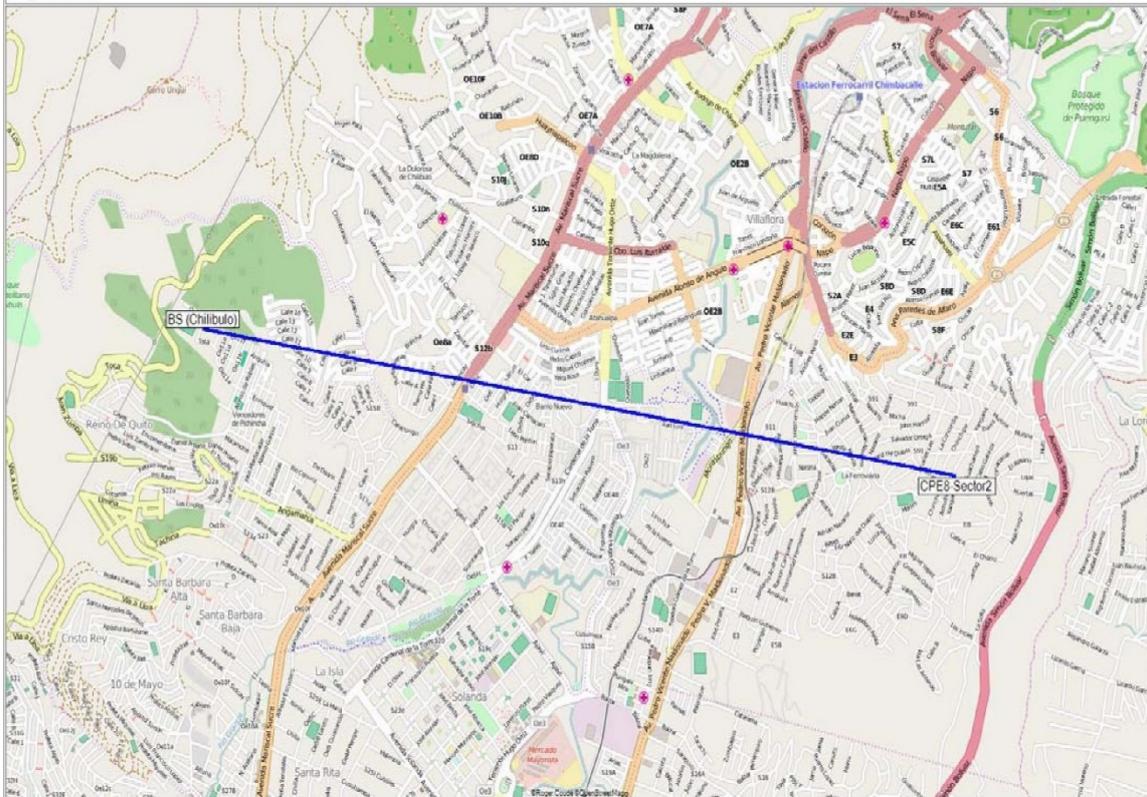
<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	5.198 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-91.77 dBm
Señ recibida	5.78 µV
<b>Márgen de escucha</b>	21.25 dB



### Anexo 8. Enlace 8 Sector 2



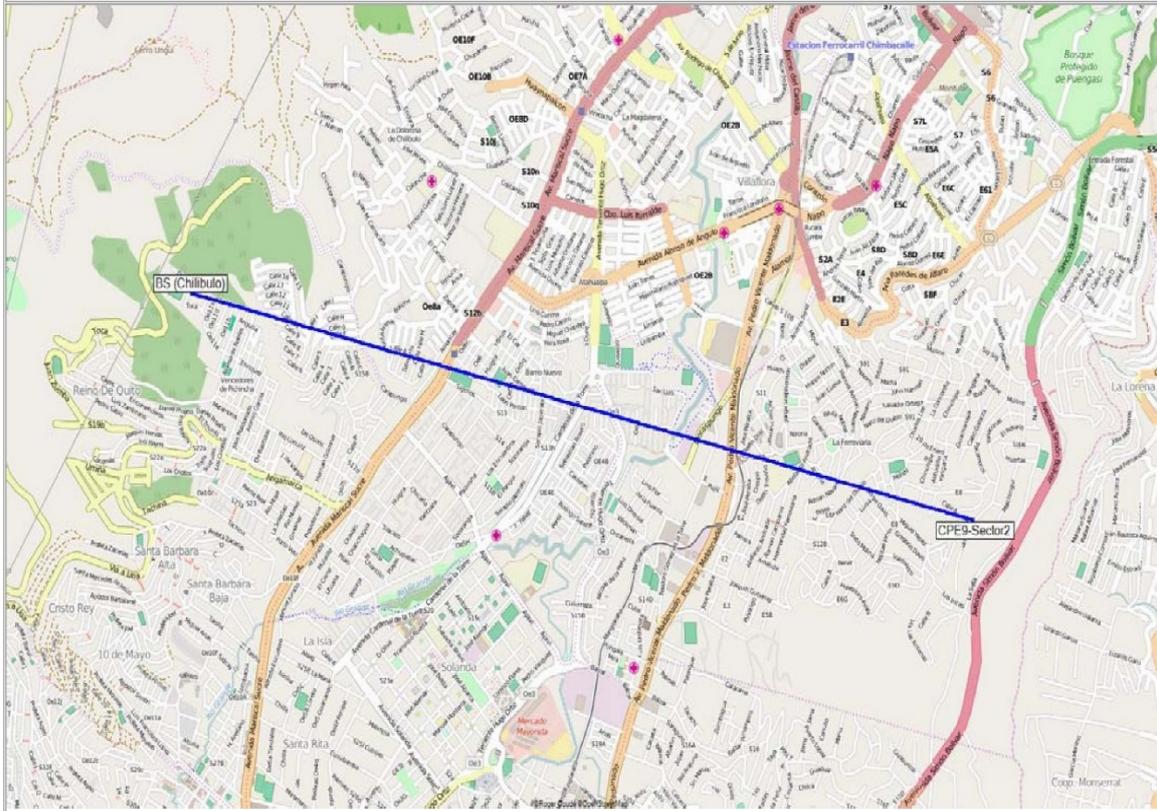
Enlace8-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE8-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.257496 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.509157 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2998.1 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	9.0 m
Azimuth	99.03 TN   102.02 MG °	Azimuth	279.03 TN   282.05 MG °
Inclinación	-0.25 °	Inclinación	0.20 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	117.62 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.81 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.17 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	147.99 dB
<b>Performance</b>			
Distance			5.272 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			6.315 W
Ganancia del sistema			170.52 dB
Fiabilidad requerida			99.000 %
Señ recibida			-90.48 dBm
Señ recibida			6.70 µV
Márgen de escucha			22.54 dB



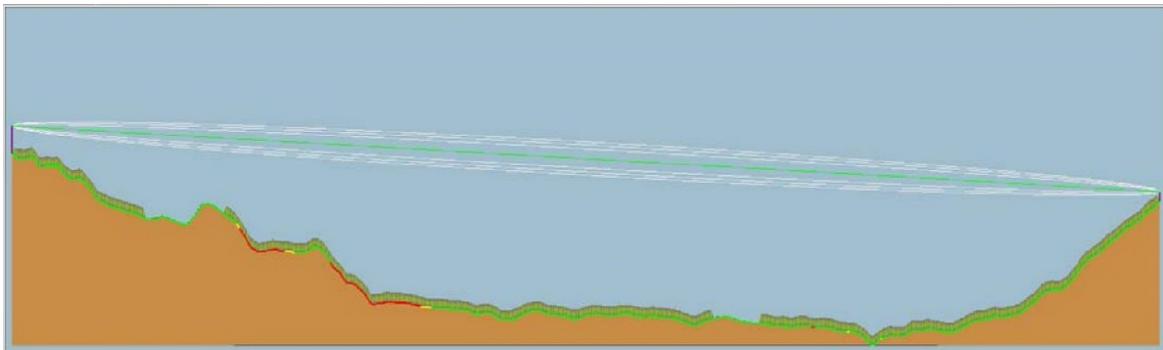
### Anexo 9. Enlace 9 Sector 2



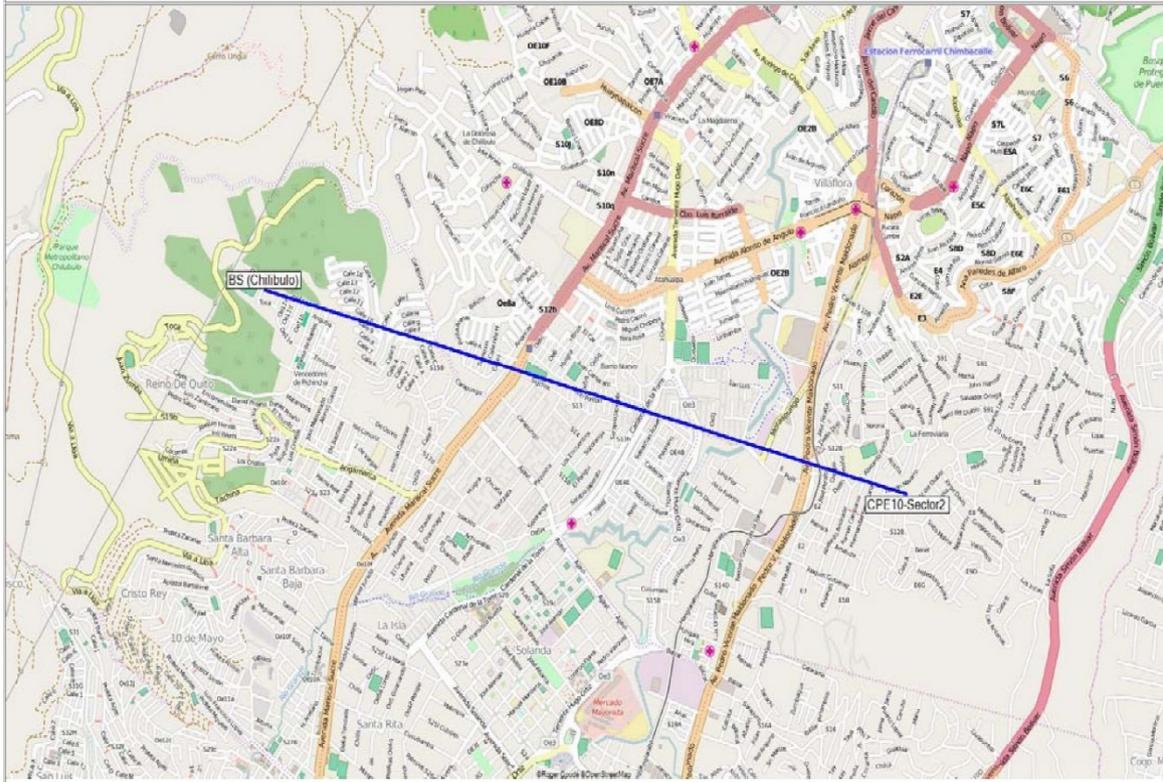
Enlace9-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE9-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.261386 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.507564 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	3088.8 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	15.0 m
Azimuth	103.17 TN   106.16 MG °	Azimuth	283.17 TN   286.19 MG °
Inclinación	0.76 °	Inclinación	-0.81 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	118.04 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.37 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.19 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	149.59 dB
<b>Performance</b>			
Distance			5.529 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			6.315 W
Ganancia del sistema			170.52 dB
Fiabilidad requerida			99.000 %
Señ recibida			-92.09 dBm
Señ recibida			5.57 µV
Márgen de escucha			20.93 dB



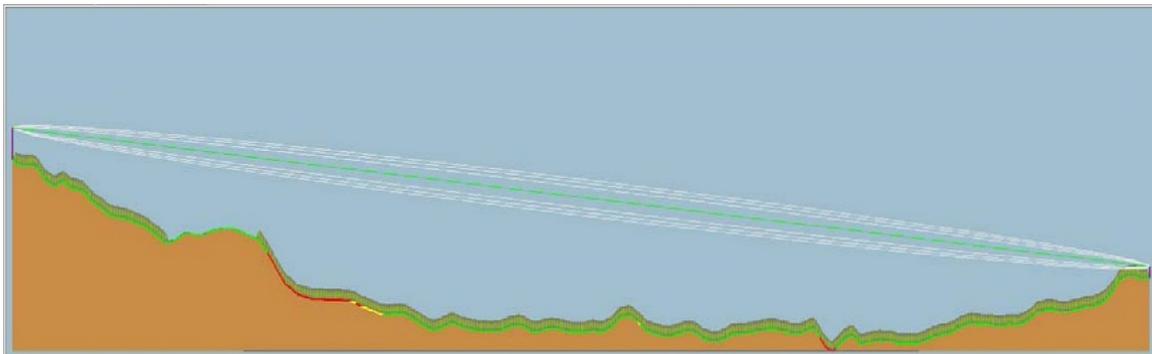
### Anexo 10. Enlace 10 Sector 2



Enlace10-WiMax			
<b>BS (Chilibuto) (1)</b>		<b>(2) CPE10-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.260639 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.516512 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2949.9 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	105.01 TN   108.00 MG °	Azimuth	285.01 TN   288.02 MG °
Inclinación	-0.87 °	Inclinación	0.83 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	116.33 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.49 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.18 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	148.00 dB
<b>Performance</b>			
Distance		4.544 km	
Precisión		10.0 m	
Frecuencia		3460.000 MHz	
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente		6.315 W	
Ganancia del sistema		170.52 dB	
Fiabilidad requerida		99.000 %	
Señ recibida		-90.50 dBm	
Señ recibida		6.69 µV	
Márgen de escucha		22.52 dB	



### Anexo 11. Enlace 11 Sector 2



Enlace11-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE11-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.267148 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.521902 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2890.0 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	116.64 TN   119.62 MG °	Azimuth	296.64 TN   299.64 MG °
Inclinación	-1.74 °	Inclinación	1.71 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	115.73 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.24 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.16 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	148.13 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	4.239 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-90.63 dBm
Señ recibida	6.58 µV
<b>Márgen de escucha</b>	22.39 dB

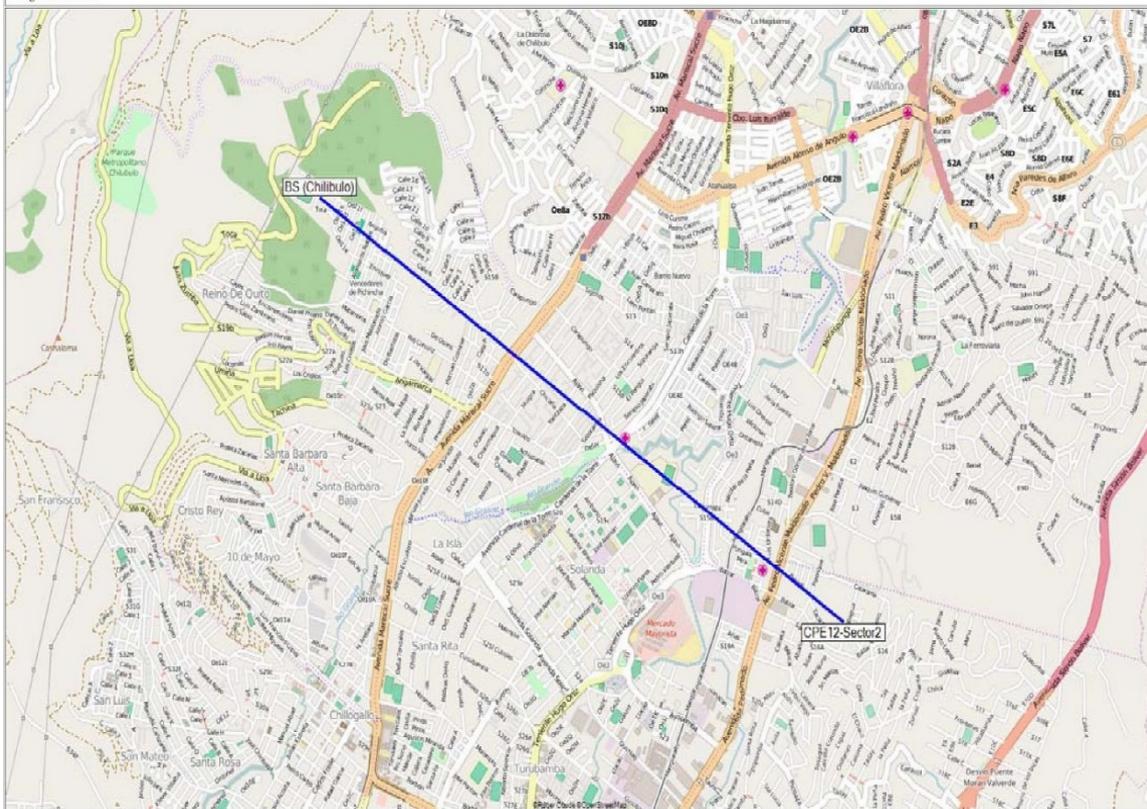


## Anexo 12. Enlace 12 Sector 2

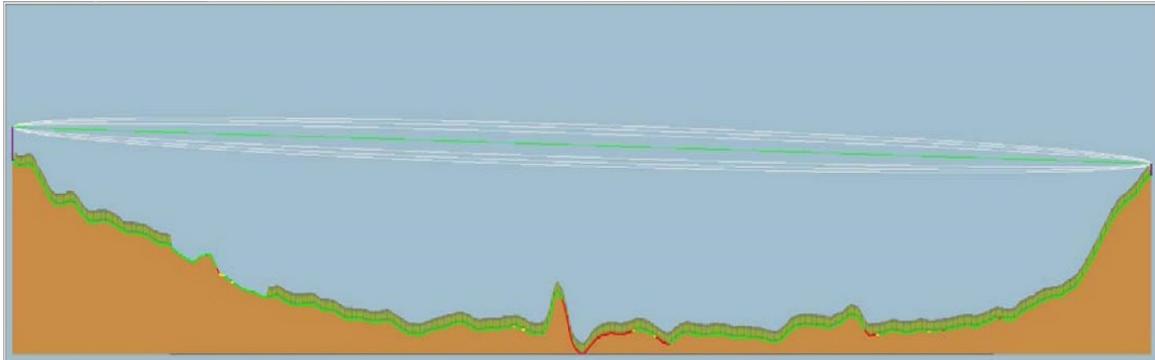


Enlace12-WiMax			
<b>BS (Chilbulo) (1)</b>		<b>(2) CPE12-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.271305 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.523593 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2877.8 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	9.0 m
Azimuth	123.27 TN   126.26 MG °	Azimuth	303.27 TN   306.27 MG °
Inclinación	-1.89 °	Inclinación	1.85 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	115.87 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.86 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.15 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	148.88 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>4.307 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-91.38 dBm
Señ recibida	6.04 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>21.64 dB</b>

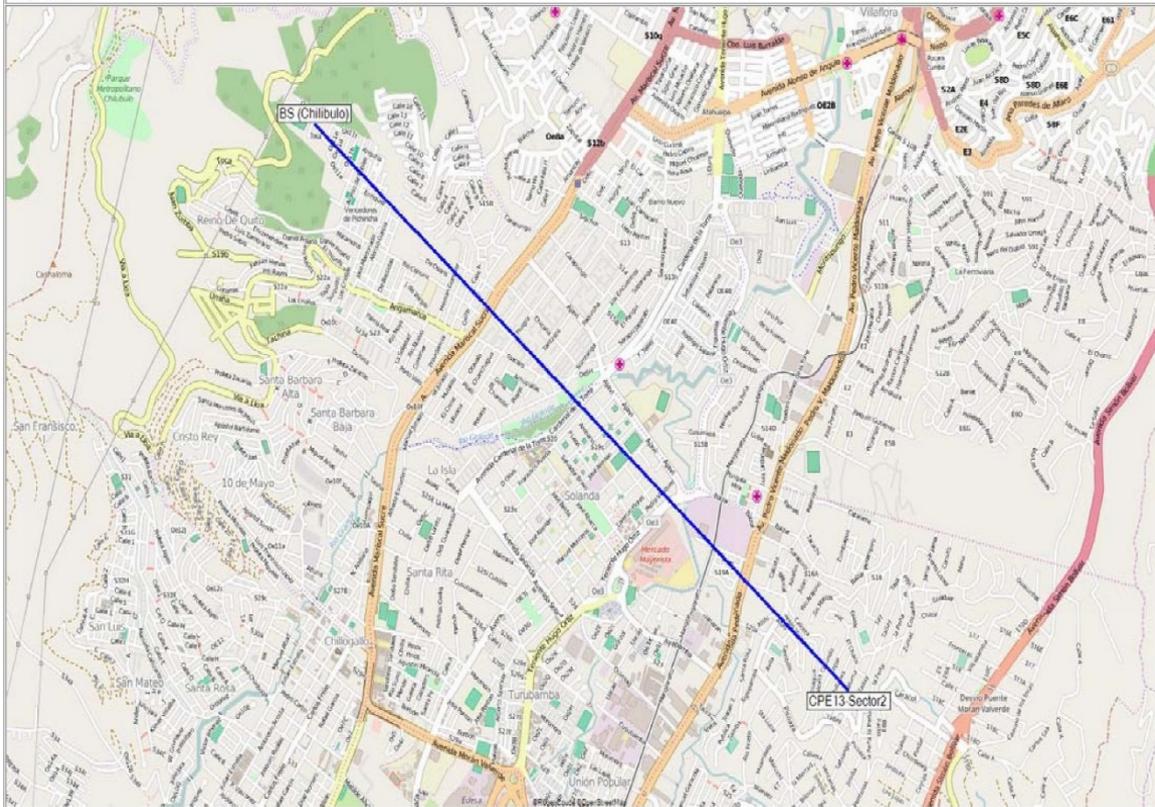


### Anexo 13. Enlace 13 Sector 2

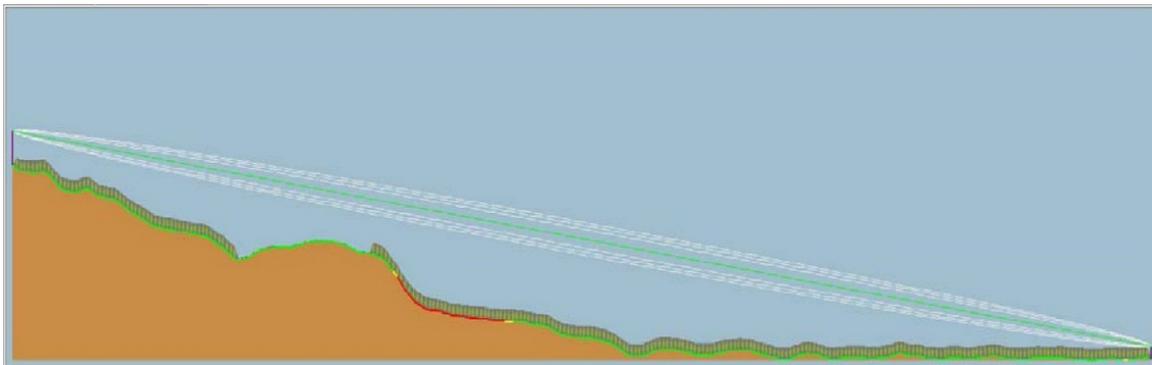


Enlace13-WiMax			
<b>BS (Chilubulo) (1)</b>		<b>(2) CPE13-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.278411 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.522945 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2986.4 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	130.64 TN   133.63 MG °	Azimuth	310.64 TN   313.65 MG °
Inclinación	-0.39 °	Inclinación	0.35 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	116.88 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.54 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.17 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	147.51 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>4.841 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-90.00 dBm
Señ recibida	7.08 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>23.02 dB</b>

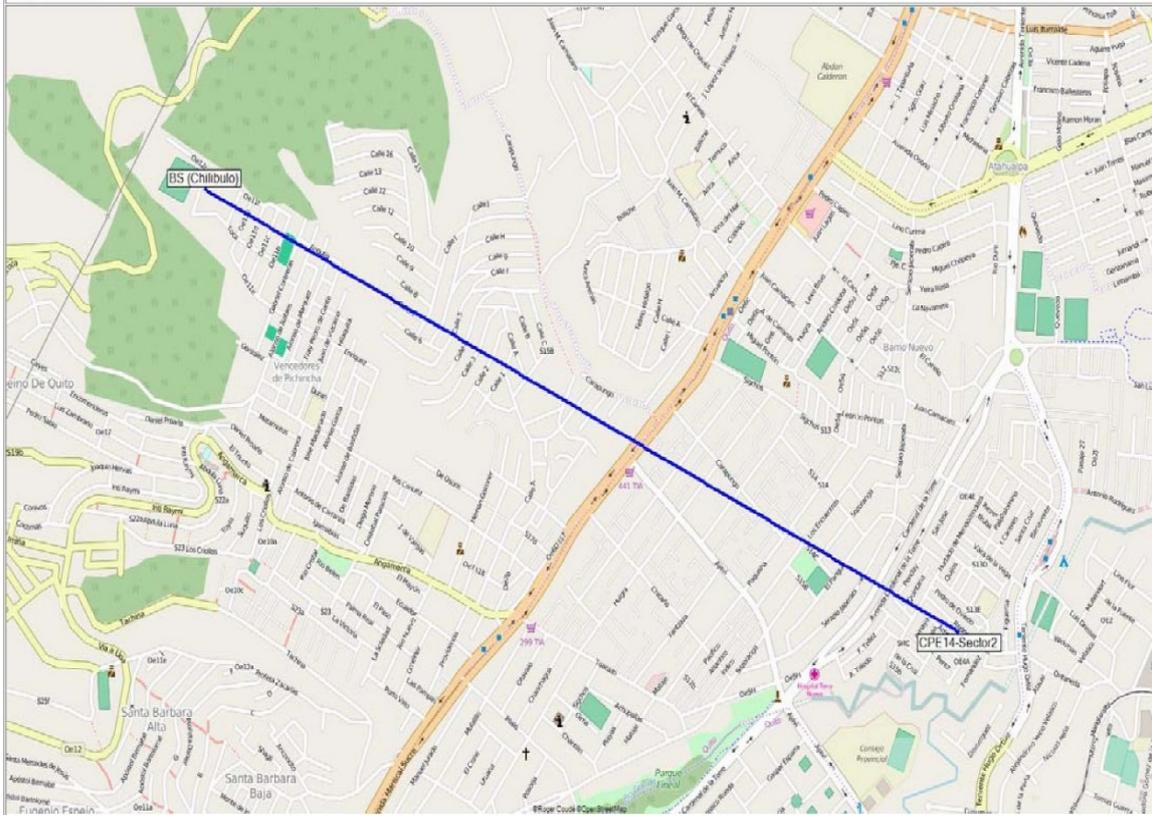


### Anexo 14. Enlace 14 Sector 2

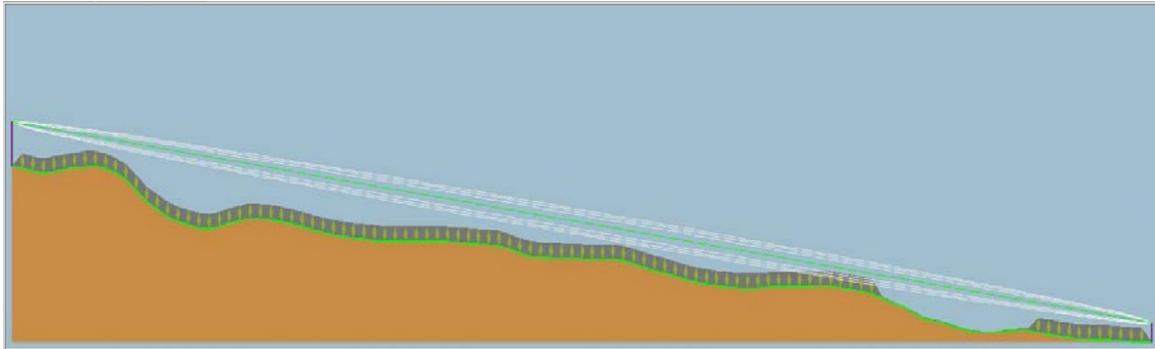


Enlace14-WiMax			
<b>BS (Chilbulo) (1)</b>		<b>(2) CPE14-Sector2</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.261051 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.532640 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2836.1 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	11.0 m
Azimuth	115.23 TN   118.21 MG °	Azimuth	295.23 TN   298.23 MG °
Inclinación	-3.61 °	Inclinación	3.59 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	112.35 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-5.16 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.17 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	138.37 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>2.869 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3460.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-80.87 dBm
Señ recibida	20.26 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>32.15 dB</b>

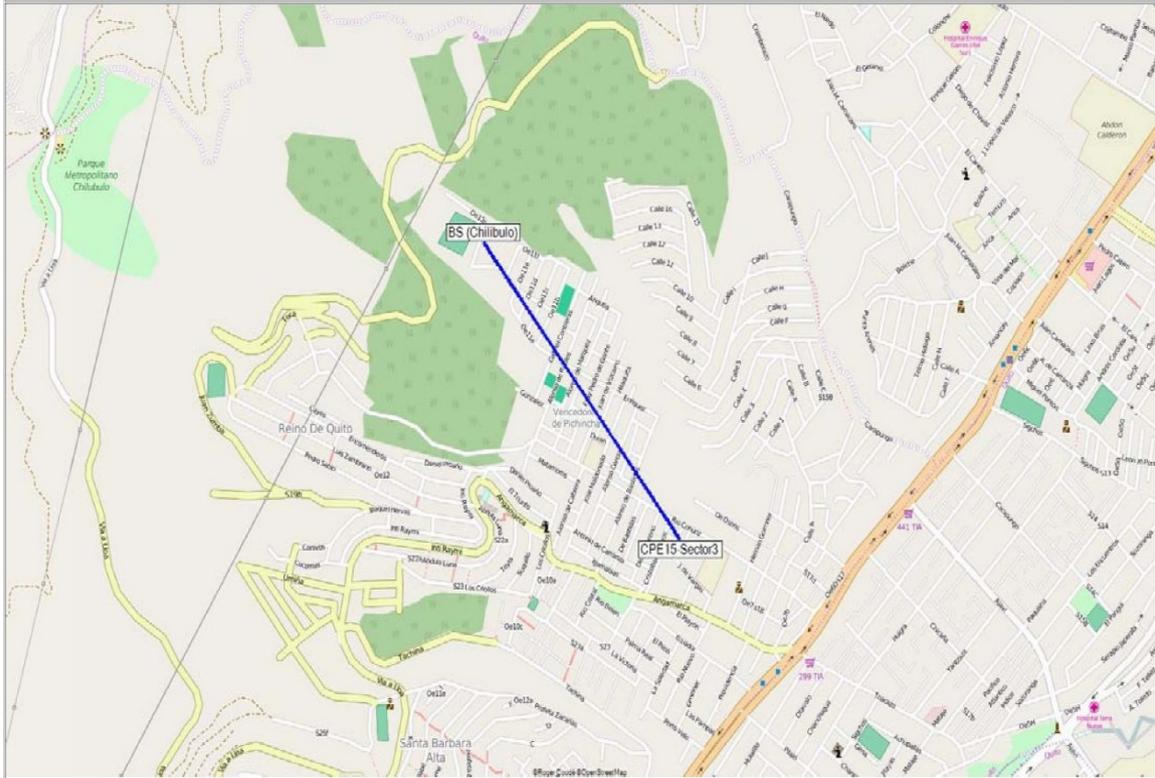


### Anexo 15. Enlace 15 Sector 3

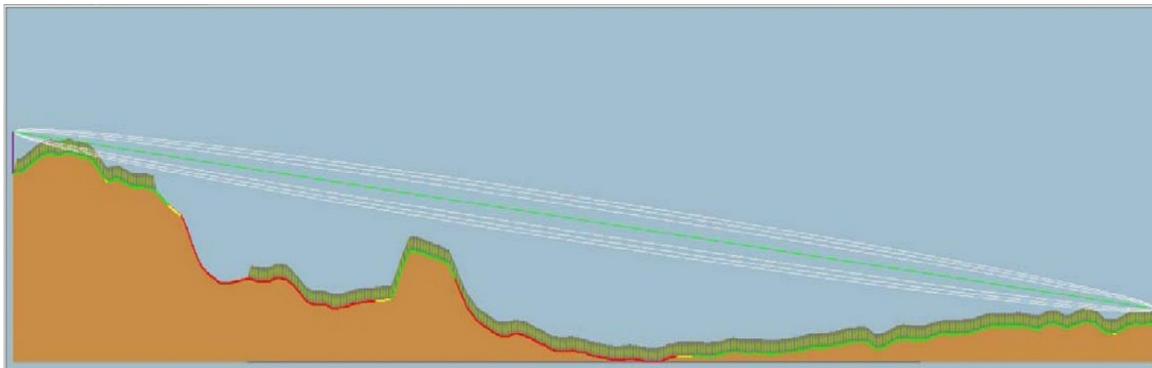


Enlace15-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>			<b>(2) CPE15-Sector3</b>
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.257757 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.549899 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2881.2 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	13.0 m
Azimuth	141.71 TN   144.70 MG °	Azimuth	321.71 TN   324.70 MG °
Inclinación	-6.98 °	Inclinación	6.97 °
<b>Sistema de radio</b>			<b>Propagation</b>
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	104.03 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.52 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.10 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	134.61 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>1.091 km</b>
Precisión	9.9 m
Frecuencia	3470.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señal recibida	-77.10 dBm
Señal recibida	31.24 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>35.92 dB</b>

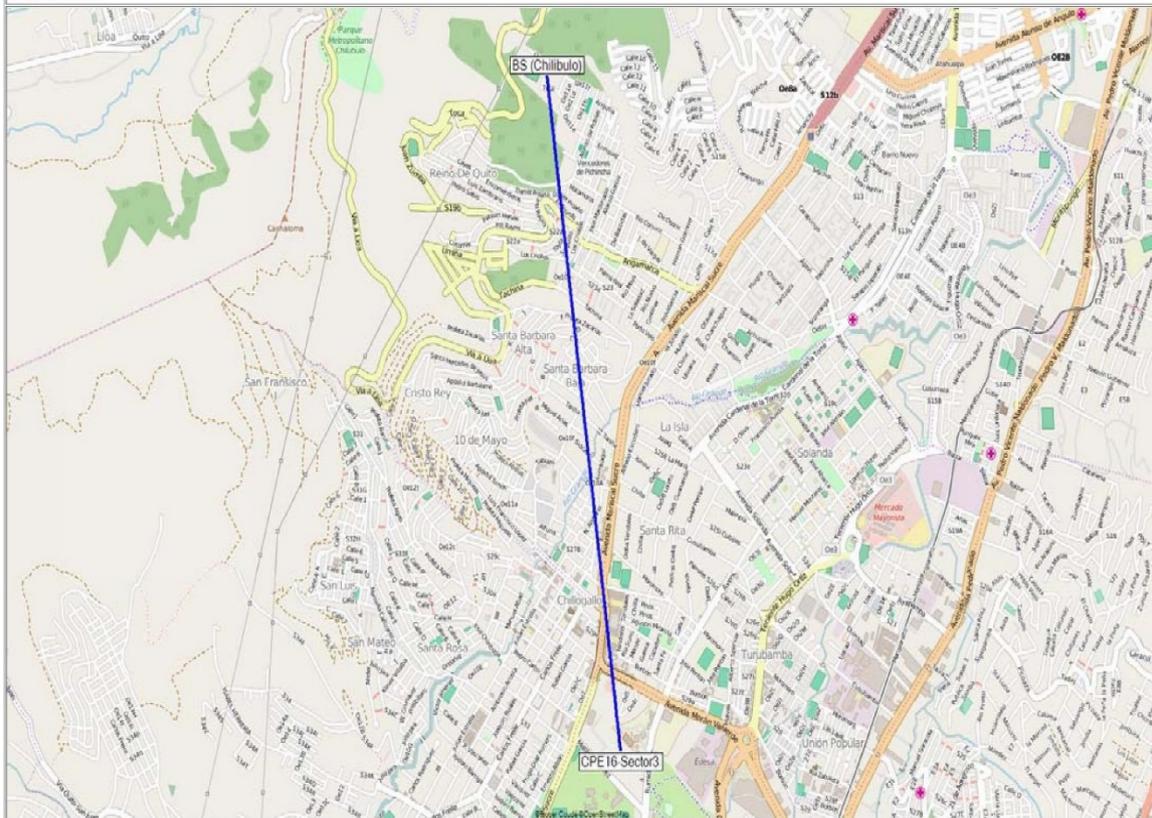


### Anexo 16. Enlace 16 sector 3

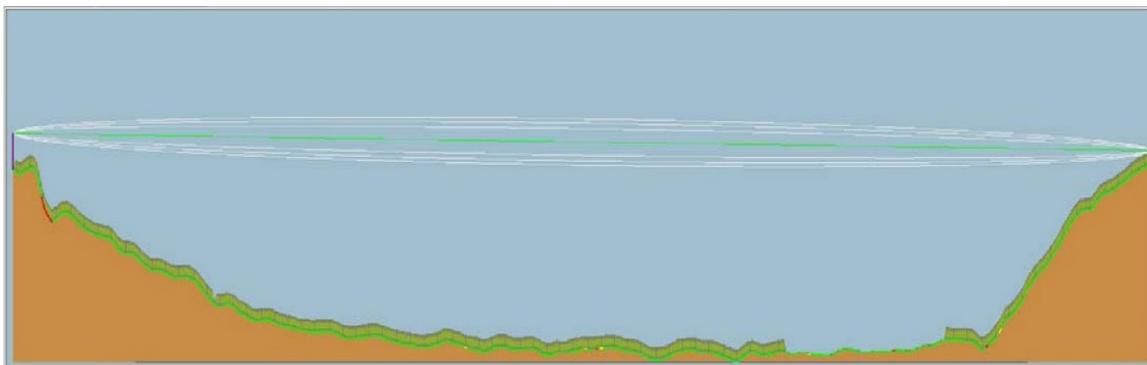


Enlace16-WiMax			
<b>BS (Chilbulo) (1)</b>		<b>(2) CPE16-Sector3</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.283428 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.551435 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2894.5 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	172.24 TN   175.23 MG °	Azimuth	352.24 TN   355.23 MG °
Inclinación	-1.90 °	Inclinación	1.87 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	114.68 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.81 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.14 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	146.01 dB

<b>Performance</b>	
Distance	3.745 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3470.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-88.51 dBm
Señ recibida	8.41 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>24.51 dB</b>

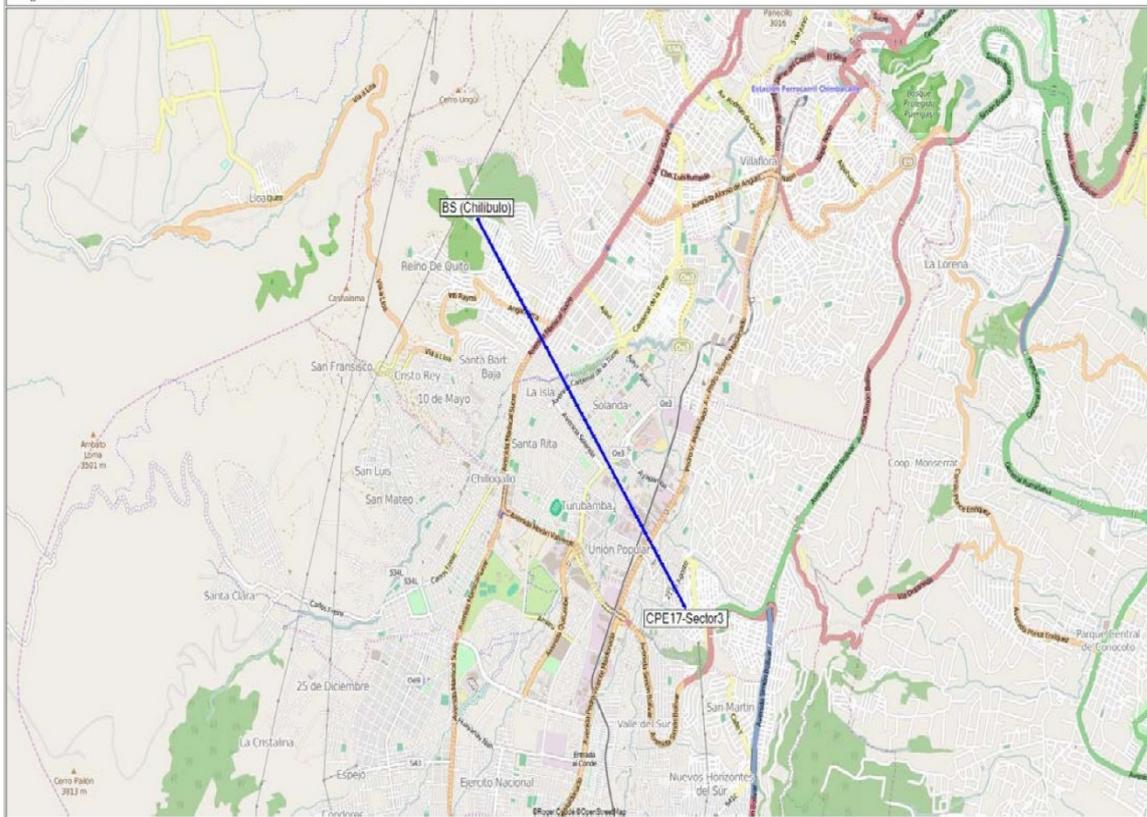


### Anexo 17. Enlace 17 Sector 3



Enlace17-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE17-Sector3</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.288825 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.530056 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	3004.7 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	9.0 m
Azimuth	146.23 TN   149.22 MG °	Azimuth	326.23 TN   329.23 MG °
Inclinación	-0.18 °	Inclinación	0.13 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	117.50 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.17 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.16 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	148.50 dB

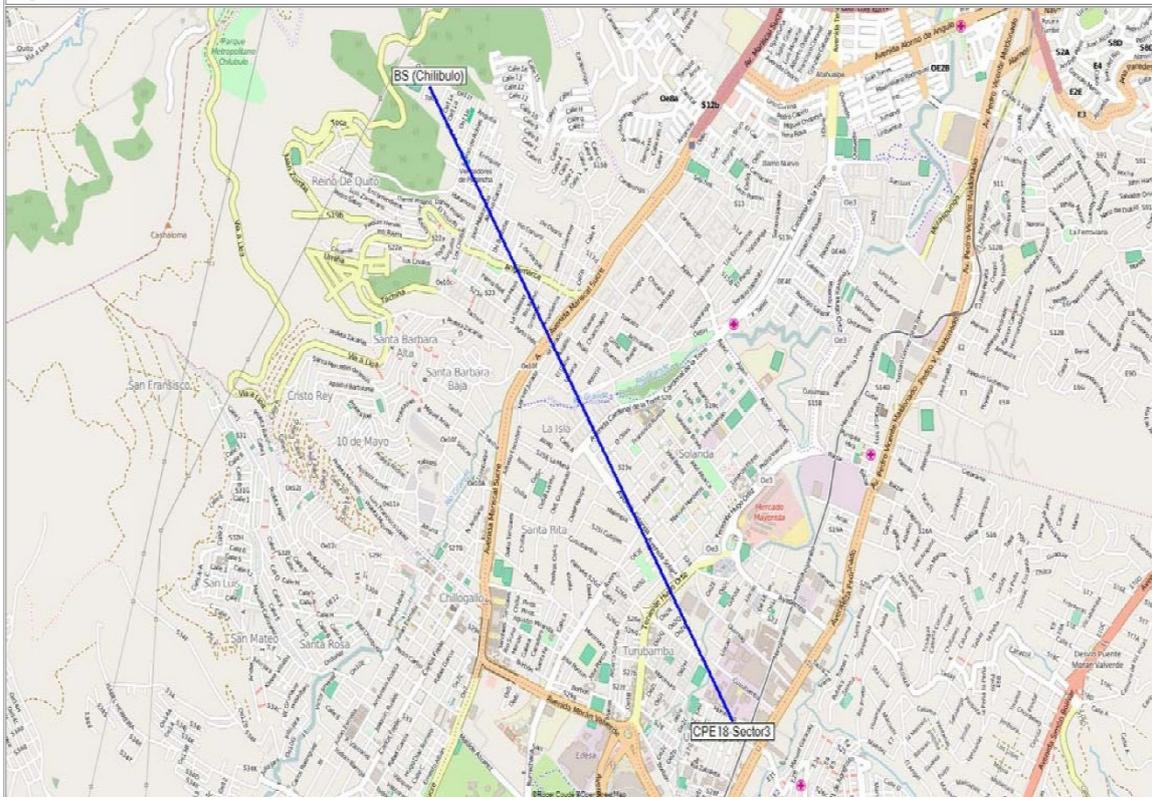
<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>5.186 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3470.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-90.99 dBm
Señ recibida	6.31 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>22.03 dB</b>



### Anexo18. Enlace 18 Sector 3



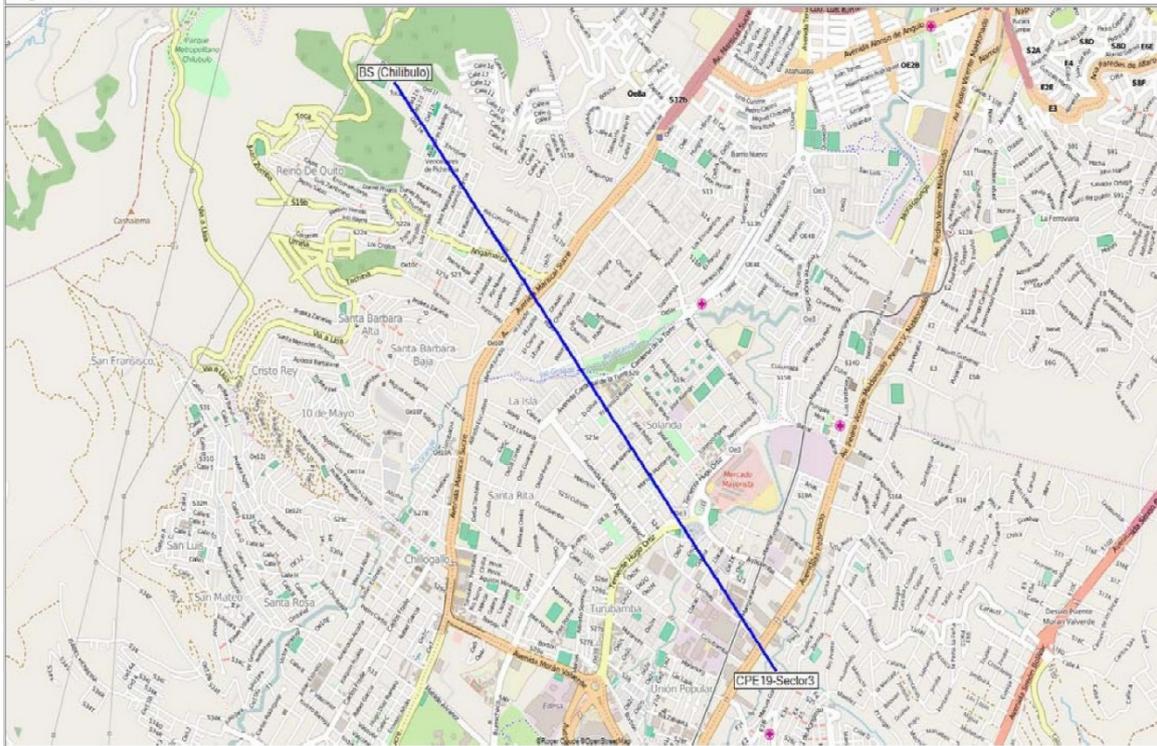
Enlace18-WiMax			
<b>BS (Chilibulo) (1)</b>		<b>(2) CPE18-Sector3</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.282209 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.537185 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2860.0 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	9.0 m
Azimuth	149.69 TN   152.68 MG °	Azimuth	329.69 TN   332.69 MG °
Inclinación	-2.21 °	Inclinación	2.17 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	115.56 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-0.52 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	1.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.11 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	147.14 dB
<b>Performance</b>			
Distance			4.142 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			3470.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			6.315 W
Ganancia del sistema			170.52 dB
Fiabilidad requerida			99.000 %
Señal recibida			-89.64 dBm
Señal recibida			7.38 µV
Márgen de escucha			23.38 dB



### Anexo 19. Enlace 19 Sector 3



Enlace19-WiMax			
<b>BS (Chilubulo) (1)</b>		<b>(2) CPE19-Sector3</b>	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.282016 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.532557 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2868.9 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	10.0 m
Azimuth	143.77 TN   146.75 MG °	Azimuth	323.77 TN   326.76 MG °
Inclinación	-1.95 °	Inclinación	1.91 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	116.09 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	-5.03 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.12 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	142.18 dB
<b>Performance</b>		<b>Márgen de escucha</b>	
Distance			<b>4.406 km</b>
Precisión			10.0 m
Frecuencia			3470.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			6.315 W
Ganancia del sistema			170.52 dB
Fiabilidad requerida			99.000 %
Señ recibida			-84.67 dBm
Señ recibida			13.07 µV
<b>Márgen de escucha</b>			<b>28.35 dB</b>



### Anexo 20. Enlace 20 Sector 3



Enlace20-WiMax

BS (Chilibulo) (1)		(2) CPE20-Sector3	
Latitud	-0.250054 °	Latitud	-0.293740 °
Longitud	-78.555980 °	Longitud	-78.532828 °
Elevación del terreno	2998.7 m	Elevación del terreno	2963.0 m
Altura de la antena	29.0 m	Altura de la antena	6.0 m
Azimuth	152.08 TN   155.06 MG °	Azimuth	332.08 TN   335.07 MG °
Inclinación	-0.64 °	Inclinación	0.59 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagation</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	118.01 dB
Pérdida en cable TX	3.00 dB	Pérdida por obstrucción	0.31 dB
Ganancia de antena TX	18.00 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	20.00 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	31.13 dB
Sensibilidad RX	-113.02 dBm	Pérdida total	149.45 dB

<b>Performance</b>	
<b>Distance</b>	<b>5.498 km</b>
Precisión	10.0 m
Frecuencia	3470.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	6.315 W
Ganancia del sistema	170.52 dB
Fiabilidad requerida	99.000 %
Señ recibida	-91.94 dBm
Señ recibida	5.66 µV
<b>Márgen de escucha</b>	<b>21.08 dB</b>

