



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UNA RED WiMAX DE BANDA ANCHA PARA EL BARRIO SANTO
DOMINGO DE CUTUGLAGUA.

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar el título de ingeniero en redes y telecomunicaciones.

Profesor Guía

MSc. Iván Ricardo Sánchez Salazar

Autor

Jonathan Rene Pasquel Proaño

Año

2016

DECLARACION DEL PROFESOR GUIA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, 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”

Iván Ricardo Sánchez Salazar
Magister en Calidad, Seguridad y Ambiente
CI.18030456142

DECLARACION 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”

Jonathan René Pasquel Proaño

CI. 1721099552

AGRADECIMIENTOS

Al único y sabio Dios por fortalecerme y darme sabiduría, a mi esposa por el aliento y apoyo incondicional, y a todas las personas que contribuyeron en mi formación profesional.

DEDICATORIA

Al Dios omnipotente creador de todas las maravillas del universo quien con su espíritu me formo y con su soplo me dio la vida. A mi amada esposa que es mi inspiración y ha estado conmigo en los buenos y malos momentos, a mi familia y amigos por su apoyo y preocupación en este camino.

RESUMEN

El presente trabajo comprende el diseño de una red WiMAX para el servicio de internet de banda ancha en el barrio Santo Domingo de Cutuglagua, donde la razón principal es proponer esta tecnología como una alternativa para ampliar la provisión del acceso universal de tecnologías de la información tal como está establecido en el Plan Nacional del Buen Vivir y de esta manera se contribuye para el avance tecnológico en dicho barrio.

WiMAX es una tecnología de transmisión de datos, que al ser inalámbrica tiene varias ventajas a favor comparado con otras tecnologías que utilizan un medio guiado, una de ellas y la más importante, es el fácil acceso de última milla a lugares complicados de acceder. Mediante este trabajo de titulación, se realiza un estudio de esta tecnología donde se demuestra que se pueden alcanzar las velocidades esperadas y suficientes para abastecer de internet a toda un área específica.

En el diseño se puede observar los distintos tipos de elementos y equipos a utilizar, así como también distintos fabricantes y proveedores para realizar la interconexión de la red. Una vez terminado el diseño se realiza varias simulaciones donde se puede comprobar teóricamente la viabilidad y correcto funcionamiento del proyecto, se termina realizando un análisis costo- beneficio para saber cuan factible, económico y beneficioso es implementar una red WiMAX para la transmisión de internet.

ABSTRACT

This work includes the design of a red WiMAX service broadband Internet in Barrio Santo Domingo de Cutuglagua, where the main reason is proposing this Technology as an alternative to extend the provision of universal access to technology information, such as that established in the National plan for Good Living and contributes to the technological advancement in this district.

WiMAX is a technology Data Transmission, which if and Wireless has several advantages compared with a favor of other technologies using an middle guided, one and most important, is the easy access last mile to places complicated Access . This work contains a study of wireless technology where can show that you achieve expect and enough to supply a specific area Internet all speeds.

In the design you can see the different types of items and equipment how to use one, as well as different manufacturers and suppliers for network interconnection. Once you have completed the design it performs various simulations where you can check the feasibility and theoretically correct operation of the project, finally making cost-benefit analysis for how practicable, economical and beneficial saber is to implement a WiMAX red for transmission Internet.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
1 MARCO TEÓRICO	2
1.1 WiMAX	2
1.2 Arquitectura.....	3
1.2.1 Elementos del sistema.....	3
1.2.1.1 CPE (Customer Premises Equipment).....	4
1.2.1.2 BS (Base Station).....	4
1.2.1.3 Red troncal.....	4
1.2.2 Parte Física	4
1.2.3 Parte lógica.....	5
1.2.3.1 Trama.....	6
1.2.3.2 Encabezado	6
1.2.3.3 PAYLOAD	8
1.2.3.4 CRC (Cyclic Redundancy Check)	8
1.3 Estándares	8
1.3.3 Estándar IEEE 802.16	9
1.3.4 Estándar IEEE 802.16 ^a	9
1.3.5 Estándar IEEE 802.16 (b) (c) (d)	9
1.3.6 Estándar IEEE 802.16 (2004).....	9
1.3.7 Estándar IEEE 802.16e	10
1.4 Clasificación.....	11
1.4.1 WiMAX Fijo.....	11
1.4.2 WiMAX Móvil	11
1.5 Topología.....	12
1.5.1 Punto a Punto	12
1.5.2 Punto a Multipunto.....	12
1.5.3 Malla	13
2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	14
2.1 Informacion Barrio Santo Domingo De Cutuglagua	14

2.1.1	Datos Poblacionales.....	14
2.1.2	Datos Geográficos.....	18
3	DISEÑO DE LA RED	21
3.1	Esquema De La Red	22
3.2	Diseño De La Estación Troncal	22
3.2.1	Ubicación Estación Troncal	23
3.2.1.1	Proveedor ISP Carrier.....	23
3.2.1.2	Línea de Vista	27
3.2.1.3	Infraestructura de Telecomunicaciones	29
3.2.2	Cálculo de usuarios	30
3.2.3	Calculo De Ancho De Banda	31
3.2.4	Equipos De La Estación Troncal.....	33
3.2.4.1	Antena.....	33
3.2.4.2	Router	36
3.2.5	Banco De Baterías.....	37
3.3	Diseño Estación Base	38
3.3.1	Ubicación.....	39
3.3.1.1	Distribución de Carga.....	39
3.3.1.2	Linea de Vista	40
3.3.1.3	Infraestructura	40
3.3.2	Equipos De La Estación Base	41
3.3.2.1	Antenas.....	41
3.3.2.2	Router	43
3.3.2.3	El Switch	45
3.3.3	Conexiones.....	46
3.3.4	Banco de baterías.....	46
3.4	Estación Suscriptora.....	47
3.4.1	Access Point	50
4	SIMULACIÓN.....	51
4.1	Simulación Enlace Troncal.....	51
4.2	Simulación Enlace Estación Base-Suscriptor.....	52

4.2.1 Enlace Base-Suscriptor 1	53
4.2.2 Enlace Base-Suscriptor 2	54
4.2.3 Enlace Base-Suscriptor 3	56
4.2.4 Enlace Base-Suscriptor 4	58
5. PERMISOS Y ANALISIS	61
5.1 Permisos.....	61
5.2 Metodología Análisis.....	61
5.3 Mantenimientos.....	63
5.4 Retorno De Inversión.....	63
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.1 Conclusiones	64
6.2 Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de una red WiMAX	3
Figura 2. Trama MAC	6
Figura 3. Encabezado de la trama	7
Figura 4. Topología Punto a Punto.....	12
Figura 5. Topología Punto a Multipunto	13
Figura 6. Topología en Malla.....	13
Figura 7. Número de Viviendas, Hogar, Población.....	14
Figura 8. Niveles de Instrucción	15
Figura 9 Utilización de teléfono celular.....	15
Figura 10. Utilización de Internet.....	16
Figura 11. Utilización de computadoras	16
Figura 12. Disponibilidad de Internet.....	16
Figura 13. Hogares con disponibilidad de computadora	17
Figura 14. Área del Barrio Santo Domingo de Cutuglagua	18
Figura 15. Vista del sector Cutuglagua	19
Figura 16. Barrio Santo Domingo de Cutuglagua.....	19
Figura 17. Barrio Santo Domingo de Cutuglagua 2.....	20
Figura 18. Barrio Santo Domingo de Cutuglagua 3.....	20
Figura 19. Radio de línea de vista Hacia el Barrio	21
Figura 20. Diagrama Solución de la Red.....	22
Figura 21. Elementos Estación Troncal.....	23
Figura 22. Ubicación Estación Troncal.....	26
Figura 23. Sector Factible de línea de vista	28
Figura 24. Perfil Geográfico.....	28
Figura 25. Tipos de Torres	29
Figura 26. Sito de Infraestructura	30
Figura 27. Antena Estación Base	35
Figura 28. Routerboard MikroTik.....	36
Figura 29. Banco de Batería.....	38
Figura 30. Elementos Estación Base	38

Figura 31. Radio de Ubicación Estación Base	39
Figura 32. Línea de vista 1	40
Figura 33. Ubicación Infraestructura	41
Figura 34. Antenas Sectoriales Ubiquiti	42
Figura 35. Routerboard Mikrotik	45
Figura 36. Switch Routerboard Mikrotik	45
Figura 37. Conexiones Estación Base	46
Figura 38. Diagrama de estación Suscriptora	48
Figura 39. Antena NanoStation M2	49
Figura 40. Access Point	50
Figura 41. Simulación Estación Troncal	51
Figura 42. Simulación de estación Troncal	52
Figura 43. Parámetros de Simulación Enlace Troncal 2	52
Figura 44. Enlace-distancia	53
Figura 45. Parámetros Enlace Base-Suscriptor	54
Figura 46. Enlace Base – Suscriptora 2	54
Figura 47. Propagación Enlaces Base – Suscriptor 2	55
Figura 48. Parámetros Enlace Base – Suscriptor 2.....	55
Figura 49. Enlace Base – Suscriptor 3.....	56
Figura 50. Propagación Enlace Base Suscriptor 3.....	57
Figura 51. Parámetros Enlace Base Suscriptora.....	57
Figura 52. Enlace Base Suscriptora 4	58
Figura 53. Propagación Enlace Base Suscriptor 4.....	58
Figura 54. Parámetros Enlace Base – Suscriptor 4.....	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de campos de la cabecera.	7
Tabla 2. Estándares WiMAX	10
Tabla 3. Datos Importantes	17
Tabla 4. Comparativa ISP	24
Tabla 5. Comparativa de precios ISP	25
Tabla 6. Precio y velocidad a contratar	25
Tabla 7. Comparativa Antenas	34
Tabla 8. Especificaciones Antena Rocket Dish	35
Tabla 9. Comparativa Ruteadores.....	36
Tabla 10. Especificaciones de Antena Sectorial.....	43
Tabla 11. Tabla de Resultados de Simulación	60
Tabla 12. Estimaciones de costes-beneficios.....	62
Tabla 13. Retorno de Inversión y Valor Actual	62
Tabla 14. Costos Telconet	73
Tabla 15. Costos Antena	80
Tabla 16. Costos Equipos electrónicos	81
Tabla 17. Costos Elementos Adicionales	81
Tabla 18. Costos Mantenimientos	82
Tabla 19. Costo Total	82
Tabla 20. Costos de Internet	83
Tabla 21. Total Ingreso Anual	83

INTRODUCCION

El manejo de las tecnologías de la información en el mundo ha progresado notablemente, tanto que en la actualidad se convirtió en algo tan necesario llegándose a comparar con un servicio básico como el agua potable o la luz eléctrica. Lamentablemente la mayoría de países subdesarrollados no han alcanzado a cubrir en su totalidad con estas tecnologías a su población, el Ecuador no es la excepción, las zonas rurales han sido las más afectadas en cuanto a acceso a las tecnologías, por esta razón es necesario encontrar una solución práctica y eficiente para abastecer de estos servicios donde es complicado acceder con tecnologías más avanzadas como la fibra óptica o cable de cobre.

WiMAX ha sido una tecnología muchas veces subestimada al no utilizar un medio físico para su transmisión. Por esta razón el presente trabajo está enfocado en demostrar las enormes ventajas que representa esta tecnología en comparación con las desventajas que conlleva, y que puede fácilmente alcanzar la velocidad necesaria para lograr satisfacer las necesidades de un cliente promedio en el Ecuador.

De esta forma se intenta establecer una alternativa de difusión de acceso a las tecnologías de la información para los distintos proveedores de internet en ampliar su red a lugares con complicaciones de acceso o ISP que cuentan con una infraestructura inalámbrica, teniendo la seguridad que se puede competir en el mercado con las velocidades de transmisión igual o superior a las ofrecidas por empresas ya posicionadas en el Ecuador.

1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explora en los conceptos y características de la tecnología WiMAX, sobre los cuales estará basado el diseño de la red propuesta en este trabajo.

1.1 WiMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), es el nombre que se da a toda clase de tecnología incluyendo equipos físicos de comunicación, que realiza su funcionamiento basado en el estándar IEEE802.16, para conocer un poco mejor acerca de este estándar, se puede decir que es una especificación para redes inalámbricas de banda ancha especializado en acceso punto multipunto. Dentro del estándar se encuentran así mismo todos los equipos que permiten la comunicación por medio de tecnología WiMAX y los cuales deben ser acreditados con una certificación que es provista únicamente por (WiMAX fórum certified) para su comercialización y uso. (Cardenas, 2009).

El avance tecnológico ha permitido que el estándar IEEE 802.16 llegue a velocidades de 1 a 134 Mbps y una capacidad de cobertura de hasta 50 km para usuarios fijos y de uno hasta 8 km para usuarios móviles, permitiendo transmitir imágenes, video, teleconferencias, servicios multimedia, datos IP, datos ATM, voz, televisión celular, televisión interactiva y muchos otros servicios, con diferentes tipos de calidad de servicio, claramente este ancho de banda puede cumplir con la transmisión necesaria para un cliente promedio en el Ecuador que llega de 3 a 4 Mbps por usuario, con una alta disponibilidad de hasta 99.99% por año si la implementación se la realiza cuidadosamente tomando en cuenta los diferentes factores que afectan los radioenlaces como por ejemplo la zona de freznel. (WIKITEL, s.f.).

1.2 Arquitectura

WiMAX al ser una tecnología aprobada y certificada, ha definido una arquitectura de interoperabilidad que permite la transmisión de datos de una manera estándar, los recursos que se manejan aportan en la funcionalidad de un enlace física y lógicamente. Además la división de una red WiMAX permite que los diferentes tipos de fabricantes y proveedores permitan una conectividad de extremo a extremo mediante los equipos que proponen para cada parte de la arquitectura. Esta tecnología está dividida por su parte física y lógica, por su topología y finalmente por sus elementos.

1.2.1 Elementos del sistema

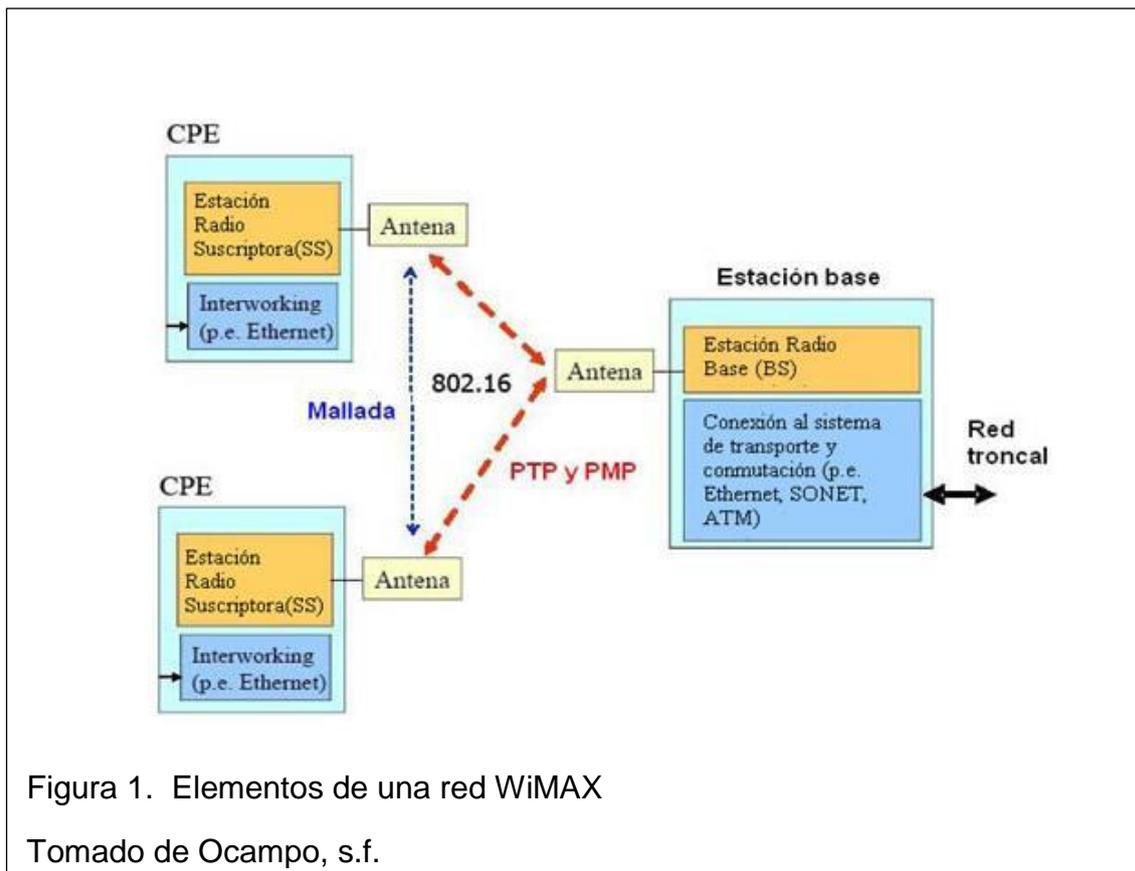


Figura 1. Elementos de una red WiMAX

Tomado de Ocampo, s.f.

1.2.1.1 CPE (Customer Premises Equipment)

El equipo de usuario o CPE (Customer Premises Equipment). Este es el equipo que incorpora las funciones de las SS (Subscriber Station) identificadas en el funcionamiento de las redes Broadband Wireless Acces (BWA). Se considera a la sección de CPE a la unidad terminal que está básicamente asociada con el usuario, una característica que se puede distinguir en Wimax es que la antena receptora puede tener la función de CPE, así como también puede ser un equipo distinto a la antena. (Fundamentos de Telecomunicaciones, s.f.)

1.2.1.2 BS (Base Station)

La estación base con las funciones de BS (Base Station). Además de proporcionar conectividad con las estaciones suscriptoras, también proporciona los mecanismos de control y gestión de los equipos de última milla en el cliente. La estación base tiene los elementos necesarios para conectarse con el sistema de distribución, son las antenas principales del proveedor las cuales emiten la señal principal para la distribución.

1.2.1.3 Red troncal

La red troncal de una red Wimax es la unión entre los distintos núcleos de distribución que pueda llegar a tener la red en sí, en otro punto, si la red no tiene más de un núcleo de distribución la red troncal es el acceso o la interconexión al proveedor principal o carrier.

1.2.2 Parte Física

La infraestructura que utiliza esta red contiene los elementos antes mencionados, los cuales realizan su actividad de la siguiente forma, en primer lugar se tiene a la estación base, este elemento que se identifica normalmente con un operador de comunicaciones, en donde existen una o varias antenas con las que se retransmite la señal. La estación base está colocada en un lugar

alto que sobrepase obstrucciones de línea de vista, en la estación base es donde existen varios elementos físicos importantes para la implementación.

La estación base debe contener comúnmente los siguientes principales elementos:

- Conexiones a tierra
- Cuarto de equipos
- Switch de distribución
- Regleta Eléctrica
- UPS
- Banco de Baterías
- Torre de Telecomunicaciones
- Antenas Transmisoras.

Comúnmente esta sobre una torre o en una alta edificación. Las antenas que se ubican en este extremo pueden ser omnidireccionales, de muchas direcciones, sectoriales, que cubren sectores específicos del territorio de cobertura, o antenas de panel, para conexiones punto a punto, cuando se quiere cubrir una gran distancia. (Ocampo, 2009)

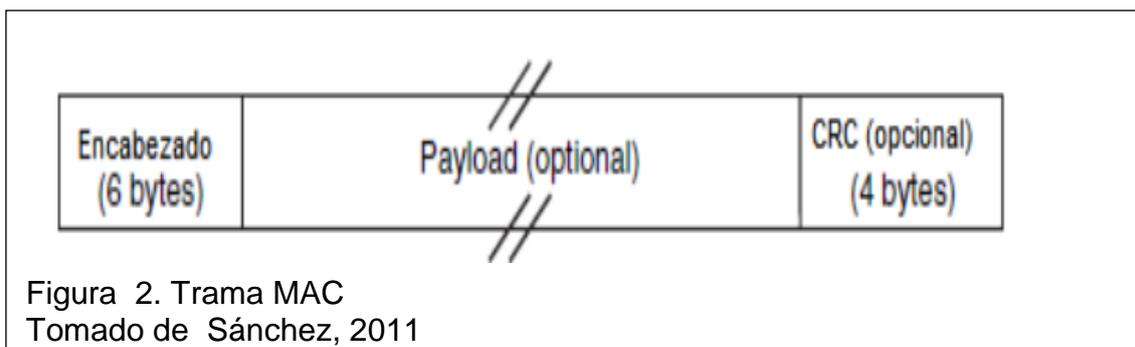
En el otro extremo de la conexión, está el usuario final, que puede ser residencial o corporativo, se encuentra instalado el CPE, que constituye el último eslabón de este tipo de redes y en donde acaba el flujo de transferencia de datos entre operador y el cliente final. Las partes que constituyen el lado receptor tienen menos elementos físicos los cuales constan de antenas receptoras, cables de conexión y router home, dependiendo el tipo de servicio.

1.2.3 Parte lógica

La parte lógica de WiMAX está dividida en los estándares que identifican la operatividad según el tipo de red y frecuencias utilizadas, y por otro lado está el tipo de red con la cual se va a dar el acceso de última milla.

1.2.3.1 Trama

La trama MAC que se aplica a esta tecnología, está definida en tres partes como se muestra en la figura 2, está conformada por un encabezado, un payload y un crc.



1.2.3.2 Encabezado

Cada capa añade un encabezado, antes de pasarla a una capa inferior. Los encabezados contienen información de control para los dispositivos de red y receptores que aseguran la apropiada entrega de los datos y que el receptor interprete correctamente lo que recibe. El encabezado tiene dos formatos diferentes para la transmisión de datos, este formato es designado por un campo llamado type.

El primer formato es GMH (Generic MAC Header) que es el encabezado genérico de la capa mac, este tipo de encabezado informa particularmente que contiene mensajes de administración o mensajes de las capas superiores.

El segundo es el encabezado sin payload el cual no lleva consigo carga, generalmente es para reserva de ancho de banda. En la figura 3 se observa un diagrama del encabezado de la trama. (Sánchez, 2011)

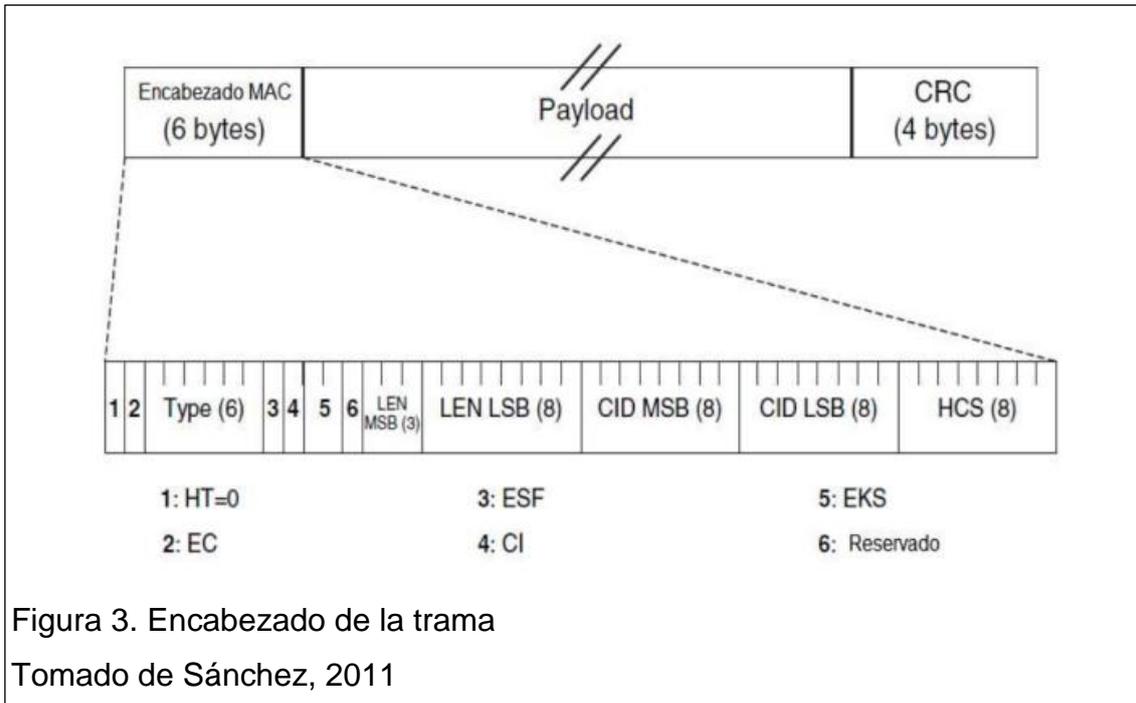


Tabla 1. Tabla de campos de la cabecera.

CAMPO	DESCRIPCIÓN
HT (Header Type) (1 bit)	Indica el tipo de l encabezado, como se mencionó existen el tipo genérico MGH y el que no tiene payload y CRC.
EC (Encryption Control) (1bit)	Indica si el payload ha sido encriptado.
Type (6 bits)	Indica la presencia de sub-encabezados, y tipos especiales de payload.
ESF (Extended Subheader Field) (1 bit)	Indica si este tipo de encabezado está presente después del GMH, en Up/Downlink.
CI (CRC Indicator) (1 bit)	Indica la presencia o ausencia del CRC.
EKS (Encryption Key Sequence) (5 bits)	Es el índice de la clave de encriptación de tráfico y vector de inicialización usado en la

	encriptación del payload.
LEN (Length) (11 bits):	Longitud en bytes de la MAC PDU incluyendo Mac Header y CRC
CID (Connection ID) (16 bits):	Contiene el identificador de conexión mencionado en la sección anterior.
HCS (Header Check Sequence) (8 bits)	Secuencia usada para detectar errores en el encabezado.

Tomado de Sánchez, 2011

Nota: En la tabla1 se observa una descripción de cada uno de los campos antes mencionados, cabe recalcar que se está utilizando el encabezado mac que contiene carga.

1.2.3.3 PAYLOAD

El payload es la carga útil que tiene la trama es por esta razón que no tiene un número fijo de bytes, de otra forma se puede decir que es la información que se está transmitiendo.

1.2.3.4 CRC (Cyclic Redundancy Check)

Cyclic Redundancy Check los 4 bytes de este campo está destinado para la corrección de errores, este es un código fácil de identificar matemáticamente, y utiliza lenguaje binario.

1.3 Estándares

IEEE 802.16 tiene una serie de estándares inalámbricos conocidos como Wireless Man, aunque su nombre comercial como se ha mencionado anteriormente es WiMAX, a continuación se explicará brevemente las características de los principales estándares.

1.3.3 Estándar IEEE 802.16

Este estándar creado en el 2002 define las frecuencias de los enlaces inalámbricos punto – multipunto, las cuales están en el rango de 10 hasta 66 GHz, comprende las técnicas de modulación con QAM y QPSK, en este estándar teóricamente se puede transmitir velocidades de 134 Mbps con 28 MHz por cada canal utilizado en celdas de 2 a 5 Km. (Racines, 2007)

1.3.4 Estándar IEEE 802.16^a

Diseñado en el 2003 este estándar define frecuencias de operación en el rango de 2 hasta 11 GHz con sistemas que establecidos en conexiones fijas de última milla con o sin línea de vista (LOS y NLOS) en modalidad punto – punto y punto multipunto, dentro de este estándar ya se definen parámetros de calidad de servicio, soporta velocidades de hasta 75 Mbps con canales de 20 MHz, utiliza Duplexación por División de Tiempo (TDD) y Duplexación por División de Frecuencia (FDD). (Racines, 2007)

1.3.5 Estándar IEEE 802.16 (b) (c) (d)

IEEE 802.16b se enfoca en la transmisión de datos mediante las frecuencias entre 5 y 6 GHz con calidad de servicio a tiempo real. IEEE 802.16c denomina especificaciones detalladas para las frecuencias de 10 a 66 GHz para mejorar transmisiones y operatividad. IEEE 802.16d define tres tipos de modulación para la capa física. (Racines, 2007)

1.3.6 Estándar IEEE 802.16 (2004)

Este estándar es una mejora de las certificaciones de los años anteriores, tiene soporte para múltiple entrada y múltiple salida, contiene mejoras en parámetros de estabilidad inalámbrico que permiten un aumento en el rendimiento de las

transmisiones incluyendo técnicas mejoradas de modulación que influyen en la reducción de interferencias. (Racines, 2007)

1.3.7 Estándar IEEE 802.16e

La certificación para este estándar se obtiene en el 2004 es una extensión para dispositivos móviles, operando en frecuencias bajo los 11 GHz, se propone una velocidad de 40 Mbps teóricamente, esta extensión no es compatible con IEEE 802.16 (2004). (Racines, 2007)

Tabla 2. Estándares WiMAX

Parámetro	802.16-2001	802.16^a-2003	802.16-2004	802.16e 2005
Velocidad	32-134 Mbps	75 Mbps	120 Mbps	15 Mbps
Banda De frecuencias	10 – 66 GHz	2-11 GHz 3.5 y 5.8 GHz	2 – 66 GHz	2-6 GHz 2.3 y 2.5 GHz
Ancho de canal	20, 25,28 MHz	1,25 a 20 MHz	1,25 a 20 MHz	1,25 a 20 MHz
Línea de vista	LOS	NLOS	NLOS y LOS	NLOS
Radio de Celda	1.6 a 5 Km	5 a 10 Km	5 a 8 Km	1.6 a 5 Km
Modulación	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	256, OFDM	S-OFDMA
Licencia	Si	Si/No	Si/No	Si/No
Movilidad	No (Sistema Fijo)	No (Sistema Fijo)	Fijo y Portable	Movilidad e Itinerantica 120 Km/h

Tomado de: Rocines, 2007

Nota: En la tabla 2 se puede ver las principales características de los más importantes estándares que han tenido mayor trascendencia en la tecnología WiMAX.

1.4 Clasificación

Como se mencionó anteriormente WiMAX tiene especificaciones de estándares donde se definen tipos de modulaciones, velocidades, frecuencias, etc. Es necesario mencionar particularmente dos de estas especificaciones para esta tecnología inalámbrica, ya que marca una posición totalmente distinta para última milla, a continuación se explora en estos dos tipos de servicios.

1.4.1 WiMAX Fijo

Está basado en el estándar IEEE 802.16 (2004) con las especificaciones antes mencionadas, WiMAX en el modo fijo es muy eficiente a la hora de realizar transmisiones de datos en banda ancha a lugares complejos de acceso ya sea por la morfología del terreno donde se desea acceder o por una costosa inversión de un medio físico como el cobre y la fibra óptica, entre otros. Según la propuesta la velocidad alcanzada, sin duda lograría abastecer sin problema la necesidad tecnológica de una población. El mayor problema o complicación que puede tener WiMAX fijo es la línea de vista entre las dos estaciones, aunque esta afirmación depende también de la frecuencia que se utiliza para el enlace.

1.4.2 WiMAX Móvil

IEEE 802.16e define mecanismos de comunicación para dispositivos móviles, su arquitectura es similar a la de una red celular, un usuario puede trasladarse a 120 km/h sin percibir el cambio de estación base, WiMAX móvil soporta velocidades de hasta 15 Mbps, es necesario que se utilice frecuencias en banda 2,4 GHz ya que la mayoría de dispositivos móviles se enlazan en esta frecuencia, el radio de cobertura de una celda esta entre 1,5 y 5 Km para lo cual se debe proporcionar más estaciones base dependiendo del área que se desea cubrir, esta característica puede ser contraproducente al realizar comparaciones costo beneficio con otras tecnologías que utilizan medio guiado.

1.5 Topología

El modo de recepción y envío de datos mediante la propagación de ondas permite que se establezcan tres tipos de topologías que se puede tomar en cuenta al momento de diseñar la red, estas topologías están ligadas directamente a los estándares antes mencionados y a las frecuencias que se va a utilizar.

1.5.1 Punto a Punto

La topología punto a punto está determinada cuando dentro de la red existe una estación emisora la cual transmite la comunicación a un solo receptor, generalmente es utilizada para realizar transmisiones de alta velocidad o back-up de enlaces que realizan sus transmisiones con otro tipo de tecnologías.

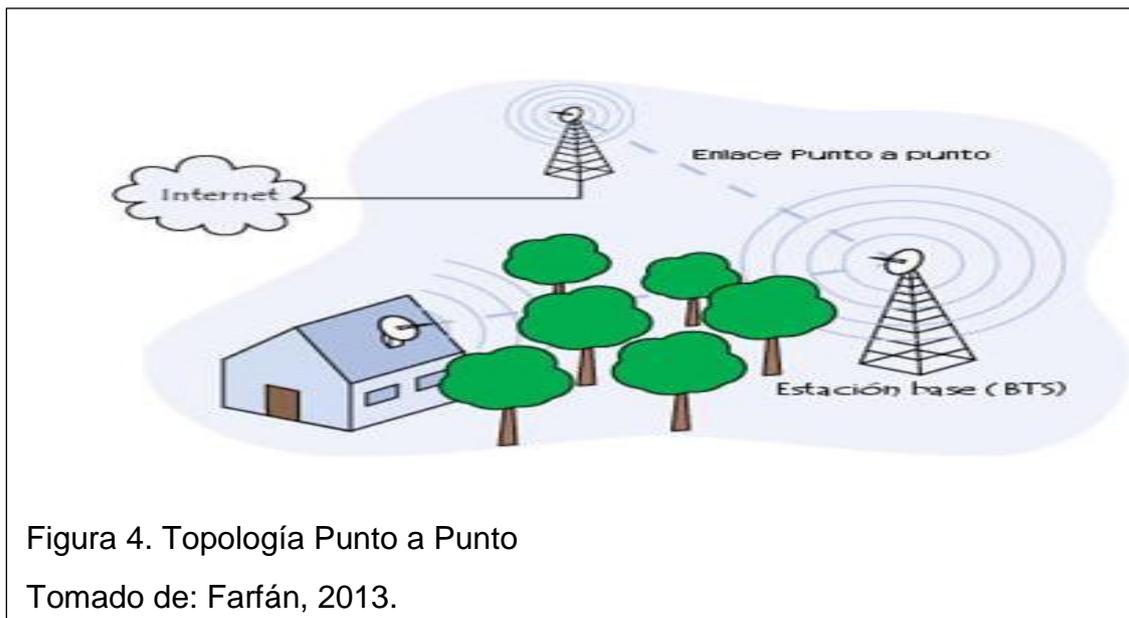


Figura 4. Topología Punto a Punto

Tomado de: Farfán, 2013.

1.5.2 Punto a Multipunto.

Esta topología utiliza una estación base la cual se enlaza a varios puntos receptores, los cuales deben estar ubicados dentro de la onda de propagación de la estación base. La topología punto a multipunto es utilizada comúnmente para proveer acceso a internet a varios usuarios.

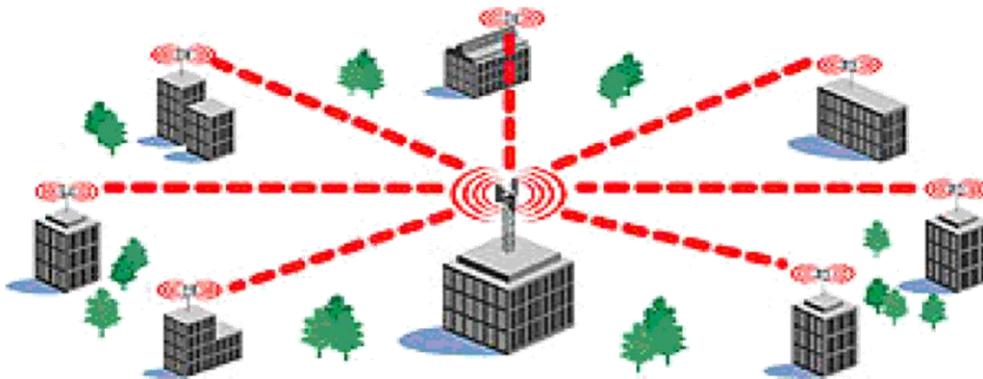


Figura 5. Topología Punto a Multipunto

Tomado de: Slideshared, s.f.

1.5.3 Malla

La comunicación mediante la topología tipo malla no es muy utilizada para redes inalámbricas. Una red malla tiene a todas sus antenas transmisoras y receptoras interconectadas entre sí, en esta red los datos pueden viajar entre diferentes vías de comunicación, la ventaja es que tiene una funcionalidad de back-up cuando un dispositivo no está funcionando. (Ordoñez, 2011).



Figura 6. Topología en Malla

Tomado de: Slideshared, s.f.

2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

En este capítulo se obtiene algunos datos relevantes que proporcionan información para cumplir los objetivos deseados, con los siguientes datos se realiza una estimación de la población a la cual se va a dar acceso a internet.

2.1 Información Barrio Santo Domingo De Cutuglagua

2.1.1 Datos Poblacionales

La información presentada a continuación es tomada del Instituto Nacional de Estadística y Censos, el diseño de la red estará basado en las estadísticas e índices tomados a partir del último censo realizado en el 2010. (INEC, s.f.)

DPA_ZONA	DPA_ANIO	DPA_PARR OQ	DPA_NOMBRE	Viviendas particulares	Hogares	Población
170353904	2010	170353	STO. DOMINGO DE CUTUGLAHUA	898	758	3.160

Figura 7. Número de Viviendas, Hogar, Población

Tomado de: INEC, s.f.

En la figura 7 se tiene el total de la población en el barrio de 3.160 personas las cuales habitan en 758 hogares y 898 viviendas particulares. Según el Instituto de Estadísticas y censos INEC el Ecuador tiene una tasa de crecimiento de 1.52% anual, así que, tomando en cuenta que el dato es del año 2010, la población estimada en la actualidad está alrededor de 3445 personas comprendidos en 826 hogares. Esta información permite proyectar la capacidad con la que se va a dimensionar la red.

Nivel de instrucción al que asiste o asistió	Casos	%
Ninguno	186	6,72%
Centro de Alfabetización	45	1,63%
Preescolar	35	1,26%
Primario	1.325	47,87%
Secundario	692	25,00%
Educación Básica	225	8,13%
Educación Media	137	4,95%
Ciclo Postbachillerato	8	0,29%
Superior	71	2,57%
Postgrado	1	0,04%
Se ignora	43	1,55%
Total	2.768	100,00%

Figura 8. Nivel de instrucción del barrio Santo Domingo de Cutuglagua

Tomado de: INEC, s.f.

Las tablas presentadas en la figura 8 muestra el porcentaje de instrucción y utilización de tecnología básica que tiene la población, con esta información tenemos que las personas interesadas en las tecnologías de la información son aquellas que están cursando sus estudios desde la primaria hasta postgrado, que en total es un porcentaje del 88,85 % de la población.

Utilizó teléfono celular en los últimos 6 meses	Casos	%
Si	1.382	49,93%
No	1.311	47,36%
Se ignora	75	2,71%
Total	2.768	100,00%

Figura 9. Casos de utilización de teléfono celular en el barrio

Tomado de: INEC, s.f.

Los datos en la figura 9 muestran que aproximadamente la mitad de la población, específicamente el 49.93% hace uso de celular, lo cual indica que la mitad de la población es un potencial cliente del internet móvil.

Utilizó internet en los últimos 6 meses	Casos	%
Si	576	20,81%
No	2.092	75,58%
Se ignora	100	3,61%
Total	2.768	100,00%

Figura 10 .Utilización de Internet en los últimos 6 meses

Tomado de: INEC, s.f.

En la figura 10 se tiene que solamente el 20,81 % de la población ha utilizado internet que actualmente comprende a 717 personas del total de la población tomando en cuenta el índice de crecimiento.

Utilizó computadora en los últimos 6 meses	Casos	%
Si	856	30,92%
No	1.823	65,86%
Se ignora	89	3,22%
Total	2.768	100,00%

Figura 11. Utilización de computadora en el barrio Santo Domingo de Cutuglagua

Tomado de: INEC, s.f.

La figura 11 muestra el dato de las personas que han utilizado computadora que es de el 30.92% que representa a 1065 personas de la poblacion.

Disponibilidad de internet	Casos	%
Si	19	2,51%
No	739	97,49%
Total	758	100,00%

Figura 12. Hogares con disponibilidad de internet en el barrio Santo Domingo de Cutuglagua

Tomado de: INEC, s.f.

En la figura 12 se tiene que solamente 19 hogares que representan el 2,51% del total, tienen disponibilidad de internet.

Dispone de computadora	Casos	%
Si	99	13,06%
No	659	86,94%
Total	758	100,00%

Figura 13. Hogares con disponibilidad de computadora en el barrio Santo Domingo de Cutuglagua
Tomado de: INEC, s.f.

La Figura 13 muestra el dato total de hogares con disponibilidad de una computadora, comprende el 13.06% de la población que actualmente son aproximadamente 108 hogares, que son los potenciales clientes para acceso de internet fijo.

Los datos antes mencionados son los más relevantes en cuanto a la información del acceso a tecnologías de la información que tiene el barrio y como se puede observar las personas que manejan la misma es relativamente poca en comparación al sector urbano.

Tabla 3. Datos Importantes

Observación	Porcentaje	2016	2026
Población estimada		3460 personas	4023 personas
Hogares		830 hogares	965 hogares
Personas que utilizan telefono celular	49.93%	1728 personas	2009 personas
Personas que han utilizado internet	20.81%	720 personas	837 pesonas
Personas que utilizan computadora	30.92%	1069 personas	1245 personas
Hogares con disponibilidad de internet	2.51%	21 hogares	25 hogares
Hogares con computadora	13.06%	108 hogares	gares

En la tabla 3 se muestra la recopilación de los datos antes observados, y los cuales se utilizará para el diseño de la red, todos los datos están proyectados para una densidad de población estimada hasta el 2026 basado en el 1.52% de crecimiento poblacional desde el 2010.

2.1.2 Datos Geográficos

En la siguiente figura 14 se tiene el área total del barrio, según este dato se realizará la designación de las antenas a utilizar tomando en cuenta la apertura y ganancia de la antena para el cálculo de la cobertura total

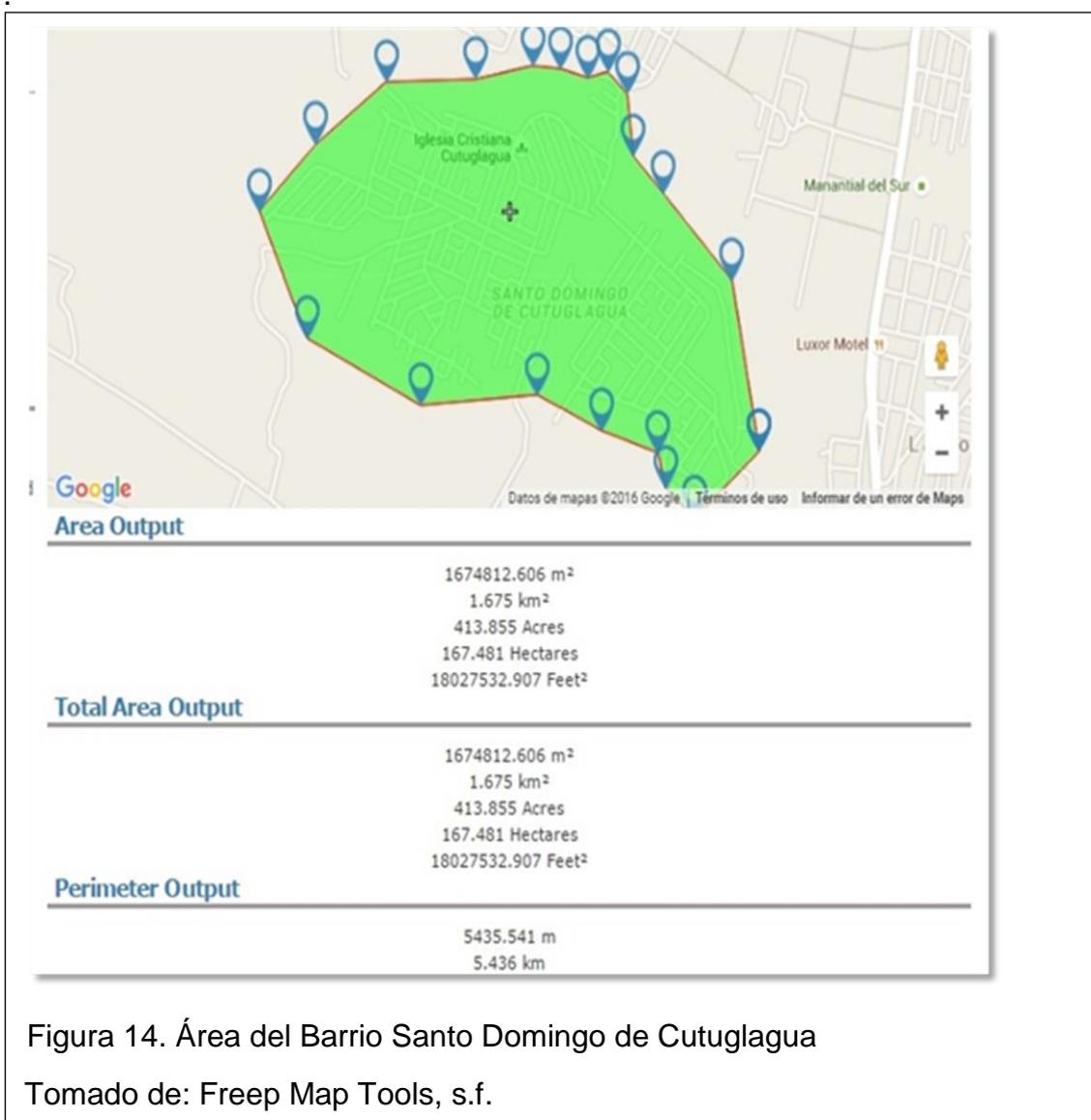


Figura 14. Área del Barrio Santo Domingo de Cutuglagua

Tomado de: Freep Map Tools, s.f.

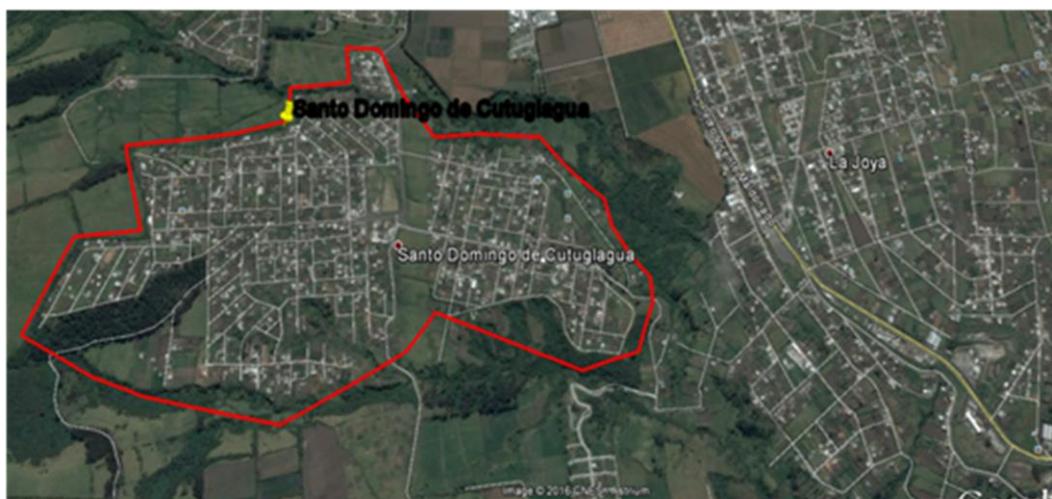


Figura 15. Vista del sector Cutuglagua

Adaptado de: Google Earth, s.f.

En la figura 15 se muestra el área del sector en Cutuglagua donde se observa el área con la población a cubrir.



Figura 16. Barrio Santo Domingo de Cutuglagua

Como se observa en las figuras 16 y 17 el barrio tiene una infraestructura de zona comprendida por casas de un piso aproximadamente el 80 % del barrio, casas de dos y 3 pisos el 20 % restante, el barrio cuenta también con acceso de vías no pavimentadas excepto en la plaza principal.



Figura 17. Barrio Santo Domingo de Cutuglagua 2



Figura 18. Barrio Santo Domingo de Cutuglagua 3

3 DISEÑO DE LA RED

En este capítulo se realiza el diseño de la red utilizando la topología punto multipunto que es el modo que se acopla de mejor manera al cumplimiento de los objetivos. En el diseño de las estaciones se toma en cuenta determinados parámetros para la elección de las mismas, como son: Infraestructura, ISP y su distancia al sitio, factibilidad de conexión con el proveedor carrier, distancia entre antenas, línea de vista. Estos parámetros se detallaran conforme se realice el diseño de cada estación tomando en cuenta las características que necesita cada una de ellas.

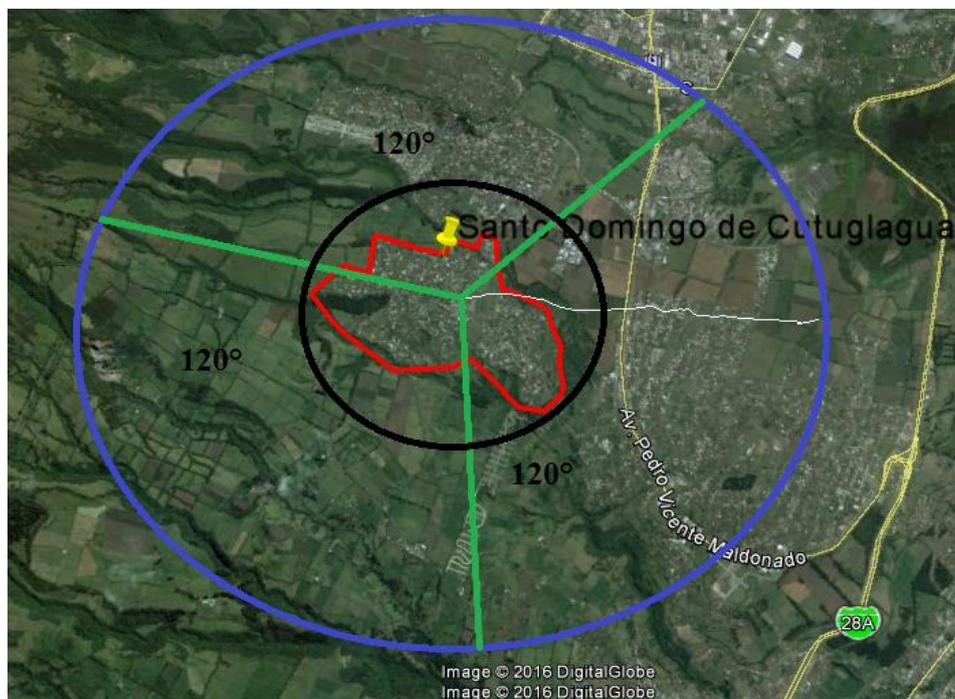


Figura 19. Radio de línea de vista Hacia el Barrio

Adaptado de: Google Earth, s.f.

La elección de la ubicación de la estación troncal se realiza en base a un radio de cobertura de 4 Km, comprendido en un rango de 120° desde el Barrio Santo Domingo de Cutuglagua hacia el posible carrier, tal como lo muestra la figura 19.

3.1 Esquema De La Red

La red propuesta está dividida en tres estaciones como lo muestra la figura 20: Estación troncal, Estación Base y Estación Suscriptora.

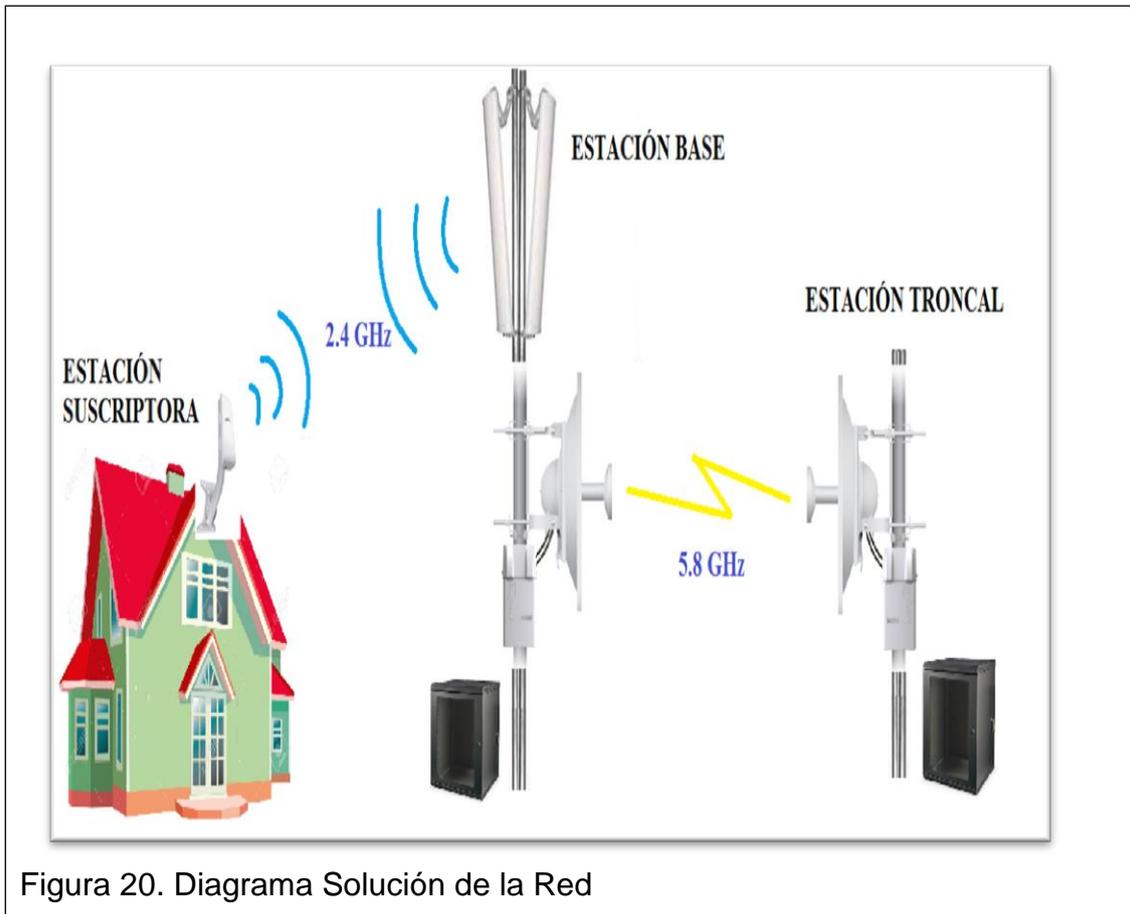


Figura 20. Diagrama Solución de la Red

3.2 Diseño De La Estación Troncal

Para el diseño de la estación troncal se necesita un lugar específico el cual tenga una línea de vista directa al barrio Santo Domingo de Cutuglagua, ya que esta estación contiene todo el ancho de banda que se contrata al carrier y a través del cual se pretende que salga todo el tráfico hacia la estación base.

En la figura 21 se puede observar los elementos que constituyen la estación troncal.

3.2.1 Ubicación Estación Troncal

Para seleccionar esta ubicación de la red troncal se debe tomar en cuenta varias características y especificaciones que tiene esta estación, estos parámetros se van a desarrollar minuciosamente realizando comparaciones entre las mejores opciones de implementación y eligiendo la más conveniente para el correcto funcionamiento de la misma.

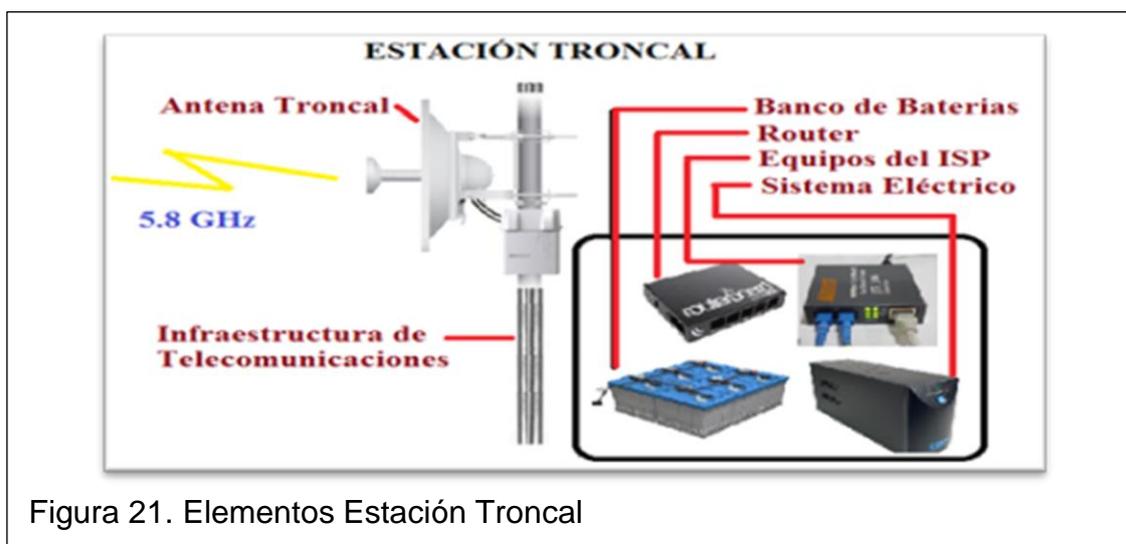


Figura 21. Elementos Estación Troncal

3.2.1.1 Proveedor ISP Carrier

En la estación troncal es necesario un proveedor carrier que es básicamente quien proporciona un gran ancho de banda para abastecer una red, y es la salida internacional para los servidores de internet. En el Ecuador existen varios proveedores carrier, entre los cuales se va realizar las respectivas comparaciones para elegir la mejor opción. Los principales proveedores son: Telconet, CNT, Level 3, Transnexa.

En la siguiente tabla 4 se observa comparaciones entre los proveedores antes mencionados, la comparación se realiza como primer punto en base al acceso, donde todos los proveedores tienen su red troncal por la avenida Simón Bolívar que es el punto más cercano hacia el sector comprendido entre los 120° detallados en la figura 16, la diferencia entre cada proveedor y el acceso es

que CNT, Transnexa y Level 3 tienen un costo adicional por la instalación y acceso mientras que Telconet no. En el segundo punto se hace referencia al soporte y beneficios adicionales que proporciona el ISP por la contratación de un canal dedicado. Como tercer punto se tiene el ancho de banda que se puede contratar, en esta elección se toma en cuenta la información que proporciona cada ISP donde CNT no identifica específicamente valores por ancho de banda. Como último punto se toma en cuenta el costo por contratación de un canal dedicado, en el que Telconet tiene los precios significativamente más bajos en comparación con los demás proveedores. (CNT, s.f.), (Telconet, s.f.), (Level 3 Communications, s.f.), (Transnexa, s.f.).

En la tabla 4 se puede observar la comparación donde el nivel 3 es excelente, nivel 2 es bueno, nivel 1 regular y nivel 0 como malo, la tabla adjunta es una adaptación de la matriz FODA.

Tabla 4. Comparativa ISP

Descripción\ ISP	CNT	Transnexa	Level 3	Telconet
Acceso	2	2	2	3
Soporte y Beneficio Adicional	1	1	2	3
Ancho de Banda	2	3	3	3
Costo	1	1	1	3
Total	6	8	8	12

Tomando en cuenta la mejor opción mostrada en la tabla 4, con un resultado de 12 puntos, para el diseño de la red se ha optado por Telconet, por mencionar algunas características adicionales acerca de este ISP carrier es que posee infraestructura propia, Capacidad de crecimiento, Experiencia en el mercado, Cobertura con diferentes soluciones tecnológicas, El personal más calificado y profesional del sector. Principalmente los costos son menores y su

red está en todo el Ecuador y tienen la capacidad para acceder a cualquier parte.

En la tabla 5 se muestra una comparativa de precios entre proveedores ISP de canales de internet dedicados, se puede observar que Telconet es quien tiene los precios más bajos.

Tabla 5. Comparativa de precios ISP

PROVEEDOR	VELOCIDAD	PRECIO
Telconet	10 Mbps	\$ 120.00
Level 3	10 Mbps	\$ 544.00
CNT	1 Mbps	\$ 141.14

Tomado de: Telconet, s.f. (CNT, s.f.), (Level 3 Communications, s.f.)

En la tabla 6 se muestra el precio de contrato de un canal dedicado de fibra óptica en Telconet, por lo tanto se puede contratar un enlace de 10 megas que es menos costoso. (Telconet, s.f.)

Tabla 6. Precio y velocidad a contratar

Mbps	Fibra Óptica	Radio Enlace
10	\$ 120	\$ 160

El listado de los precios por canal dedicado está especificado en el anexo 1. Con cualquiera de estos canales dedicados Telconet ofrece 99.6% de disponibilidad, pérdidas cercanas al 0%, latencia al Backbone de estados unidos desde 80 ms, y el tiempo de respuesta a alguna avería de aproximadamente 2 horas. El carrier llega al lugar de la estación base con un punto de fibra óptica.

“Este servicio le proporciona una conexión permanente a Internet y le permite configurar las opciones de acuerdo a las necesidades específicas que tenga

cada empresa. Los servicios de Internet Dedicado de TELCONET. Cuenta con todos los servicios de un Centro de Operaciones de Red (NOC), alta velocidad de interconexión al NAP local en Ecuador y al NAP internacional en Miami, redundancia de plataforma y redundancia de interconexión internacional a los principales proveedores TIER 1 en Estados Unidos, así como muchos otros servicios que aseguran un performance óptimo con altos estándares internacionales tanto tecnológicos como de servicio al cliente.” (Telconet, s.f.).

Por las razones y especificaciones mencionadas en base al ISP carrier se llega a la conclusión que el mejor sitio para colocar la estación troncal está en las siguientes coordenadas:

- Latitud: $0^{\circ}22'34.68''S$
- Longitud: $78^{\circ}32'37.80''O$

Esta ubicación podría estar en una casa de varios pisos que permite dar altura adicional a la torre.



Figura 22. Ubicación Estación Troncal

3.2.1.2 Línea de Vista

El barrio Santo Domingo de Cutuglagua, por su morfología tiene una pendiente menor a 30° conforme detalla en información proveniente del Ministerio del Ambiente, gracias a esto existe línea de vista desde un azimut de xxx hasta xxx de cualquier punto contenido dentro de la semicircunferencia de radio de 4 Km como se mostró en la figura 16.

Haciendo referencia al punto antes mencionado de la factibilidad de acceso del ISP carrier se puede decir que la ubicación definida para la estación troncal se encuentra totalmente dentro del área que facilita la línea de vista al centro del barrio como se muestra en la figura 23.

El área factible para colocar la estación troncal comprende al sector llamado San Miguel de Cutuglagua, para confirmar que este sector tiene total línea de vista al barrio Santo Domingo de Cutuglagua por la morfología que presentan los dos barrios que son elevaciones geográficas, se muestra en la figura 24 el perfil geográfico que poseen estos 2 barrios. La estación troncal de acuerdo a la ubicación, se encuentra en el punto más alto que también permite evitar interferencias adicionales que no muestra la gráfica pero pueden existir, interferencias como la presencia de árboles o construcciones altas que se encuentren dentro de la zona de Fresnel y puedan afectar directamente al enlace.

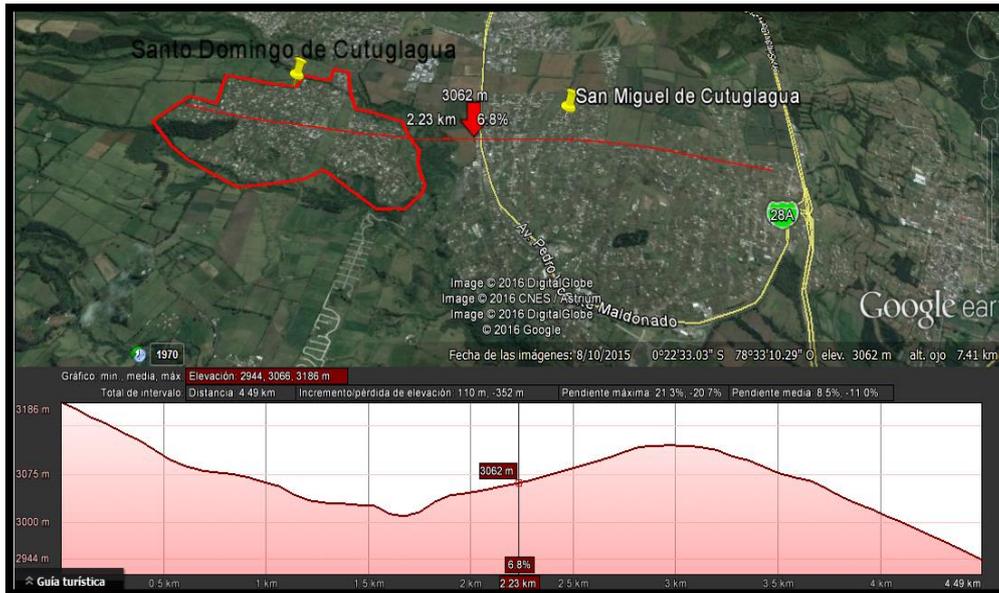


Figura 23. Sector Factible de línea de vista
Adaptado de: Google Earth, s.f.

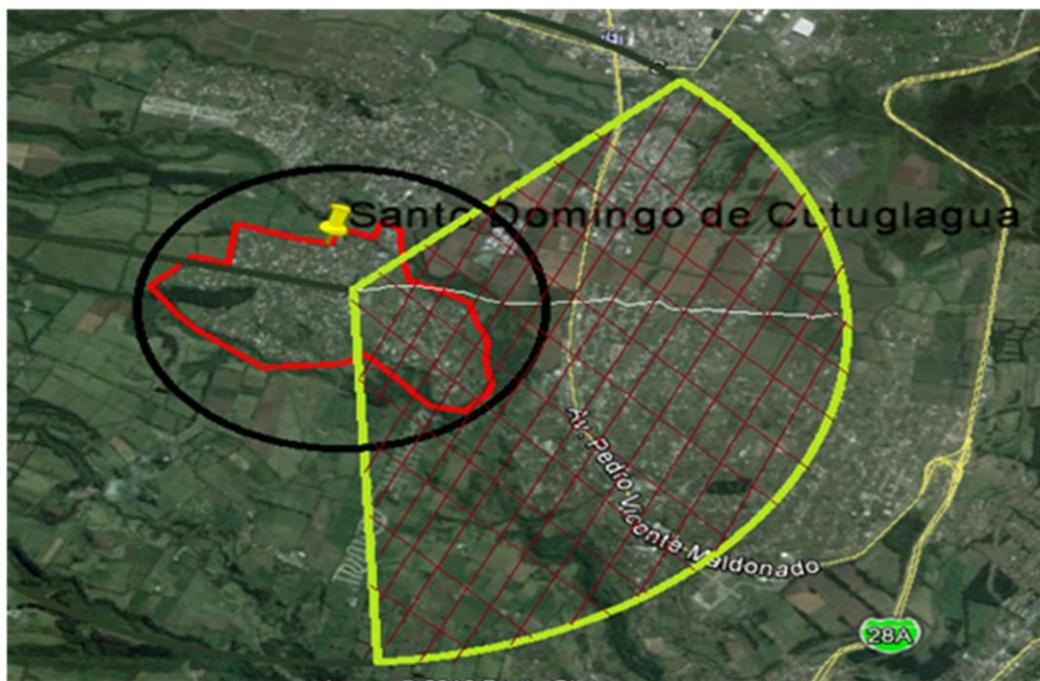
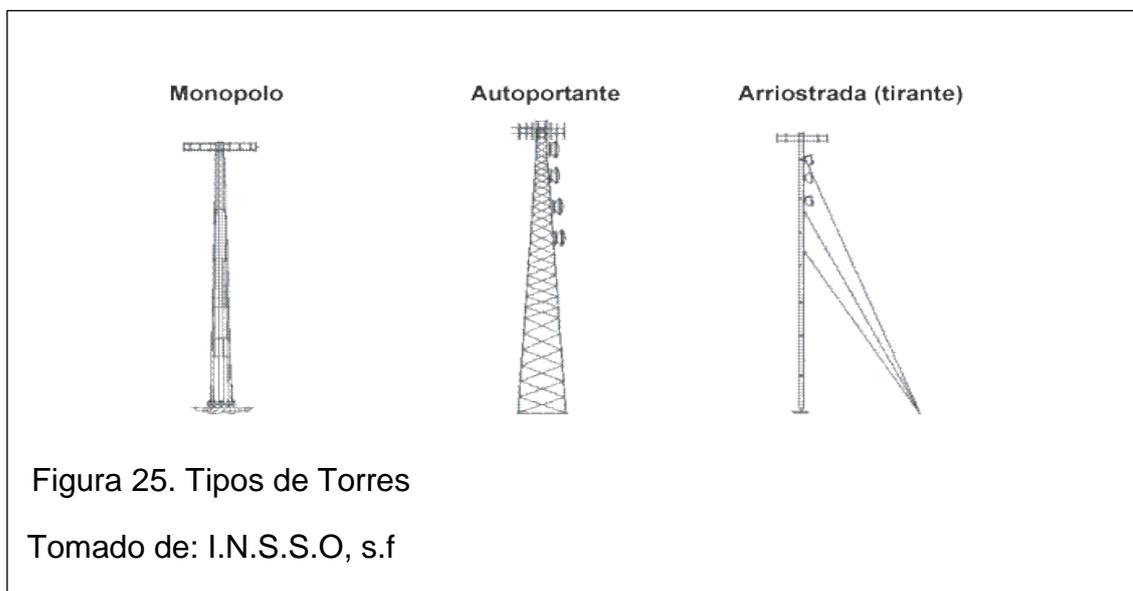


Figura 24. Perfil Geográfico
Adaptado de: Google Earth, s.f.

3.2.1.3 Infraestructura de Telecomunicaciones

En cuanto a la infraestructura de telecomunicaciones existen tres tipos de torres que realizan la función de soporte para la antena como se observa en la figura 25, por esta razón es importante elegir el tipo de torre donde se va a colocar la antena.

Como se mencionó anteriormente la infraestructura a utilizar se va a colocar sobre una casa, como se muestra en la figura 23 existen dos casas de dos pisos que podrían ser útiles para la instalación de la torre arriostrada. El beneficio de colocar este tipo de torre, es de no invertir en infraestructura que sea más costosa y al mismo tiempo dar más altura a la antena. Es importante mencionar que el peso de los equipos que se sustentarán en la infraestructura estará acorde al soporte que brinda la misma.



En la figura 26 se muestra una fotografía en la ubicación elegida con anterioridad, como se observa en este punto se encuentran dos casas con las características especificadas para colocar la torre.



Figura 26. Sito de Infraestructura

3.2.2 Cálculo de usuarios

Calcular el número de usuarios a quienes se pretende proveer del servicio es de suma importancia al momento de realizar el contrato con el carrier de servicios. Este cálculo se realiza en base a los datos observados anteriormente en la tabla 3, proporcionados por el último censo realizado en el 2010, y el índice de crecimiento oficial que es de 1.52% anual. Para realizar el dimensionamiento de la red se debe hacer con una proyección a futuro, esta proyección será de diez años (2026).

Con los datos anteriormente mencionados, se ha utilizado el índice de crecimiento de la población y se ha determinado que en el barrio Santo Domingo de Cutuglagua la población será de 4026 personas conformadas en 965 hogares en 10 años. Si tomamos el mismo porcentaje de hogares que disponen de una computadora, en el año 2026 se estaría hablando de 127 hogares de los cuales 25 ya disponen de internet, realizando una resta de los hogares que disponen de computadora sin internet la cantidad sería de 102 hogares. En otro caso se tiene que en el año 2026, 837 personas ocupan internet, ya sea en algún lugar cyber y no necesariamente dentro del barrio, puede ser en el lugar de trabajo, colegio etc. Tomando en cuenta que un hogar está formado aproximadamente por 4 personas, las 837 personas conforman

un total de 209 hogares, realizando una resta de los 25 hogares que si disponen de internet se obtiene un total de 184 hogares.

Basándose en esta analogía de la suma entre los 102 hogares con computadora y los 108 hogares ocupan internet comúnmente, se tiene un estimado de 286 hogares que son los potenciales clientes que necesitan internet.

3.2.3 Calculo De Ancho De Banda

Para realizar el cálculo de ancho de banda total, es necesario tomar en cuenta el número de usuarios a los cuales se va a proveer de internet, la compresión que va a tener cada enlace (overbooking), y el rendimiento dividido por porcentajes (Throughput) que es la velocidad que va a tener cada enlace. (Ryohnosuke, s.f.).

El overbooking o compresión básicamente es la división de un ancho de banda entre un grupo de usuarios. La compresión que un proveedor de internet ofrece puede ir de 1:1, que se tomaría como un enlace dedicado, que económicamente no es rentable para un proveedor, hasta 15:1 donde el enlace tendría un ancho de banda muy bajo. Para el diseño de esta red se va a gestionar 2 tipos de compresión divididos en clientes estándar que tendrán una compresión de 6:1 y clientes Premium con una compresión de 4:1.

Del total de usuarios se estima que el 80% es usuario estándar y 20% usuario Premium. A partir de estos porcentajes, se tiene que de los 286 hogares para los que se dimensiona la red 229 tendrán una compresión 6:1 y 57 hogares tendrán una compresión de 4:1.

El Throughput en la red está diseñado para proveer un ancho de banda de 2 Mbps a cada cliente. Este ancho de banda en los clientes estándar llegará a manejar una velocidad de 300 kbps, mientras los clientes Premium manejarán una velocidad de 500 kbps si la red está totalmente ocupada.

La fórmula para calcular el ancho de banda total que se necesita contratar a un carrier (Telconet) es:

$$ABw = \frac{\text{Throughput}}{\text{Overbooking}} \times N. \text{Usuarios} \quad (\text{Ecuación 1})$$

ABw = Ancho de Banda

Throughput = Velocidad o Rendimiento 10%

Overbooking = Escala de Compresión

Tomado de: XenForo Ltd, s.f.

Cálculo para clientes estándar

$$ABw = \frac{200 \text{ Kbps}}{6} \times 229 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$ABw = 7633.33 \text{ Kbps}$$

Cálculo para clientes Premium

$$ABw = \frac{200 \text{ Kbps}}{4} \times 57 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$ABw = 2850 \text{ Kbps}$$

El total de ancho de banda necesario a contratar es 10.5 Mbps, cabe recalcar que este ancho de banda es solamente el 10% de la capacidad total, es decir para toda la red se necesita 105 Mbps, pero el aumento se lo realizará progresivamente según el crecimiento de clientes.

3.2.4 Equipos De La Estación Troncal

3.2.4.1 Antena

Existe una gran cantidad de equipos que permiten el funcionamiento de la tecnología WiMAX en todo el mundo. En el Ecuador hay diversas opciones de marcas de equipos, en algunos casos con proveedores directos y en otros casos se debe importar. Para hacer una mejor elección sobre las antenas y el fabricante que se elige a continuación se realiza una tabla comparativa basada en una adaptación de la matriz FODA que permite realizar una mejor elección entre antenas especializadas en comunicación WiMAX.

Para esta comparación se tomó en cuenta la distribución de los equipos en el Ecuador y facilidad en conseguirlos, el tipo de software y facilidad de manejo, soporte en línea que tiene cada marca en su página web, como encontrar versiones de software, actualizaciones, manuales de configuración etc. Una de las características principales es la gama de antenas que ofrecen cada marca, es decir las frecuencias variadas e interconexión, y como punto final el costo que tiene cada antena según la marca del fabricante.

Para llegar a las conclusiones y realizar la elección según las características propuestas se verifica la información que tiene cada fabricante dentro de su página web. (Ubiquiti Networks, s.f.), (Radwin, s.f.), (Alvarion, s.f.), (Cambium Networks, s.f.)

Tabla 7. Comparativa Antenas

	Ubiquiti	Alvarion	Cambium	Radwin	L-COM
Disponibilidad de Equipos con distribuidor directo	3	1	1	1	1
Software	3	2	2	2	2
Soporte en línea	3	2	2	2	2
Gama de antenas de diferentes especificaciones	3	1	1	1	1
Costo	2	2	2	3	3
Total	14	8	9	9	9

Para el diseño de la red y tomando en cuenta el análisis en la tabla 8, se utilizara antenas Ubiquiti que según la tabla tiene un puntaje de 14 como la más recomendable entre las demás, se utiliza esta marca por la gran variedad de equipos que contiene y específicamente por los diferentes tipos de antenas, que poseen diferentes características, como las frecuencias de transmisión en bandas licenciadas y no licenciadas, otra buena característica de esta marca es el soporte en línea mediante su página web donde también tiene actualizaciones de software, manuales de manejo e información de nuevos productos. Finalmente los costos de las antenas en comparación con otras marcas son muy bajos debido en gran parte también que en el Ecuador se encuentran distribuidores directos, mientras que en muchas marcas las antenas se deben importar.

En la estación troncal se utiliza el tipo de antenas en frecuencia de 5,8 GHz (rocket dish Ubiquiti). Estas antenas tienen la característica de que el lóbulo de radiación es directo y permite una mejor transmisión de ancho de banda que puede llegar hasta 150 Mbps que fácilmente realizara la transmisión de los 105 Mbps que necesitamos para el total de la red. (Ubiquiti Networks, s.f.). (Ubiquiti Networks, s.f.)



Figura 27. Antena Estación Base

Tomado de: Ubiquiti Networks. s.f.

Tabla 8. Especificaciones Antena Rocket Dish

Rango de Frecuencia	5.15-5.85 GHz
Ganancia	18.6-19.1 dBi
Polarización	Dual Lineal
Aislamiento de Polaridad	28 dB min
Max VSWR	1.5:1
Apertura Hpol	123 deg
Apertura Vpol	123 deg
Apertura Elevación	4°
Downtilt Eléctrico	2°
Especificación ETSI	EN 302 326 DN2
Dimensiones	700 x 145 x 79 mm
Peso	5.9 Kg
Resistencia al Viento	160 mph

En la tabla 8 se presenta las características por las cuales se elige estas antenas, que basado en sus especificaciones, permite realizar enlaces que transmiten gran ancho de banda, y gracias a la ganancia permite que las interferencias del clima no afecten al enlace.

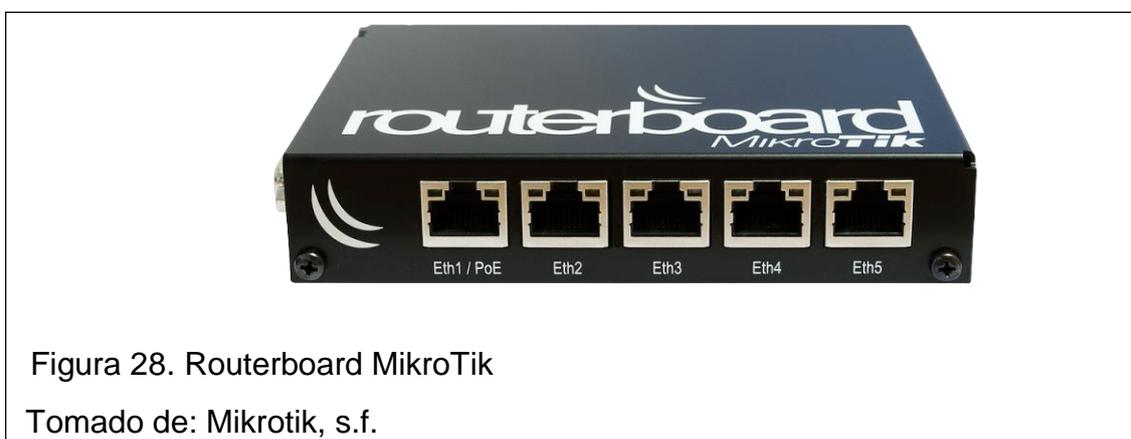
3.2.4.2 Router

Para realizar la conexión entre el proveedor carrier ISP y la antena es necesario un router por el cual se enruta todo el ancho de banda hacia la antena, por este motivo se debe colocar un equipo lo suficientemente robusto para soportar lo antes mencionado, para este enlace no se necesitan más características que esta, así que la elección del router se realizará en base al costo.

Tabla 9. Comparativa Ruteadores

	Mikrotik	Cisco	Juniper
Capacidades	3	3	3
Costo	3	1	1
Total	6	4	4

Se elige utilizar el router Mikrotik RouterOS que tiene varias características importantes y sobretodo soporta altas capacidades de transmisión, además que es el equipo menos costoso del mercado con todas las características que tiene como instalar varias NIC soportadas por Mikrotik RouterOS y obtener un router de borde, router backbone, firewall, administrador de ancho de banda, servidor VPN, Punto de Acceso Inalámbrico y mucho más en un box. (Mikrotik Documentation, s.f.)



3.2.5 Banco De Baterías

Un banco de baterías permite que la estación tenga autonomía eléctrica en caso de que el sector tenga un desabastecimiento momentáneo de energía eléctrica.

Para saber cuántas baterías necesito colocar es necesario saber la potencia que debo proporcionar a la estación. En este caso la estación base solamente tiene en funcionamiento la antena transmisora la cual consume 1 vatios por hora ya que la ganancia es de 30 dbm, en otro punto también se tiene equipos adicionales como router. Estimando que estos consumen 4 vatios por hora, se tiene un total de 5 w/h en total por hora. Si se quiere dar a la estación una autonomía de un día, se tiene que se debe proveer 120 w/h desde el banco de baterías.

Se debe tomar en cuenta el porcentaje de descarga tendrá la batería que normalmente es de 75%, (0.75), para que no se descargue totalmente, entonces se suma el 25% restante a los 120 w/h, en total se tiene 150 w/h.

Considerando que en cuanto a la temperatura baja la capacidad de energía de la batería baja a un 85% de capacidad aproximadamente, se realiza el cálculo multiplicando los 150 w/h por el 115% (1.15) de la batería, que da un total de 172,5 w/h.

Finalmente se divide la potencia obtenida por la tensión de la batería que es de 12 v, se tiene que se necesita un total de 14,3 Amperios por hora. Para esto se debe realizar un circuito en paralelo de 2 baterías de 12 voltios con 12 amperios cada una, este circuito proporciona 24 amperios suficientes para abastecer la estación troncal. (Cavasassi, 2015)



3.3 Diseño Estación Base

La estación base está diseñada para recibir todo el ancho de banda que proviene de la estación troncal y realizar la transmisión hacia las estaciones suscriptoras. En la siguiente figura 24 se observa los elementos que componen la estación base.



3.3.1 Ubicación

La ubicación de la estación base es clave para la difusión del internet al barrio, es por esto que se debe tomar en cuenta diferentes parámetros como son: Distribución de carga, Línea de vista y la infraestructura a utilizar.

3.3.1.1 Distribución de Carga

Como primer punto para la elección de la ubicación de la estación base, es importante tener en cuenta que se debe tener una cobertura a cualquier extremo del barrio, por lo tanto se necesita realizar un arreglo de antenas de tal manera que las mismas soporten equitativamente la cantidad de usuarios, por esta razón se toma un pequeño radio de 500 metros de la posible ubicación de la estación lo más cercano al centro del barrio, como muestra la imagen.

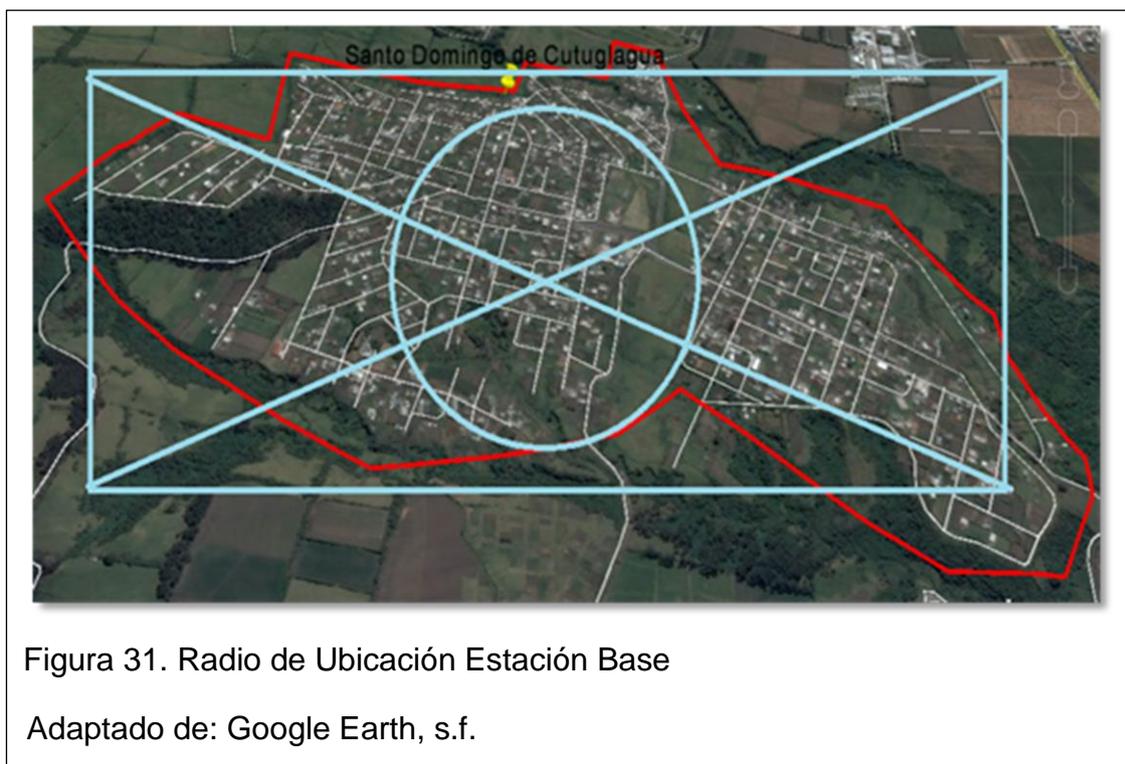


Figura 31. Radio de Ubicación Estación Base

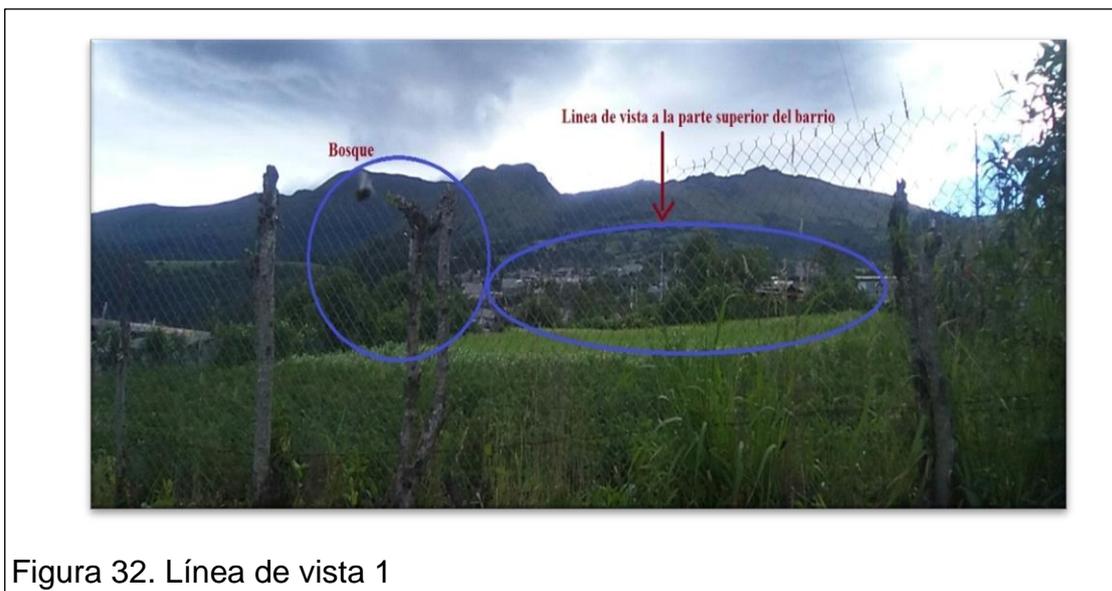
Adaptado de: Google Earth, s.f.

3.3.1.2 Línea de Vista

Como se puede observar en la figura 32 el barrio tiene un sector donde está ubicado un bosque el cual puede ser un impedimento para la línea de vista, así que la ubicación debe estar en la parte superior del perímetro antes mencionado, en otro punto, en cuanto a la antena de la estación troncal como se pudo observar en la figura 20 se tiene clara línea de vista hacia la ubicación de la estación troncal.

3.3.1.3 Infraestructura

En cuanto a la infraestructura que se va a ocupar físicamente se debe colocar en una casa alta de 3 pisos que permite dar altura a la radio base, como se observa en la figura 32 desde el punto en que se realizó la fotografía se tiene línea de vista.



En los alrededores de esta ubicación se encuentra una casa alta de 3 pisos que sobresale sobre las demás casas. En este lugar se puede colocar la torre y de este modo dar más altura a las antenas. Como se puede observar en la figura 32 es una de las casas más altas del barrio como se observa en la figura 33.

En cuanto a la estructura no se diferencia en gran manera a la estación troncal, en esta estación se aumenta las antenas sectoriales que son los multipuntos donde se conecta cada cliente. De la misma forma se utiliza una torre de tipo arriostrada que tiene templadores para estabilizarla, con esta infraestructura las antenas sectoriales estarán ubicadas a 20 m aproximadamente, es decir se levanta una torre de 12 metros de altura sobre una casa de 3 pisos de aproximadamente 9 m. En la figura 33 antes observada se puede apreciar el alto de la casa sobre la cual estará ubicada la infraestructura de la estación base.



Figura 33. Ubicación Infraestructura

3.3.2 Equipos De La Estación Base

3.3.2.1 Antenas

En la estación base existen 2 tipos de antenas, en el primer caso está la antena troncal que es la antena que recepta todo el ancho de banda necesario para la red, esta antena es de la misma marca y las mismas especificaciones que la antena antes mencionada en la estación troncal antena rocket dish.

En el segundo caso de antenas, se tiene las antenas sectoriales, que son las encargadas de la cobertura en todo el barrio, como característica principal es que este tipo de antenas realizan su transmisión emitiendo un lóbulo de radiación específico con un ángulo de apertura, las antenas sectoriales que se van a utilizar en la red funcionan con frecuencia de 2.4 GHz. Se eligió también antenas sectoriales de la marca Ubiquiti por sus diferentes características ya mencionadas en la tabla 8 que se desarrolló en el diseño de la estación troncal. En cuanto al modelo de las antenas sectoriales, la principal ventaja de las antenas AM.5G19.120 Ubiquiti, es que proporciona MIMO 2x2, es decir, que tiene doble polaridad de manera permanente, lo que mejora la cobertura y también la ganancia de antena. Con estas antenas se puede lograr tasas de transferencia más altas de hasta 300Mbps. Otra ventaja importante de utilizar antenas de la misma marca en toda la red es que soporta el doble de clientes por cada multipunto. (Ubiquiti Networks, s.f.).

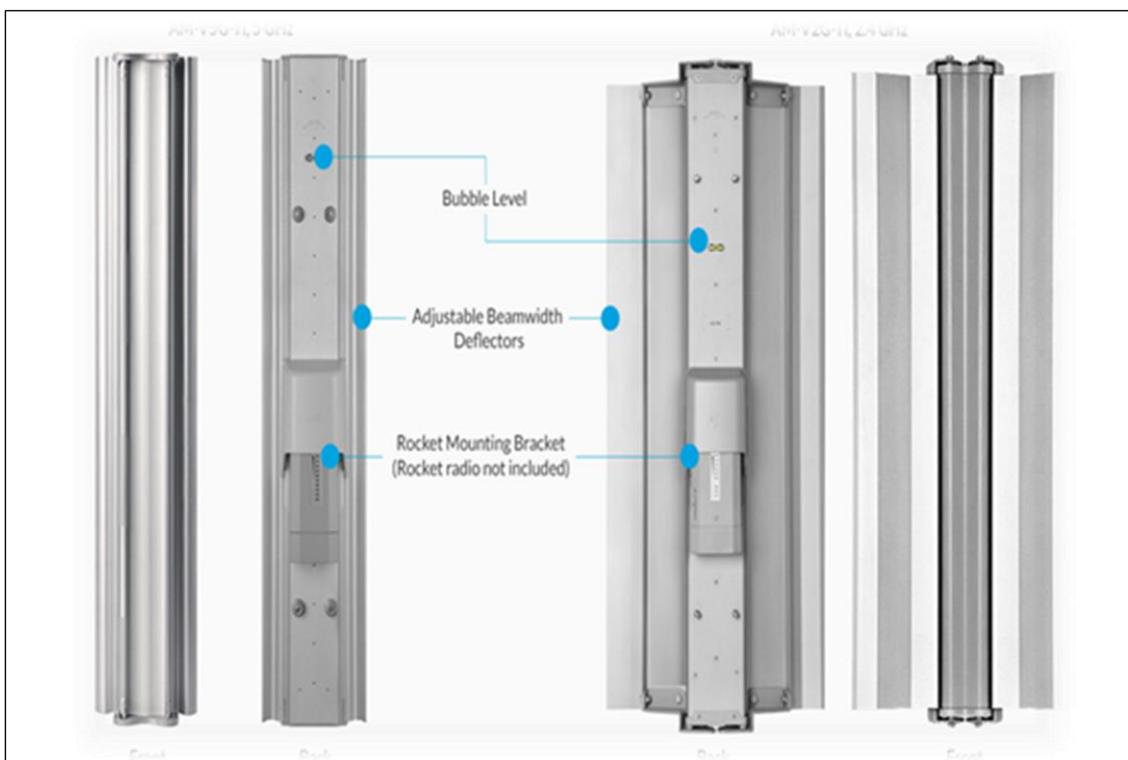


Figura 34. Antenas Sectoriales Ubiquiti

Tomado de: Ubiquiti Network, s.f.

Estas antenas sectoriales tienen la característica de poseer un ángulo de apertura de radiación de 120° se puede cubrir el barrio con solamente 3 antenas, pero para no llegar a un límite en cuanto a cobertura, se va a colocar 4 antenas, las cuales son suficientes para cubrir toda la cantidad de usuarios ya que cada antena es capaz de establecer hasta 120. Para evitar la interferencia cocanal o canal adyacente se utiliza diferentes canales de frecuencia en 2.4, los canales están comprendidos en 2.412GHz y 2.472GHz que son frecuencias libres en Ecuador. En la siguiente tabla se muestra las especificaciones y características de la antena.

Tabla 10. Especificaciones de Antena Sectorial

Rango de Frecuencia	2.3-2.7 GHz
Ganancia	15-16 dBi
Polarización	Dual Lineal
Aislamiento de Polaridad	28 dB min
Max VSWR	1.5:1
Apertura Hpol	123 deg
Apertura Vpol	118 deg
Apertura Elevación	9°
Downtilt Eléctrico	4°
Especificación ETSI	EN 302 326 DN2
Dimensiones	700 x 145 x 79 mm
Peso	4 Kg
Resistencia al Viento	250 h

Tomado de: Ubiquiti Network, s.f.

3.3.2.2 Router

En la estación Base es necesario tener un router que permite principalmente realizar la gestión de usuarios y controlar el ancho de banda que se va a

proveer a cada cliente, también es necesario para hacer efectiva la compresión propuesta.

En el diseño de la red se va a utilizar un routerboard Mikrotik, este router posee un sistema operativo basado en Linux 2.6. Una de las principales características es que utiliza su propio sistema operativo y en comparación con los diferentes ruteadores en el mercado MikroTik RouterOS es mucho menos costoso pero con los mismos beneficios. (MikroTik, s.f.)

Las funciones y características profesionales de Mikrotik RouterOS principales son:

Identificación y priorización de tráfico. Control de tráfico, marcado de paquete. Con esta aplicación de serie en el software de Mikrotik se puede aplicar muchas reglas para optimizar la red ISP.

Balanceo de conexiones WAN. Esta herramienta es de gran ayuda a la hora de ofrecer un servicio de calidad a los clientes. Esto se hace cuando se tiene contratado dos proveedores de Internet haciendo un Load Balance que hace que los clientes nunca pierdan la conexión.

PPPOE Server. Se puede configurar fácilmente gracias a la herramienta que incorpora el software de Mikrotik.

Seguridad Wireless. La seguridad siempre es una prioridad en Internet, para un proveedor de servicio hacia sus suscriptores y para que ellos tengan la garantía de que están trabajando con una empresa seria. Mikrotik RouterOS que ofrece las máximas posibilidades en este campo.

Firewall NAT. Mikrotik ofrece aplicaciones de última tecnología para impedir que alguien pueda entrar en la red.

Servidor de VPN. Consiguiendo que todas las sucursales funcionen como una red única.

Tareas programadas. El software de Mikrotik te permite programar todas las tareas básicas de mantenimiento en determinados horarios, lo que da la tranquilidad de saber que todos los equipos son controlados puntualmente. (ConfigurarMikrotikWireless, s.f.).



Figura 35. Routerboard Mikrotik

Tomado de: Mikrotik, s.f.

3.3.2.3 El Switch

Es un medio por el cual las antenas sectoriales van a estar conectadas, para esta función no se necesita un equipo tan robusto ya que no va a cumplir más que una función de interconexión, la única especificación que debe tener este router es tener los puertos necesarios para realizar la conexión de todas las antenas.



Figura 36. Switch Routerboard Mikrotik

Tomado de: Mikrotik, s.f.

3.3.3 Conexiones

En la siguiente figura 37 se tiene un diagrama donde se explica gráficamente la conexión que debe tener la estación base.

Desde la antena principal a la cual llega todo el ancho de banda se conecta a un router al puerto WAN, desde este router se tiene configurado un puerto con una ip que va a tener la función de Gateway, el puerto LAN del router se va a conectar a un switch que permite realizar un broadcast a todos los puertos que a su vez están conectados a cada una de las antenas sectoriales configuradas en modo bridge asociadas al Gateway.



Figura 37. Conexiones Estación Base

3.3.4 Banco de baterías

Para saber cuántas baterías necesito colocar es necesario saber la potencia que debo proporcionar a la estación. En este caso la estación base tiene en funcionamiento la antena transmisora la cual consume 1 vatios por hora ya que

la ganancia es de 30 dbm, las 4 antenas sectoriales de la misma forma consumen 1 vatio hora cada una, en otro punto también se tiene equipos adicionales como un router y un switch. Estimando que estos consumen 8 vatios por hora, se tiene un total de 13 w/h en total. Si se quiere dar a la estación una autonomía de un día, se tiene que se debe proveer 312 w/h desde el banco de baterías.

Se debe tomar en cuenta el porcentaje de descarga tendrá la batería que normalmente es de 75%, (0.75), para que no se descargue totalmente, entonces se suma el 25% restante a los 312 w/h, en total se tiene 390 w/h.

Considerando que en cuanto a la temperatura baja la capacidad de energía de la batería baja a un 85% de capacidad aproximadamente, se realiza el cálculo multiplicando los 390 w/h por el 115% (1.15) de la batería, que da un total de 448,5 w/h.

Finalmente se divide la potencia obtenida por la tensión de la batería que es de 12 v, se tiene que se necesita un total de 37,3 Amperios por hora.

Para esto se debe realizar un circuito en paralelo de 4 baterías de 12 voltios con 12 amperios cada una, este circuito proporciona 48 amperios suficientes para abastecer la estación base durante un día. (Cavasassi, 2015).

3.4 Estación Suscriptora

La estación suscriptora es la parte final de la red, donde se llega al cliente con el punto de internet de banda ancha. Hay diversas formas de colocar esta última milla, la más eficiente es como lo muestra el diagrama en la figura 38. Como se muestra, en la estación suscriptora el principal elemento es una antena receptora que se va a enganchar al multipunto en la estación base, esta antena va a estar conectada a un router wifi casero o a su vez también puede estar conectado directamente a la computadora.



Figura 38. Diagrama de estación Suscriptora

Antena Suscriptora

La antena suscriptora NanoStation M2 es de marca ubiquiti, ya que como anteriormente se mencionó, permite que la red soporte más clientes. La antena tiene las especificaciones de trabajar en frecuencia de 2.4 GHz. La antena tiene la capacidad de transmitir aproximadamente 150 Mbps reales de rendimiento en exterior y un alcance superior a 15km. Gracias a la tecnología 2x2 MIMO, también posee aislamiento de polarización cruzada optimizada y un diseño muy compacto. (Ubiquiti Networks, s.f.)



Figura 39. Antena NanoStation M2

Tomado de: Ubiquiti Network, s.f.

La ventaja de usar estas antenas en frecuencia de 2.4 GHz es que no necesita una línea de vista directa a la estación base. Es preferible que el enlace tenga una línea de vista directa sin ninguna interferencia, pero dentro del barrio puede haber dificultades para esto, como por ejemplo que una casa de 1 piso se encuentre tras una casa de tres pisos, en este caso la antena en puede engancharse fácilmente al multipunto, obviamente el enlace no estará óptimo al 100 % pero será suficiente para transmitir los 2 Mbps que se está ofreciendo.

En otro punto si es necesario se puede colocar un mástil de 6 metros de altura para colocar la antena y de esta manera disminuir la obstrucción.

3.4.1 Access Point

Como se pudo observar en el diagrama de la figura 35, la antena suscriptor debe estar conectada a un access point el cual permite que dentro del hogar se irradie internet inalámbrico. Si bien es cierto, no es necesario otro equipo aparte de la antena para llegar al hogar con internet, ya que desde la antena se puede acceder a una computadora mediante cableado pero de esta manera solo se tendrá acceso a una sola computadora, el access point es para transmitir Wireless dentro del hogar y de esta manera estar a la misma posición de los demás proveedores de internet.



Figura 40. Access Point

Tomado de: TP-LINK, s.f.

4 SIMULACIÓN

En este capítulo se realiza la simulación de la red, donde se puede observar los parámetros con los que se enlazan las antenas y la velocidad que se logra transmitir.

El simulador utilizado se encuentra en la página de Ubiquiti que es la marca de las antenas que se va a ocupar. La metodología de operación de esta herramienta es simple, toma de referencia principal la zona geográfica donde están ubicadas las antenas para realizar la analogía de la zona de freznel, en la herramienta hay la opción de colocar la altura que van a tener las dos antenas y de esta manera calcula el porcentaje de obstrucción según la zona de freznel donde si sobrepasa el 40% de obstrucción lo toma como enlace no valido.

En otro punto esta herramienta toma en cuenta el tipo de frecuencia y la ganancia que es primordial para el cálculo de la velocidad a transmitir con las que se obtiene la velocidad de transmisión y la calidad del enlace entre las dos antenas. (Ubiquiti Networks, s.f.)

4.1 Simulación Enlace Troncal

En las siguientes figuras se puede ver la simulación del enlace troncal, donde se ubica las coordenadas geográficas de la antena de la estación troncal con color lila, y la ubicación de la estación base con color celeste.

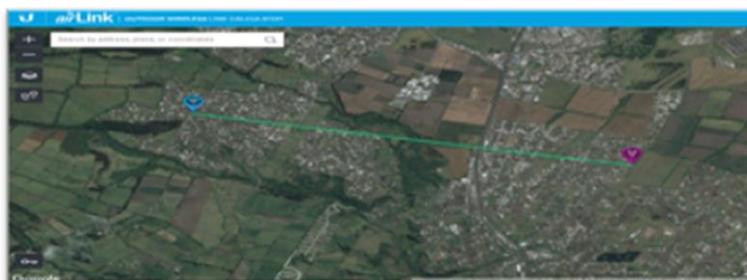


Figura 41. Simulación Estación Troncal

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.



Figura 42. Simulación de estación Troncal

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

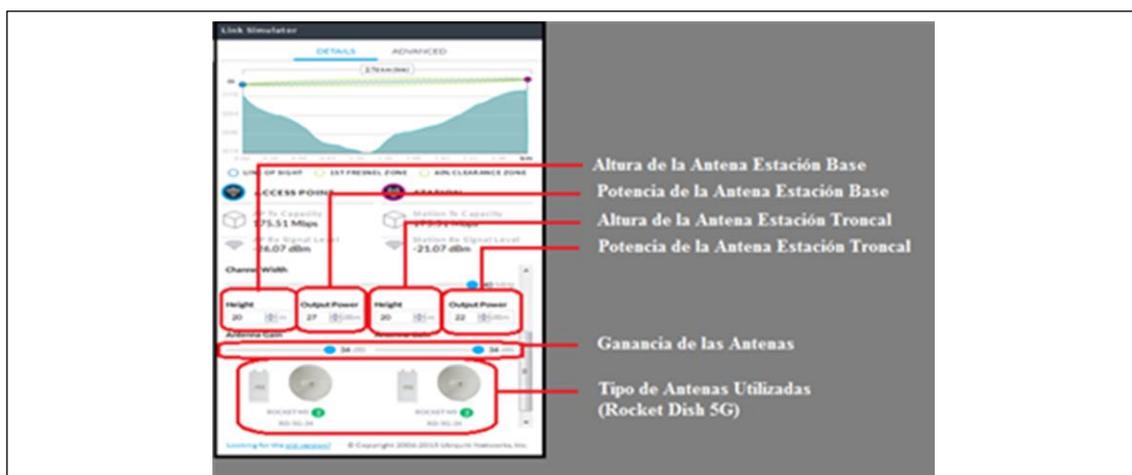


Figura 43. Parámetros de Simulación Enlace Troncal 2

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

4.2 Simulación Enlace Estación Base-Suscriptor

Para la simulación del enlace base- suscriptor se utiliza la misma herramienta AirLink calculator, tomada de la página de ubiquiti el fabricante de las antenas que se ocupa.

Para comprobar la cobertura en todo el sector se ha tomado cuatro puntos ubicados en los extremos del barrio. En cuanto a la altura, se toma como referencia que cada casa tiene un piso, es decir la antena suscriptor en la simulación se configura con una altura de 4 metros. Como antes se había mencionado la línea de vista es importante, pero si hay alguna obstrucción de todas formas el enlace será válido por la frecuencia que se está ocupando.

4.2.1 Enlace Base-Suscriptor 1

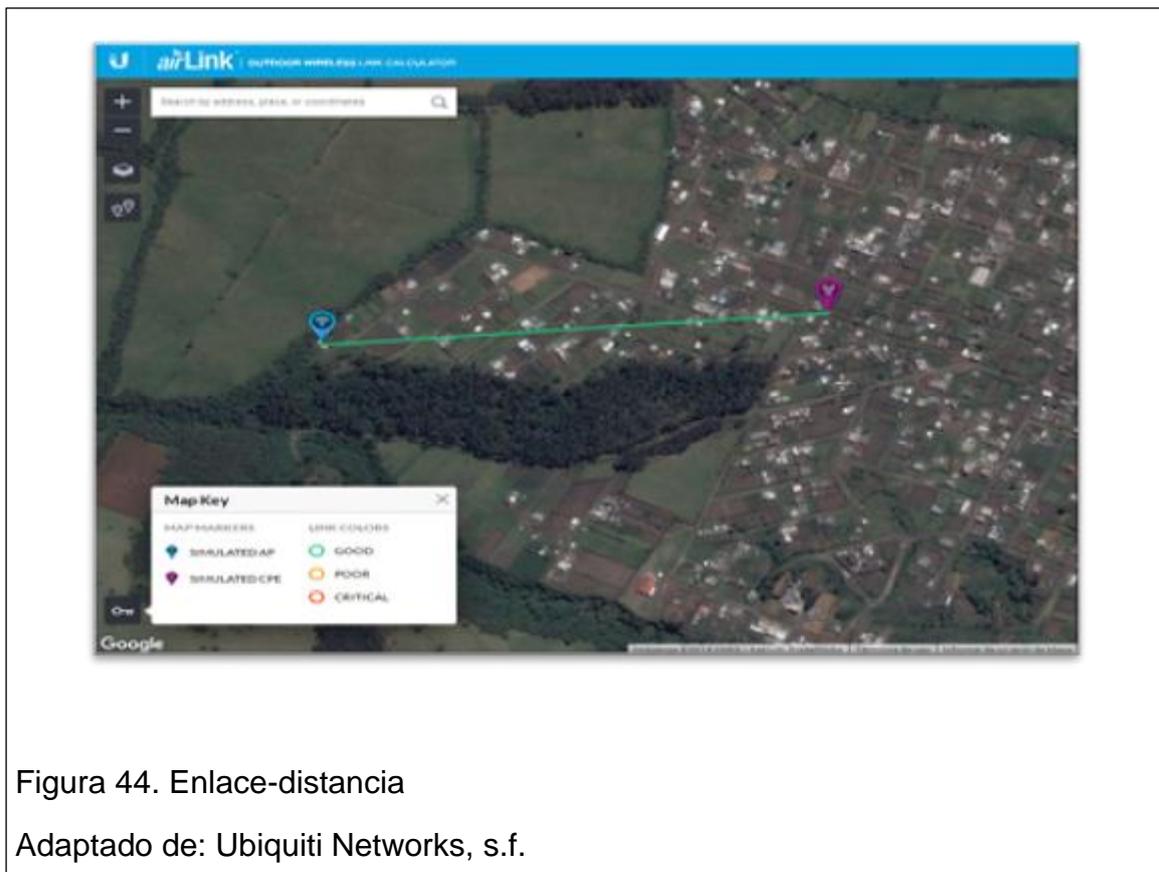


Figura 44. Enlace-distancia

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

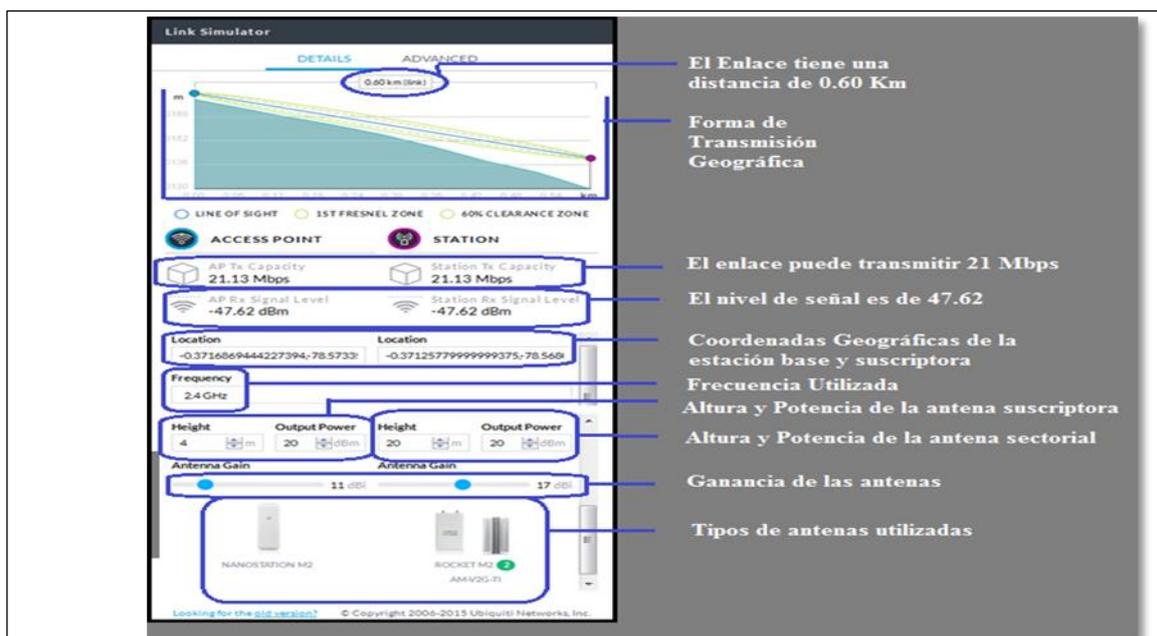


Figura 45. Parámetros Enlace Base-Suscriptor

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

La figura 44 muestra la posición geográfica de la antena base y la antena suscriptor y en la figura 45 se puede observar los parámetros en el extremo occidental del barrio el cual posee buena calidad en los parámetros del enlace.

4.2.2 Enlace Base-Suscriptor 2

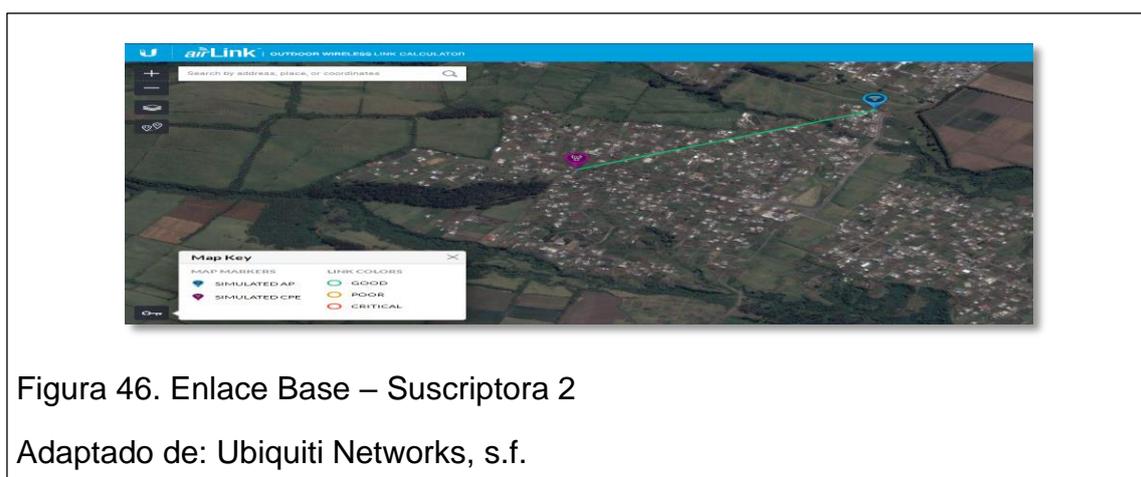


Figura 46. Enlace Base – Suscriptor 2

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

La figura 46 muestra el segundo enlace con la antena suscriptor en el extremo norte



Figura 47. Propagación Enlaces Base – Suscriptor 2

Tomado de: Ubiquiti Networks, s.f.

La figura 47 muestra la propagación física del segundo enlace y la figura 48 muestra los parámetros del segundo enlace.

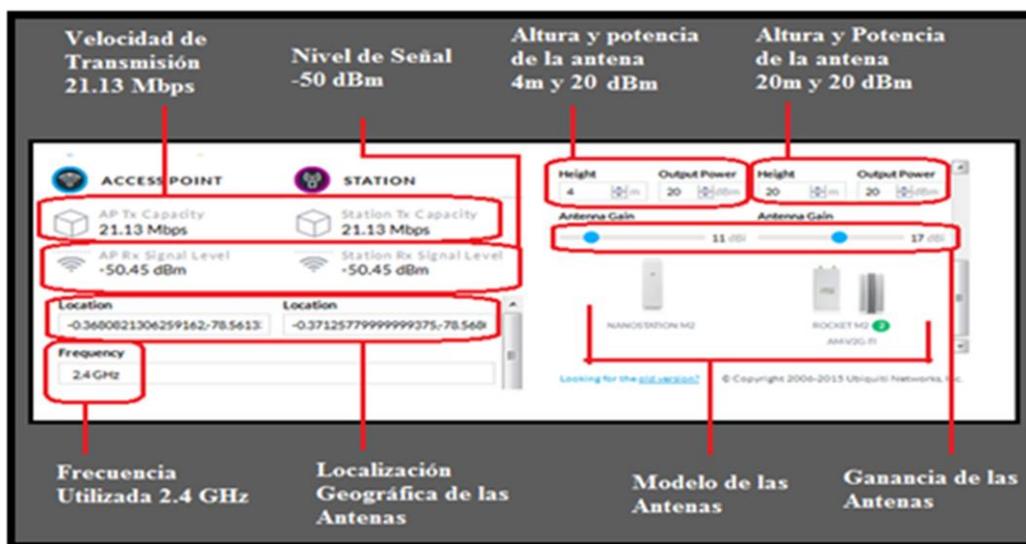
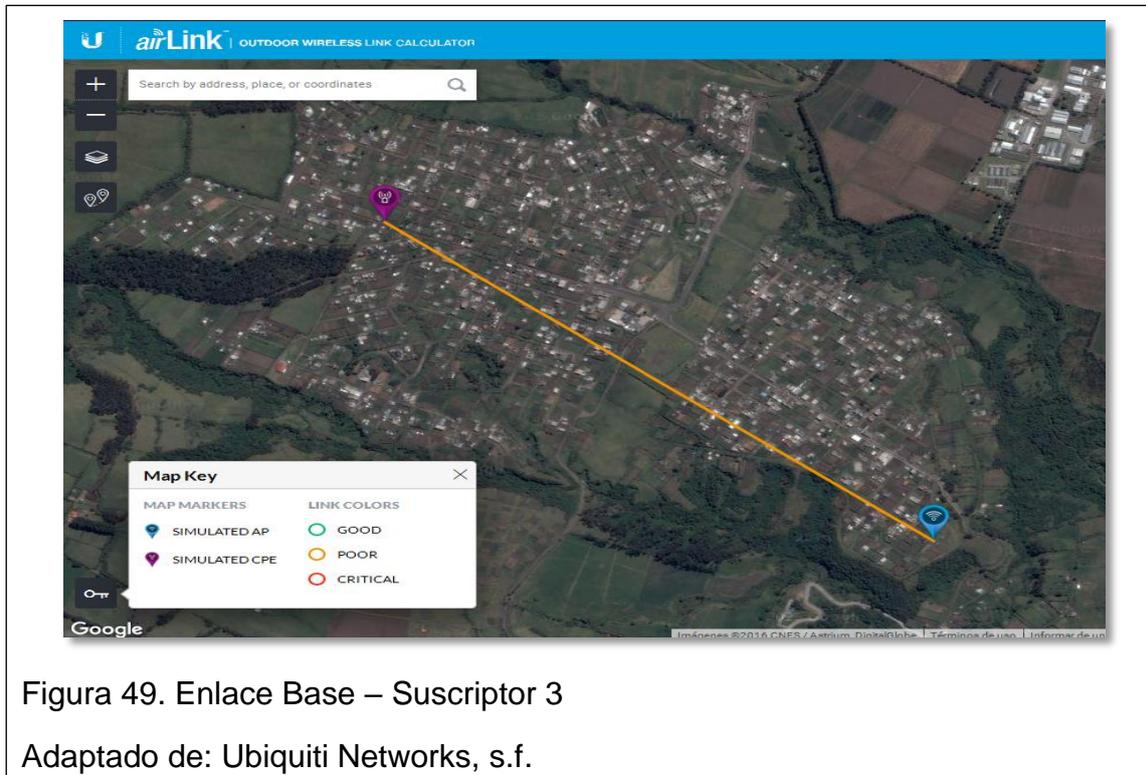


Figura 48. Parámetros Enlace Base – Suscriptor 2

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

4.2.3 Enlace Base-Suscriptor 3



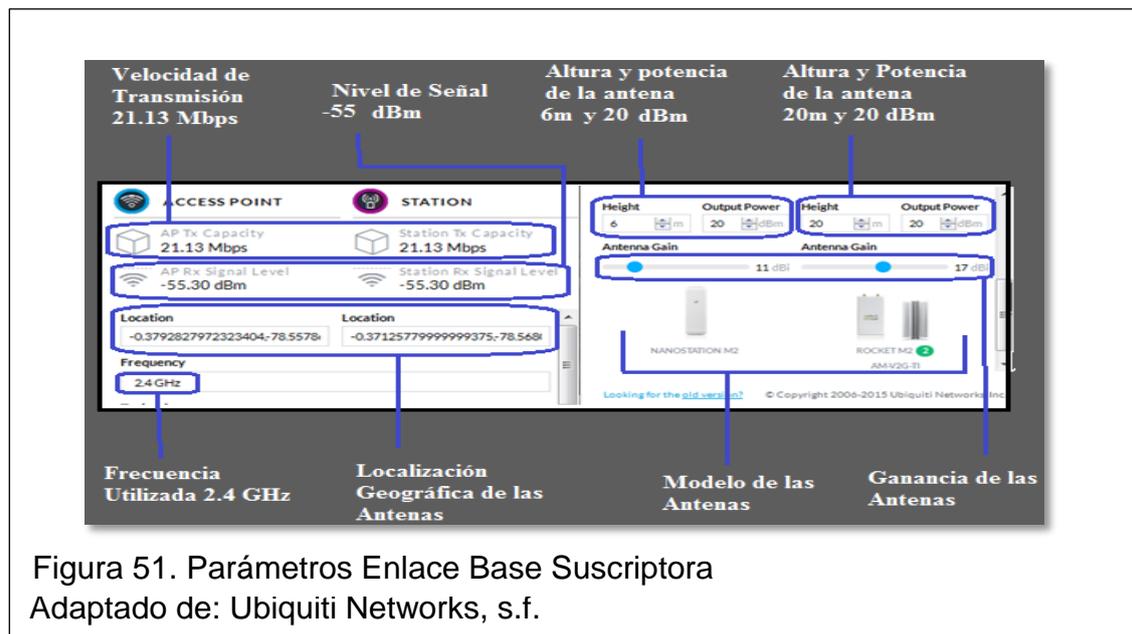
La figura 50 presenta dos imágenes, la primera muestra el enlace el cual tiene una obstrucción cerca de la antena suscriptor, el simulador permite ver que de esta forma se está atravesando la primera zona de freznel, por esta razón el enlace esta de color naranja.

En la segunda imagen se puede observar que el enlace mejora ya que se da una altura de dos metros adicionales a la altura de la antena suscriptor es decir 6 metros en total, con lo cual se evita la obstrucción. De esta forma el enlace mejora significativamente.

La tercera simulación es el enlace con mayor distancia de toda la red, donde se muestra que la antena suscriptor se encuentra ubicada en el extremo oriental del barrio.



En la figura 51 se puede observar los parámetros del tercer enlace en el extremo oriental del barrio.



4.2.4 Enlace Base-Suscriptor 4

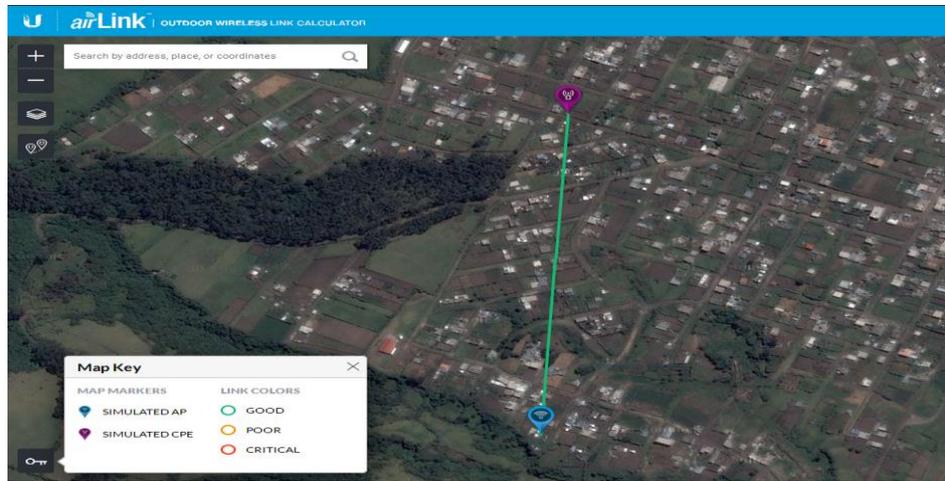


Figura 52. Enlace Base Suscriptora 4

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.

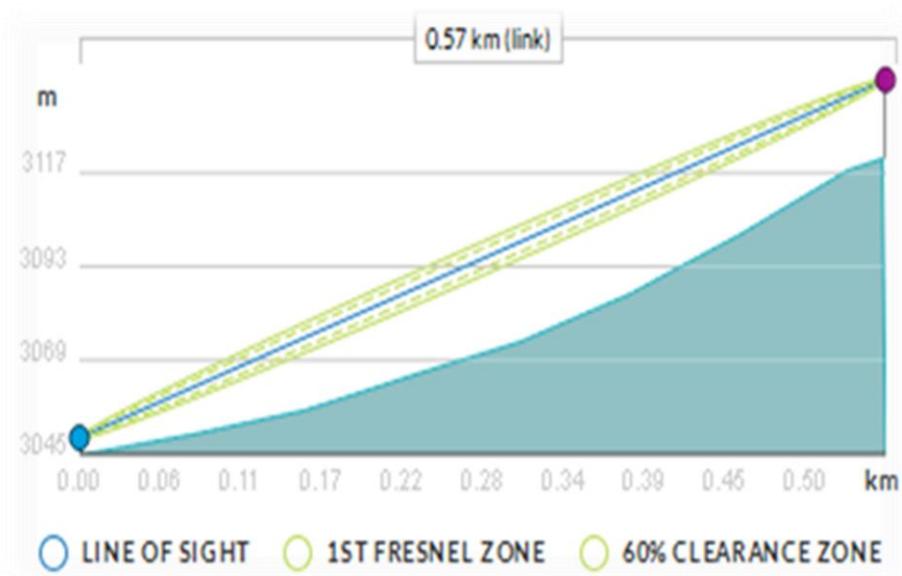
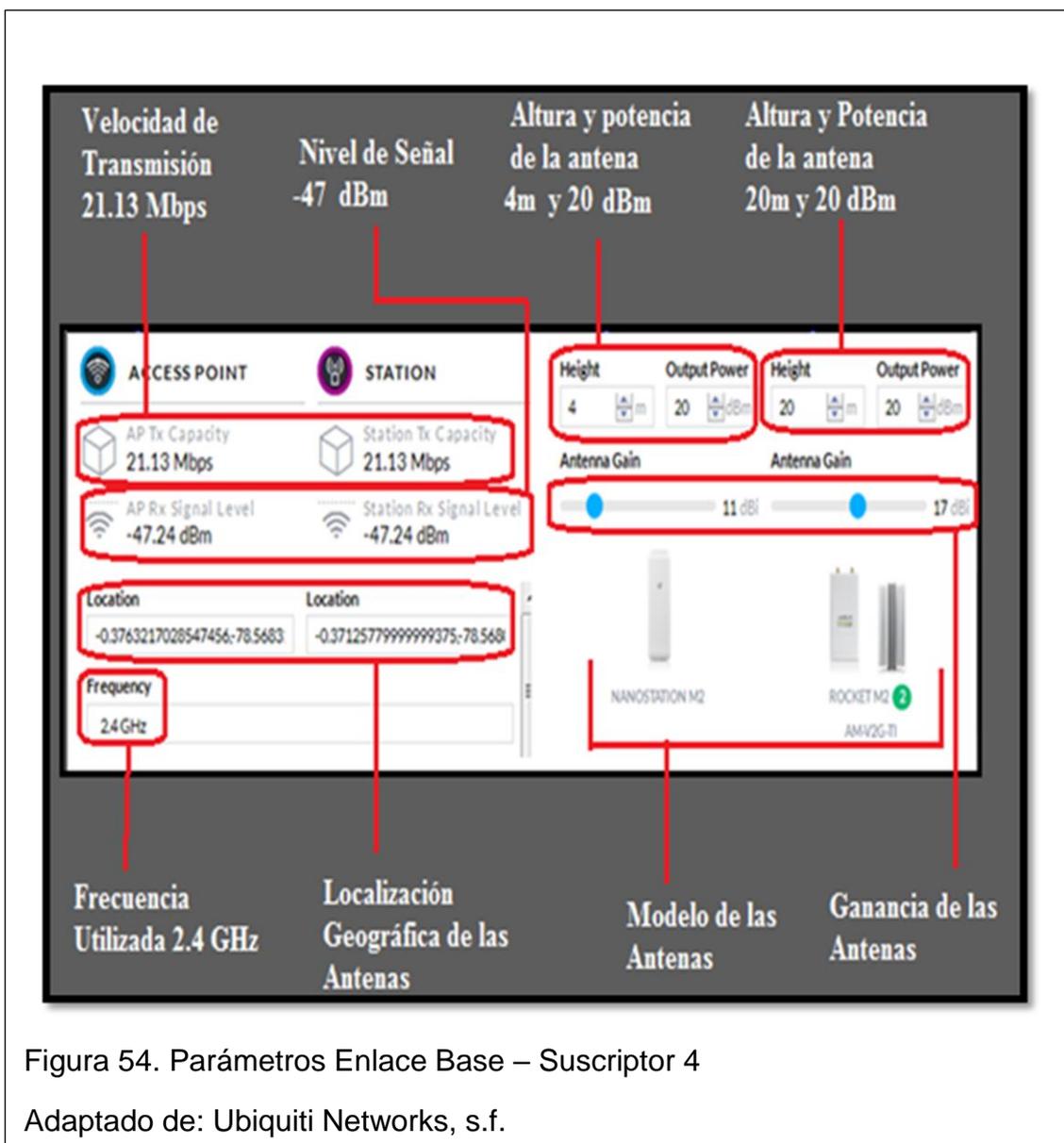


Figura 53. Propagación Enlace Base Suscriptora 4

Adaptado de: Ubiquiti Networks, s.f.



Mediante las simulaciones realizadas queda demostrado que el enlace troncal y los enlaces hacia los suscriptores pueden transmitir la velocidad propuesta con total línea de vista a cualquier lugar del barrio.

Para realizar un resumen a continuación se muestra una tabla de resultados con los principales parámetros de cada enlace que se realizó la simulación.

Tabla 11. Tabla de Resultados de Simulación

Descripción	Frecuencia	Ganancia de las antenas	Distancia del Enlace	Nivel de señal del	Capacidad de transmisión de
Enlace Troncal	5 GHz	34/34dBi	2.76 Km	-26.07 dBm	175.51 Mbps
Enlace Base- Suscriptor 1	2GHz	11/17 dBi	0.60 Km	-47.62 dBm	21.13 Mbps
Enlace Base- Suscriptor 2	2GHz	11/17 dBi	0.83 Km	-50.45 dBm	21.13 Mbps
Enlace Base- Suscriptor 3	2GHz	11/17 dBi	1.45 Km	-55.30 dBm	21.13 Mbps
Enlace Base- Suscriptor 4	2GHz	11/17 dBi	0.57 Km	-47.24	21.13 bps

5. PERMISOS Y ANALISIS

En este capítulo se explora en el análisis del costo y beneficio que tiene el proyecto donde se muestra la viabilidad del mismo, así como también una breve reseña del funcionamiento del servicio como un proveedor de servicios.

5.1 Permisos

Para el funcionamiento del ISP como tal se necesita llenar varios formularios que se encuentran en la página de la agencia de regulación y control de las telecomunicaciones, se debe enviar los formularios totalmente llenos y esperar la respectiva aprobación denominada como Título Habilitante. No se necesita concesión de las frecuencias ya que se está trabajando con frecuencias libres como lo son 2.4 y 5.8 GHz. (ARCOTEL, s.f.)

5.2 Metodología Análisis

Con este tipo de metodología de análisis costo-beneficio, se realiza un estimado de los valores que se invierten en el proyecto comparado con el beneficio que se va a tener de estos costos.

En este análisis muchos de los casos en cuanto a beneficios los valores no son tangibles sino solamente estimaciones no reales pero cercanas a una posible realidad, estos valores se obtienen realizando comparaciones con el uso y no uso de la red pudiéndose ver el beneficio que obtiene el barrio y el ISP antes y después de instalada la realidad.

Tabla 12. Estimaciones de costes-beneficios

Costos	Valor	Beneficios	Valor
Costo de Antena	\$ 103,04	Beneficio por utilización de la antena	\$ 307,8
Costo Proveedor Carrier	\$ 1440,00	Gastos por no incurrir con otra operadora	\$ 2844,00
Sistema de Independencia Eléctrica	\$ 500	Confianza del cliente por disponibilidad de Internet	\$ 1231.0
Implementación de torres de Telecomunicaciones	\$ 400,00	Contratos de clientes por infraestructura	\$ 9000,00
Implementación de Antenas Troncales	\$ 2027,20		
Gastos Arriendo	\$ 2400,80		
Total de costos	\$ 6871,04	Total de Beneficios	\$ 25765,60

Tabla 13. Retorno de Inversión y Valor Actual

RETORNO DE INVERSIÓN Y VALOR ACTUAL				
AÑO	COSTE	BENEFICIO	BENEFICIO NETO	VALOR ACTUAL
0	\$ 6871,04	0		
1	\$ 2400	\$ 25765,60	\$ 23365,60	\$ 19970,59
2	\$ 2400	\$ 25765,60	\$ 23365,60	\$ 9985,30

Como se puede observar en la tabla se tiene que el retorno de la inversión se da en el primer año, de acuerdo a esta cifra se puede decir que el proyecto es

totalmente rentable, los 2400 dólares expresados en los siguientes años es por el mantenimiento anual, donde se involucran los gastos mensuales como arriendo y luz eléctrica.

5.3 Mantenimientos

En los gastos anuales que va a tener la red se debe tomar en cuenta el mantenimiento de la misma, en las antenas que es la parte más importante de la red se debe realizar un mantenimiento anual y la respectiva verificación del cableado, en este mantenimiento solamente se incurrirá en gastos de personal técnico tanto en la radio base como en las estaciones suscriptoras. Otro tipo de mantenimiento es el que da por funcionamiento, en el cual se incurre en gastos de luz y arriendo. Los costos esta especificados en los anexos 4.

5.4 Retorno De Inversión

ROI es el cálculo del porcentaje del retorno de la inversión el cual se obtiene de la siguiente fórmula.

$$\text{ROI} = 100 \times (\text{Beneficio Neto Anual} - \text{Coste Desarrollo Anualizado}) / \text{Inversión Promedio}$$

$$100 \times (23365,60 - 6871,04) / 6871,04$$

$$\text{ROI} = 240,06 \%$$

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Luego de haber realizado el presente trabajo de titulación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

De acuerdo con las simulaciones de los enlaces hacia los clientes, conforme los resultados cada enlace no tendrá problemas de interferencias; sin embargo, en la práctica se pueden dar diferentes tipos de obstrucciones que afecten al enlace, por lo cual es importante validar los sitios elegidos a través de un suvey de campo.

El esquema de la red diseñada se puede aplicar no solo en este barrio sino que esta se puede adaptar en cualquier parte de la capital o en cualquier provincia del Ecuador considerando la distancia que existe entre el carrier y el barrio donde se doto el servicio, para lo cual sería necesario realizar ajustes en el sistema.

Con esta solución se puede competir con grandes empresas ya posicionadas en el mercado, considerando que el diseño propuesto permite llegar a las velocidades de transmisión que la mayoría de proveedores ofrecen en el mercado.

En cuanto al costo y beneficio del proyecto se llega a la conclusión que es económicamente rentable y totalmente factible para realizar una propuesta de implementación de una empresa proveedora de servicios de internet.

En el mantenimiento de las estaciones suscriptoras se lo realiza dependiendo los inconvenientes que tiene cada cliente, no se realiza anualmente ya que se incurriría en gastos innecesarios, el mantenimiento anual se lo debe realizar en las estaciones principales.

Como conclusión general se puede decir que dentro del diseño se debe tomar en cuenta dos puntos importantes, el primero es la ubicación de las estaciones, donde se necesita escoger un punto donde abarque la mayor cantidad de suscriptores. Y la segunda es las frecuencias que se va a utilizar según los objetivos que se propongan.

6.2 Recomendaciones

Durante el presente trabajo se puede hacer varias recomendaciones para diseñar una red WiMAX.

Cuando se realiza el diseño de usuarios para proveer el servicio se recomienda sobreestimar la capacidad de la red ya que esto ayuda a generar un balance de cobertura y permite que la red tenga una holgura para ampliación de clientes a futuro.

Aun cuando se utiliza antenas sectoriales que por el grado de apertura cubren todo el sector, se recomienda colocar una antena más para que se tenga una cobertura certera en todo el área, la interferencia se puede omitir utilizando diferentes canales de operación o cambiando la polaridad entre una antena y otra.

Se recomienda utilizar en toda la red antenas de una misma marca de proveedor, ya que en la mayoría de casos la compatibilidad de software permite un mejor rendimiento y no genera problemas al realizar actualizaciones.

REFERENCIAS

- Alvarion, (s.f). Product Portfolio. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de:
<http://www.alvarion.com/products>
- ARCOTEL. (s.f.). Agencia de Regulacion y Control de las Telecomunicaciones. Recuperado el 02 de agosto de 2016, de:
http://servicios.conatel.gob.ec/Registro_PublicacionesE/Web/srpp_formulario_externo.aspx
- Cambium Networks. (s.f). *Connect the Unconnected and Underconnected*. Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de:
<http://www.cambiumnetworks.com/products/>
- Cardenas, J. (s.f). *Estándar 802.16 (WiMAX)*. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de REDES WiMAX de:
<http://redeswimax.jimdo.com/exposici%C3%B3n-iue/>
- Cavasassi, J. (s.f). *cavadevices*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de:
<http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/calculo%20de%20bateria.pdf>
- CNT. (s.f). *Corporación Nacional de Telecomunicaciones*. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de: <https://www.cnt.gob.ec/internet/planes-corporativos/ConfigurarMikrotikWireless>. (27 de agosto de 2014). *ConfigurarMikrotikWireless*. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de:
<http://configurarmikrotikwireless.com/blog/mikrotik-routers-para-que-sirve.html>
- DynaCom. (s.f). *DynaCom Telematics*. Recuperado el 30 de mayo de 2016, de:
http://dynacom.ec/tienda/component/virtuemart/view/category/virtuemart_category_id/34.html
- Farfán, J. (2013). *Red AD-HOC*. Recuperado el 16 de abril de 2016, de:
<http://es.slideshare.net/holmerr/red-ad-hoc-26437110>
- Free Map Tools. (s.f). *Free Map Tools*. Recuperado el 28 de marzo de 2016, de: <https://www.freemaptools.com/>

- Fundamentos de Telecomunicaciones. (s.f). *Impacto de la s telecomunicaciones*. Recuperado el 15 de abril de 2016, de: http://ftelecomunicacionesitp2015.blogspot.com/p/wimax_19.html
- Gestion Estrategica de Mantenimiento. (s.f). *BATERIAS RECARGABLES SECAS ESTACIONARIAS*. Recuperado el 01 de junio de 2016, de: <http://baterias-secas-ups.blogspot.com/2012/07/banco-de-baterias-para-ups.html>
- Google Earth. (s.f). Barrio Santo Domingo de Cutuglagua. Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 28 de marzo de 2016 de Google Earth
- INEC. (s.f). *Censo de Población y Vivienda*. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. (s.f.). *Centros para el control y prevención de enfermedades*. Recuperado el 01 de junio de 2016, de: http://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2001-156_sp/
- Level 3 Communications. (s.f). *Tarifario Servicios Portadores*. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de: www.level3.com/~media/files/tariffs/latam/ecuador/ecu_tarifario_datos.pdf?la=es
- MikroTik. (s.f). *Router Board*. Recuperado el 14 de mayo de 2016, de: <http://routerboard.com/RB750GL>
- Mikrotik Documentation. (s.f.). *Mikrotik RouterOS Preguntas Frecuentes*. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de: [http://wiki.mikrotik.com/wiki/Mikrotik_RouterOS_Preguntas_Frecuentes_\(espa%C3%B1ol/spanish\)](http://wiki.mikrotik.com/wiki/Mikrotik_RouterOS_Preguntas_Frecuentes_(espa%C3%B1ol/spanish))
- Ocampo, J. (2008). *WiMAX*. Recuperado el 15 de abril de 2016, de: <https://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>
- Ordoñez, E. (2011). <http://www.dspace.espol.edu.ec/>. Recuperado el 27 de marzo de 2016, de Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología wimax para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de manta de:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16136/1/D-39968.pdf>

- Racines, P. (2007). *Diseño de un ISP considerando criterios de calidad de servicio para la transmisión de voz, datos y vídeo utilizando el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) para cubrir el área norte de la ciudad de Quito*. Recuperado el 23 de marzo de 2016, de bibdigital de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4168/1/CD-0948.pdf>
- Radwin. (s.f.). *Radwin Cartera de Productos*. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de: <http://es.radwin.com/productos/portafolio>
- Redcetus Integradores de Tecnología. (s.f.). *Red Cetus*. Recuperado el 3 de mayo de 2016, de: <http://www.redcetus.cl/airmax-sector-5g19-120-antenna/>
- Ryohnosuke. (s.f.). *Ancho de banda a contratar*. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de: <http://www.ryohnosuke.com/foros/index.php?threads/4106/>
- Sánchez, H. (2011). *Comparación de la eficiencia volumétrica entre redes inalámbricas WiFi y WiMAX*. Recuperado el 16 de abril de 2016, de: http://132.248.9.195/ptb2011/noviembre/0674882/0674882_A1.pdf
- Slideshare. (s.f.). *Redes Punto a Punto*. Recuperado el 14 de septiembre de 2016, de: <http://es.slideshare.net/arquitectura5/redes-punto-a-punto-40268145>
- Telconet. (s.f.). *Telconet la fibra del Ecuador*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de: <http://www.telconet.net/servicios/internetdedicado>
- TP-LINK. (s.f.). *Red Doméstica*. Recuperado el 05 de junio de 2016, de: <http://www.tp-link.ec/products/home-network.html>
- Transnexus. (s.f.). *Transnexus Fibra para Crecer*. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de: <http://www.transnexus.com/>
- Ubiquiti Networks. (s.f.). *airlink outdoor wireless link calculator*. Recuperado el 27 de mayo de 2016, de: <https://airlink.ubnt.com/#/>
- Ubiquiti Networks. (s.f.). *Rocket Dish*. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de: <https://www.ubnt.com/airmax/rocketdish-lw/>

Ubiquiti Networks. (s.f). *Ubiquiti Community*. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de: <https://community.ubnt.com/t5/airMAX-General-Discussion/Sectoriales-Ubiquiti-VS-Hyperlink/td-p/197103>

WIKITEL. (s.f). *WiMAX*. Recuperado el 20 de marzo de 2016, de: http://wikitel.info/wiki/Acceso_WiMAX

XenForo Ltd. (s.f). *Ancho de banda a contratar*. Recuperado el 26 de abril de 2016, de [ryohnosuke.com](http://www.ryohnosuke.com) de: <http://www.ryohnosuke.com/foros/index.php?threads/4106/>

ANEXOS

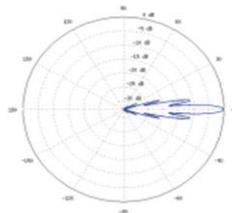
ANEXO 1
ESTACION TRONCAL



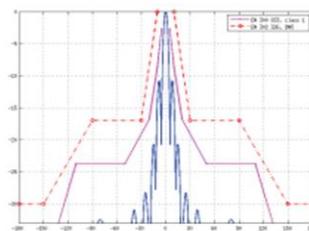
Ubicación Estación Troncal

RD-5G30 Antenna Information

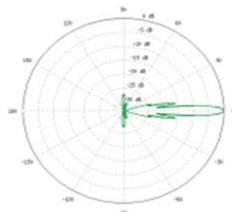
E-Plane, 5500 MHz



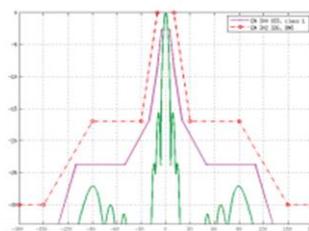
E-Plane Specs



H-Plane, 5500 MHz



H-Plane Specs



Lóbulo de radiación Antena rocket Dish

Specifications

Antenna Characteristics					
Model	RD-2G24	RD-3G26	RD-5G30	RD-5G30-LW	RD-5G34
Dimensions*	650 x 650 x 295 mm (25.6 x 25.6 x 11.61")	650 x 650 x 300 mm (25.6 x 25.6 x 11.81")	650 x 650 x 304 mm (25.6 x 25.6 x 11.97")	650 x 650 x 386 mm (25.6 x 25.6 x 15.2")	1050 x 1050 x 421 mm (41.34 x 41.34 x 16.57")
Weight**	9.8 kg (21.61 lb)	9.8 kg (21.61 lb)	9.8 kg (21.61 lb)	7.4 kg (16.31 lb)	13.5 kg (29.76 lb)
Frequency Range	2.3 - 2.7 GHz	3.3 - 3.8 GHz	5.1 - 5.8 GHz	5.1 - 5.9 GHz	5.1 - 5.8 GHz
Gain	24 dBi	26 dBi	30 dBi	30 dBi	34 dBi
HPOL Beamwidth	6.6° (3 dB)	7° (3 dB)	5° (3 dB)	5.8° (3 dB)	3° (3 dB)
VPOL Beamwidth	6.8° (3 dB)	7° (3 dB)	5° (3 dB)	5.8° (3 dB)	3° (3 dB)
F/B Ratio	28 dB	33 dB	34 dB	30 dB	42 dB
Max. VSWR	1.6:1	1.4:1	1.4:1	1.6:1	1.4:1
Wind Loading	787 N @ 200 km/h (177 lbf @ 125 mph)			790 N @ 200 km/h (178 lbf @ 125 mph)	1,779 N @ 200 km/h (400 lbf @ 125 mph)
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)				
Polarization	Dual-Linear				
Cross-pol Isolation	35 dB Min.				
ETSI Specification	EN 302 326 DN2				
Mounting	Universal Pole Mount, Rocket Bracket, and Weatherproof RF Connectors included				

* Dimensions exclude pole mount and Rocket (Rocket sold separately)
** Weight includes pole mount and includes Rocket (Rocket sold separately)

Especificaciones Antenas Rocket Dish

Costos Telconet

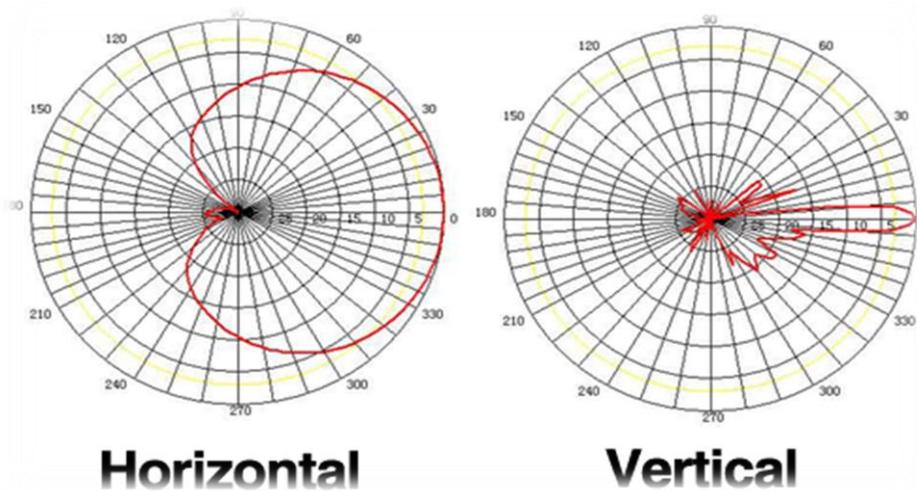
	Backbone fibra óptica	Backbone Radial
Mbps 1:1	Precio	Precio
1	\$ 160	\$ 200
2	\$ 160	\$ 200
3	\$ 160	\$ 200
4	\$ 160	\$ 190
5	\$ 150	\$ 190
6	\$ 150	\$ 190
7	\$ 150	\$ 190
8	\$ 140	\$ 170
9	\$ 135	\$ 170
10	\$ 120	\$ 160

ANEXO 2
ESTACIÓN BASE

Specifications

AM-5AC21-60	
Dimensions	750 x 173 x 78 mm (29.53 x 6.81 x 3.07")
Weight (Mount Included)	4.8 kg (10.58 lbs)
Frequency	5.15 - 5.85 GHz
Gain	21 dBi
HPOL Beamwidth	60° (6 dB)
VPOL Beamwidth	60° (6 dB)
Elevation Beamwidth	4°
Electrical Downtilt	2°
Max. VSWR	1.5:1
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)
Wind Loading	391 N @ 200 km/h (88 lbf @ 125 mph)
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	25 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, Rocket Mount, and Weatherproof RF Cables Included

Especificaciones Antena Sectorial



Lóbulo de radiación antena sectorial

Product specifications

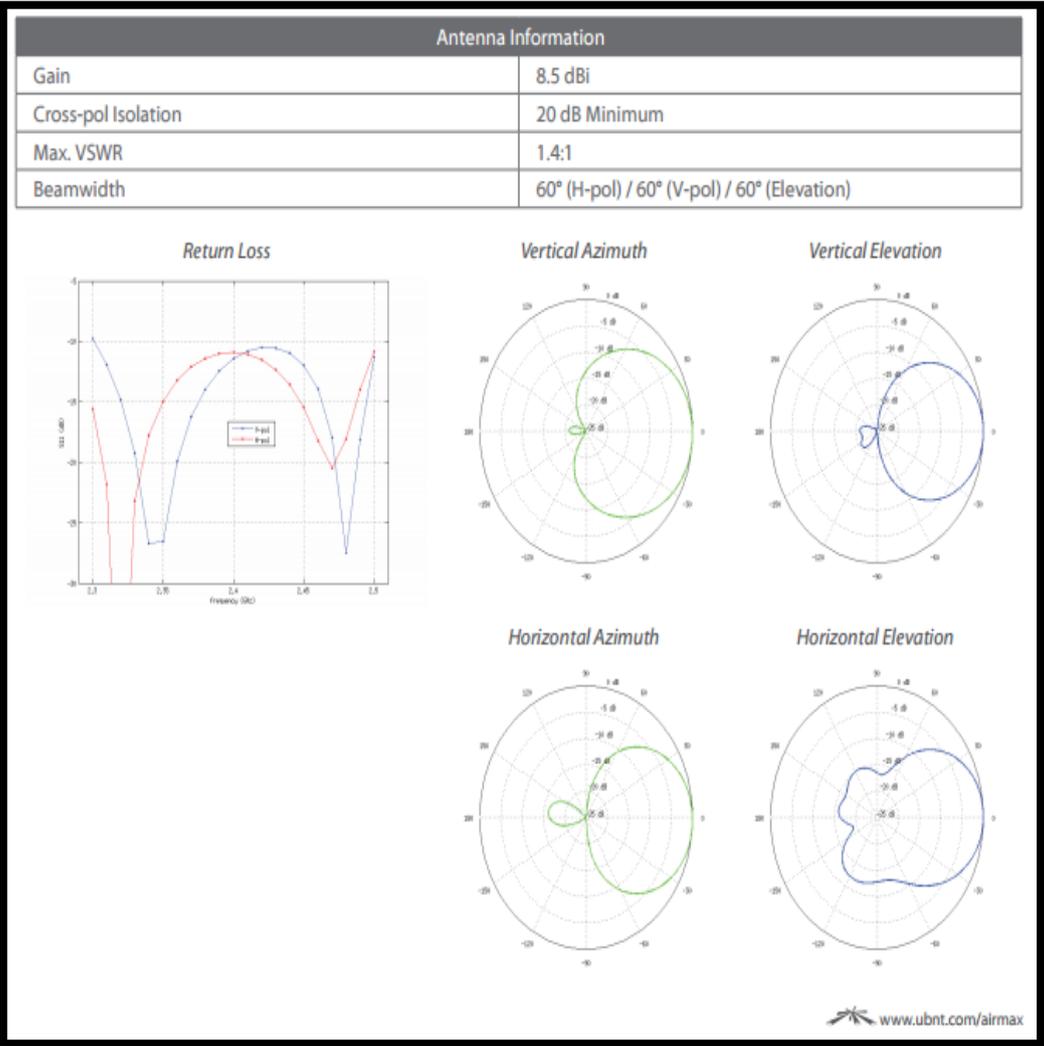
Details	
Product code	RB750GL
CPU nominal frequency	400 MHz
CPU core count	1
Architecture	MIPS-BE
Size of RAM	64 MB
10/100/1000 Ethernet ports	5
Power Jack	1
Supported input voltage	8 V - 30 V
PoE in	Yes
Dimensions	113x89x28mm. Weight without packaging and cables: 129g
Operating System	RouterOS
Operating temperature range	-30C to +70C
License level	4
CPU	AR7242-AH1A
Max Power consumption	5W
Suggested price	\$59.95

Especificaciones Routerboard Microtik



Ubicación Estación Base

ANEXO 3
ESTACIÓN SUSCRIPTORA



Especificaciones Antena Suscriptora

ANEXO 4
COSTO – BENEFICIO

COSTOS

Los costos que a continuación se detallan son estimados para un año, se menciona esto en base a las antenas suscriptoras las cuales se van a adquirir anualmente según el número de clientes a los cuales se va a proveer el servicio. En cuanto a las antenas ubicadas en la estación base y la estación troncal, estas tienen aproximadamente un tiempo de vida de 10 años.

ANTENAS

Tomando en cuenta que se va a proveer el servicio a 286 hogares en 10 años, se estima que en el primer año se establecerá enlaces al 10% del total de hogares, es decir a 28 clientes, para los cuales se va a adquirir 28 antenas suscriptoras. Los precios estipulados están tomados de la página de DynaCom que es un distribuidor oficial de la marca Ubiquiti y Mikrotik en el Ecuador. (DynaCom, s.f.)

Costos Antena

Numero	Descripción	Precio Unitario	Total
2	Antenas Rocket dish 5GHz	431.20	862.4
4	Antenas Sectoriales 2.4 GHz	291.20	1164,80
28	Antenas NanoStation M2	103.04	2885,12
			4912.32

Equipos Electrónicos

Para los equipos electrónicos también se toma los costos proporcionados en la página web, y también se toma en referencia un tiempo de vida de 10 años.

Costos Equipos electrónicos

Numero	Descripción	Precio Unitario	Total
2	Routerboard	218.40	436,8
1	Switch	125.0	125.0
28	Access Point	30.0	840
			1401,8

Elementos Adicionales

Los elementos adicionales se toman como los complementos al diseño de toda la red, para realizar este costo se ha tomado varias estimaciones, como las torres de telecomunicaciones y la implementación, se llega a esta suposición ya que el arriendo común de un domicilio pequeño es de aproximadamente 100 dólares.

Costos Elementos Adicionales

Numero	Descripción	Precio Unitario	Total
2	Torres de telecomunicaciones	200	400
2	Sistema eléctrico	50	100
6	Baterías	85	510
2	Cajas Utp Cat 6 (305 m)	120	240
			1250

Mantenimiento

Dentro de los costos de mantenimiento se realiza un estimado del arriendo de la ubicación de las 2 torres, se llega a este valor suponiendo que el costo del alquiler es equivalente a la mayoría de arriendos en el sector que es de aproximadamente 100 dólares. Cabe recalcar que el costo de mantenimiento es el único que se va a cancelar durante todo el tiempo de vida de la red suponiendo que estos costos se van a mantener por los diez años por los cuales se está proyectando la red.

Costos Mantenimientos

Numero	Descripción	Precio Unitario	Total
24	Arriendo de 2 estaciones	100	2400
24	Pago Eléctrico	8	192
12	Pago proveedor carrier	120	1440
			4032

Tabla 14.Costo Total

Antenas	4912.32
Equipos Electrónicos	1401,8
Elementos Adicionales	1250
Mantenimiento	4032
TOTAL	8764,12

INGRESOS

Para realizar el cálculo de los ingresos que se obtiene del proyecto, se debe tener en claro que el único ingreso es de la mensualidad que los clientes proporcionan a cambio del servicio. Como se había mencionado durante el diseño de la red, se va a contar con dos tipos de clientes, Premium y Standard. Se había mencionado con anterioridad que los clientes Standard cubrirán el 80% de todos los hogares a proveer el servicio y los clientes Premium el 20%. En la tabla 11 se muestra el costo de la tarifa que tendrá el servicio y el costo de la inscripción que es necesario para recuperar un porcentaje de la inversión. Para captar más clientes, se ofrece una promoción del primer mes gratis y la tarifa será modo prepago.

Costos de Internet

Compresión	Velocidad	Tarifa	Tarifa con Impuestos	Inscripción	Inscripción con impuestos
Standard 6:1	2 Mbps	20,0	22,80	50,0	57,0
Premium 4:1	2 Mbps	25,0	28,50	50,0	57,0

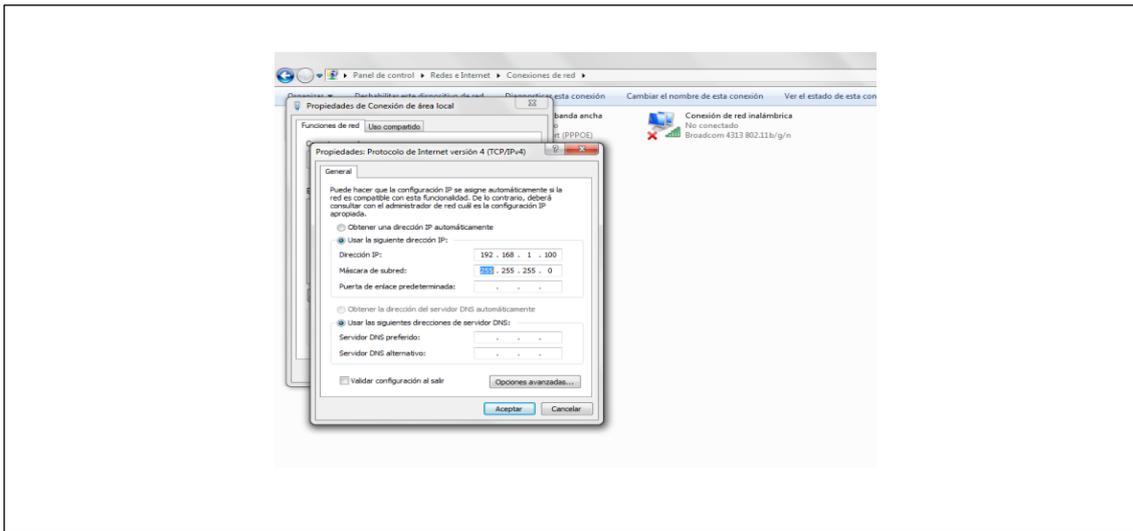
Para el cálculo anual, de la misma forma se toma los 28 hogares, los cuales los clientes Standard (80%) son 24 hogares y los clientes Premium (20 %) son 4 hogares.

Total Ingreso Anual

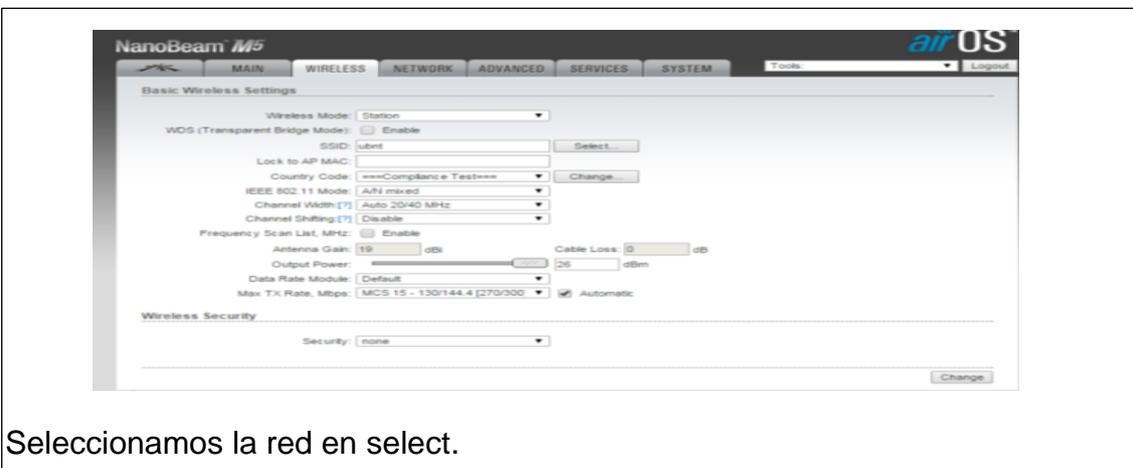
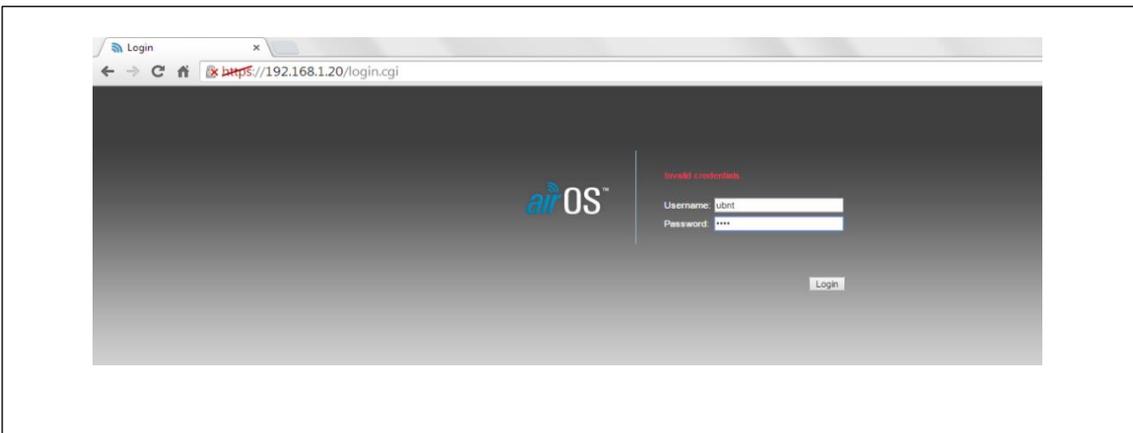
Cientes	Costo de inscripción x Número de clientes	Costo Tarifa N° clientes x 11 meses	Total
24 clientes Standard	1368,0	6019,20	7387,20
4 Clientes Premium	228,0	1254,0	1482,0
			8869,2

ANEXO 5
CONFIGURACION DE ANTENAS UBIQUITI

Cuando el equipo es nuevo se cambia la dirección ip en la maquina

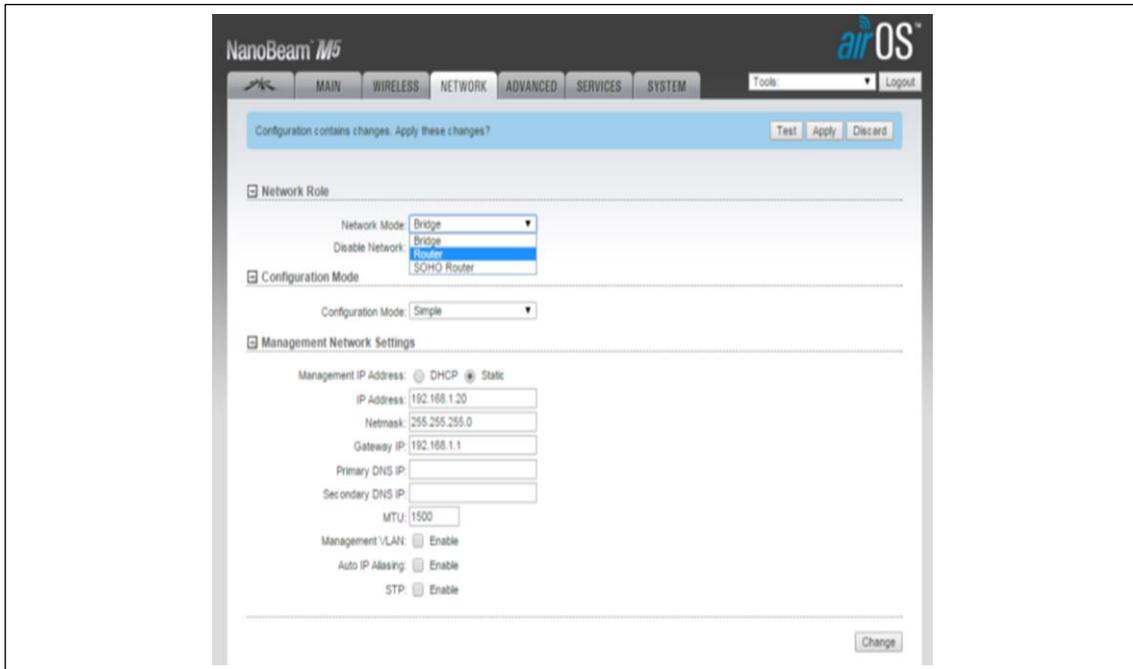


Se abre el navegador y se ingresa con la ip 192.168.1.20 y se coloca usuario y contraseña que es ubnt en usuario y contraseña.

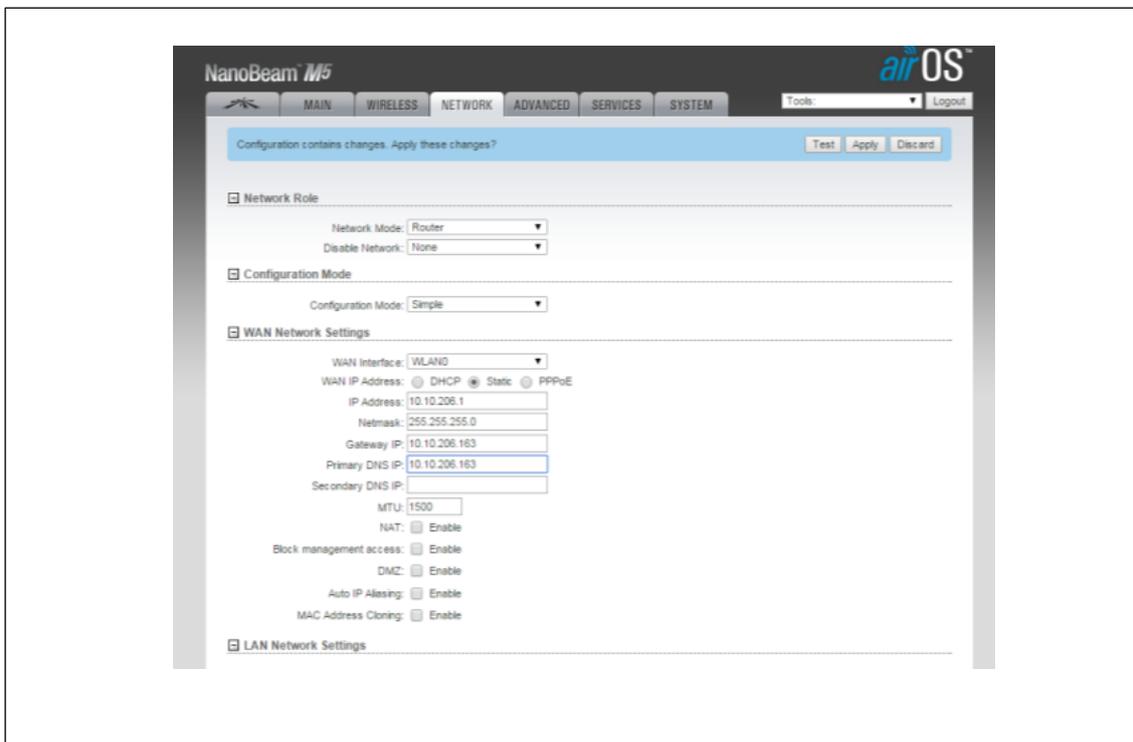


Seleccionamos la red en select.

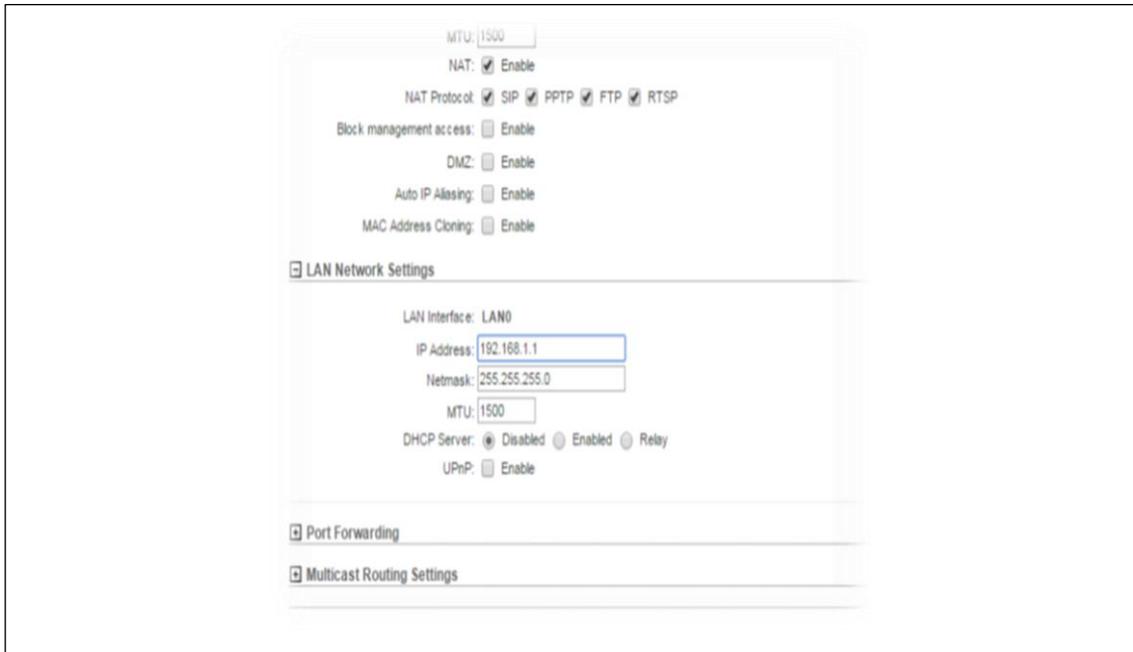
En la pestaña de network y en la flecha junto a bridge se coloca la opción router



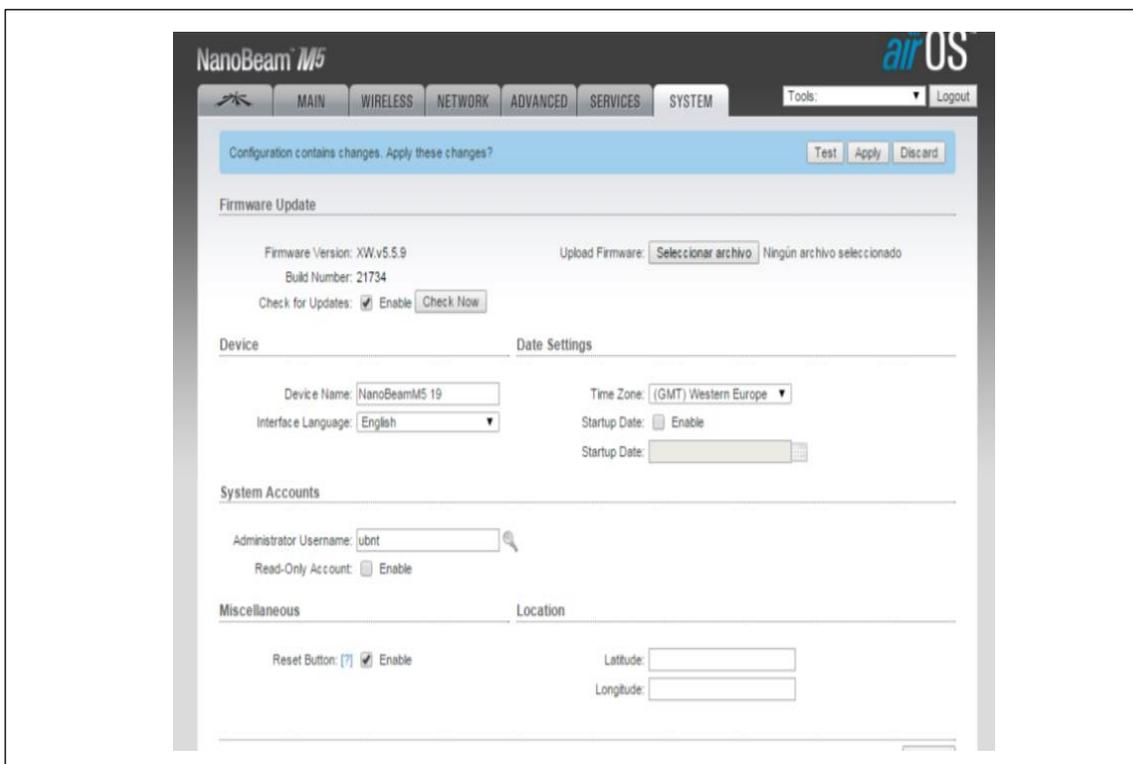
Se coloca las ip designadas en la antena sectorial y el Gateway que permite la interconexión



En la parte de se cambia de ip a cualquier ip privada con la que se desee trabajar.



En la pestaña de system se cambia el nombre de la antena y se coloca una nueva contraseña para evitar manipulaciones.



Al final se puede observar el estado del enlace.

The screenshot displays the 'Status' page of a NanoBeam M5 device running airOS. The interface includes a navigation menu with tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The status information is organized into two columns:

Parameter	Value
Device Model	NanoBeamM5 400
Device Name	JONATHAN
Network Mode	Router
Wireless Mode	Station
SSID	20q-atahuaipa
Security	WPA2-AES
Version	v5.5.6 (XV)
Uptime	26 days 14:32:54
Date	2013-09-26 06:55:45
Channel/Frequency	24 / 5120 MHz
Channel Width	20 MHz
Distance	1.3 miles (2.1 km)
TX/RX Chains	2X2
Antenna	400 - 25 dBi
WLAN MAC	24-A4-3C-DE:21:14
LAN MAC	24-A4-3C-DF:21:14
LANO	100Mbps-Full
AP MAC	44:D9:E7:4C:46:63
Signal Strength	-57 dBm
Chain 0 / Chain 1	-57 / -63 dBm
Noise Floor	-100 dBm
Transmit CCO	99.1 %
TX/RX Rate	19.5 Mbps / 144.444 Mbps
airMAX	Enabled
airMAX Priority	None
airMAX Quality	99 %
airMAX Capacity	98 %