

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

Diseño de una red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer del servicio de internet en las parroquias rurales del Valle de Los Chillos

AUTOR

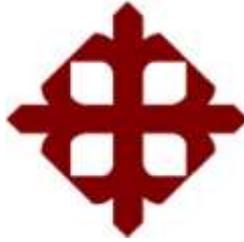
Williams Patricio Mejía Paucar

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

MSc. Luis Córdova Rivadeneira

Guayaquil, 6 de marzo del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Williams Patricio Mejía Paucar** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

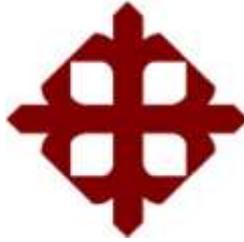
TUTOR

MSc. Luis Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel de Jesús Romero Paz

Guayaquil, 6 de marzo del 2019



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, Mejía Paucar, Williams Patricio

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**Diseño de una red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer del servicio de internet en las parroquias rurales del Valle de Los Chillos**”, previa a la obtención del Grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías.

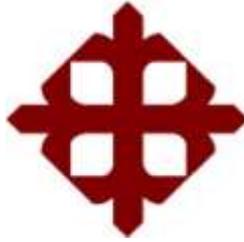
Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 6 de marzo del 2019

EL AUTOR

Williams Patricio Mejía Paucar



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, Williams Patricio Mejía Paucar

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Titulación de Maestría titulado: “**Diseño de una red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer del servicio de internet en las parroquias rurales del Valle de Los Chillos**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 6 de marzo del 2019

EL AUTOR

Williams Patricio Mejía Paucar

DEDICATORIA

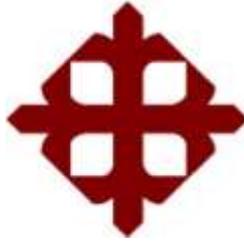
Dedico este Proyecto de tesis a:

A mis padres quienes siempre han sido un ejemplo. A mi familia por el apoyo y la incansable paciencia. A mis hijos por comprenderme a pesar de no poder acompañarlos en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis Padres y toda mi familia y especialmente a mi esposa Catherine y mis hijos, por su apoyo incondicional.

Finalmente, a mi tutor que me ayudo con su experiencia y conocimiento a desarrollar el presente trabajo.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MSc. Luis Córdova Rivadeneira

TUTOR

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

MSc. Orlando Philco Asqui.

REVISOR

f. _____

MSc. Celso Bohórquez Escobar

REVISOR

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
Resumen.....	XVIII
Abstract	XIX
Capítulo I: Generalidades del proyecto de grado.....	20
1.1. Introducción.	20
1.2. Antecedentes.	20
1.3. Planteamiento del problema.....	21
1.4. Definición del problema.....	21
1.4.1. Preguntas de investigación y sistematización.	22
1.5. Justificación.....	22
1.6. Objetivos	23
1.6.1. Objetivo General:	23
1.6.2. Objetivos específicos:.....	23
1.7. Hipótesis.....	23
1.8. Metodología de investigación	23
Capítulo 2: Marco teórico	25
2.1. Estudio del acceso a los servicios de internet en las parroquias rurales del valle de los chillos.....	25
2.2. Estudio de la situación actual.....	26
2.3. Fuentes de información	26
2.3.1. Determinación de la población.....	28
2.3.2. La encuesta y su diseño	28
2.3.3. Marcos de muestreo.....	29
2.4. Tecnología inalámbrica.....	32
2.4.1. Tecnología inalámbrica mimo.....	32
2.4.2. Tecnología inalámbrica Mimo Tdma - Airmax	35
2.5. Conceptos básicos de radio propagación de ondas	38
2.6. Antenas.....	44

2.7.	Mecanismos y técnicas de acceso al medio	49
2.8.	Radioenlace inalámbrico	50
2.9.	Servicios básicos de un ISP.....	55
2.10.	Servidor de nombre de dominio (DNS)	56
2.11.	Servidor de asignación de dirección IP dinámica.....	57
2.12.	Protocolo simple de administración de red (SNMP).....	57
2.13.	Servicios para usuario final	58
2.14.	Protocolo de transferencia de archivos (FTP)	58
2.15.	Correo electrónico	58
2.16.	Servicio de alojamiento web	58
2.17.	Proxy	58
2.18.	Servicio de voz sobre IP (VoIP).....	59
	Capítulo 3: Desarrollo del trabajo	60
3.1.	Diseño y requerimientos del ISP.....	60
3.2.	Selección del tamaño de la muestra	61
3.3.	Recopilación de datos	62
3.3.1.	Requerimientos de los usuarios	62
3.3.2.	Requerimientos de la red	62
3.4.	Dimensionamiento de la red	63
3.5.	Proyección de la demanda.....	63
3.6.	Cálculo del número inicial de usuarios	66
3.7.	Proyección del mercado	67
3.8.	Red troncal	67
3.9.	Conexión al nap.ec (NAP Ecuador)	67
3.10.	Cálculo de la capacidad mínima de la red troncal.....	68
3.11.	Selección de la empresa portadora encargada de brindar la salida local al ISP.....	72
3.12.	Diseño de la red de distribución	73
3.13.	Capa de distribución	74
3.14.	Capa de acceso	76
3.15.	Diseño de la red inalámbrica.	77
3.15.1.	Topología general de la red.	77
3.16.	Planificación de enlaces de radio PtP con la repetidora de Miravalle (nodo principal - estaciones base).	79

3.17.	Cálculo del presupuesto de los enlaces inalámbricos.....	82
3.18.	Selección de los parámetros de modelación de los enlaces inalámbricos....83	
3.19.	Diseño de la red de abonado.....	88
3.20.	Requerimientos de los equipos.....	91
3.21.	Equipos de comunicación inalámbrica.....	100
3.22.	Equipos de respaldos eléctricos en los nodos.....	103
3.23.	Descripción de la zona de cobertura.....	105
3.24.	Determinación del marco de muestreo.....	107
	Capítulo 4: Resultados, presupuesto.....	113
4.1.	Presentación y resultados de la encuesta.....	113
4.2.	Resultados de la modelación con radio Mobile.....	117
4.3.	Determinación de costos.....	128
4.3.1.	Costos del equipamiento.....	128
4.3.2.	Costos del enlace de fibra óptica.....	130
4.3.3.	Costos de operación.....	130
4.3.4.	Costos de funcionamiento.....	130
4.3.5.	Costos de conexión troncal.....	132
4.3.6.	Costo total de la inversión.....	133
	CONCLUSIONES.....	134
	RECOMENDACIONES.....	135
	BIBLIOGRAFÍA.....	136
	GLOSARIO.....	140
	ANEXOS.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Comparación entre el 802.11n y 802.11ac.....	38
Tabla 2. 2. Ejemplo de potencia pico de transmisión de una tarjeta inalámbrica IEEE 802, 11a/b típica.....	52
Tabla 2. 3. Valores típicos de pérdidas en los cables para 2,4 GHz.	52
Tabla 2. 4. Valores típicos de sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.....	54
Tabla 2. 5. Factor de rugosidad del terreno, A.	54
Tabla 2. 6. Factor de análisis climático anual, B.	54
Tabla 3. 1. Cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.	64
Tabla 3. 2. Proyección de cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.	65
Tabla 3. 3. Proyección de la demanda 2018 -2022 para las parroquias rurales del Valle de los Chillos.	67
Tabla 3. 4. Códecs de VoIP.....	69
Tabla 3. 5. Cálculo de la capacidad del canal.	71
Tabla 3. 6. Proyección de total de ancho de banda digital requerido.....	71
Tabla 3. 7. Enlaces de backbone principales.....	79
Tabla 3. 8. Ancho de banda digital mínimo requerido por estación base.	80
Tabla 3. 9. Canales de frecuencia con ancho de banda de 40 MHz en la banda de 5 000 MHz.	81
Tabla 3. 10. Asignación de canales.....	81
Tabla 3. 11. Presupuesto de enlace	83
Tabla 3. 12. Coordenadas geográficas de los nodos.	84
Tabla 3. 13. Presupuesto de enlace.	87
Tabla 3. 14. Esquema de asignación de direcciones IP.	90
Tabla 3. 15. Capacidad requerida para el servidor de correo.....	96
Tabla 3. 16. Capacidad del servidor Web.	97
Tabla 3. 17. Resumen de Equipos.....	105
Tabla 4. 1. Porcentaje de personas según la frecuencia de uso de Internet.....	113
Tabla 4. 2. Porcentaje de personas según el tiempo de uso de Internet.	113
Tabla 4. 3. Porcentaje de personas según el lugar al que acceden a Internet.....	114
Tabla 4. 4. Servicios frecuentemente usados del Internet.....	114

Tabla 4. 5. Porcentaje de personas que disponen de un computador en el hogar.	115
Tabla 4. 6. Porcentaje de personas que disponen de Internet en el hogar.....	115
Tabla 4. 7. Porcentaje de personas según el tipo de conexión a Internet que disponen.	115
Tabla 4. 8. Calidad del servicio de Internet actual según encuestados.	116
Tabla 4. 9. Porcentaje de encuestados según el paquete de Internet ofrecido. ...	116
Tabla 4. 10. Costo de operación anual de enlaces de radio.....	117
Tabla 4. 11. Enlaces de Radio Punto a Punto.	128
Tabla 4. 12. Valores equipos de red (Microtik, 2018) (Aire Ec., 2018).	129
Tabla 4. 13. Valores equipos de comunicación inalámbrica más antena (Ubiquiti Networks, 2018) (Aire Ec., 2018).	129
Tabla 4. 14. Valores equipos respaldo eléctrico (Mercado Libre, 2018).	129
Tabla 4. 15. Costo equipo administrador de servidores (Amazon, 2018).	129
Tabla 4. 16. Costos totales de equipos.	130
Tabla 4. 17. Materiales en enlace de fibra óptica.....	130
Tabla 4. 18. Costo de operación anual de enlaces de radio.....	132
Tabla 4. 19. Costo del enlace troncal para 2 000 usuarios.	132
Tabla 4. 20. Costo del enlace troncal para 600 usuarios.....	132
Tabla 4. 21. Costos totales.	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Clasificación de las fuentes de información.	27
Figura 2. 2. Representación gráfica del muestreo aleatorio simple.	30
Figura 2. 3. Representación gráfica del muestreo aleatorio sistemático.	30
Figura 2. 4. Representación gráfica del muestreo aleatorio estratificado.	31
Figura 2. 5. Representación gráfica del muestreo aleatorio por conglomerados. .	31
Figura 2. 6. Representación gráfica del muestreo por selección intencionada.	32
Figura 2. 7. Arquitectura MIMO NxM.	34
Figura 2. 8. Ejemplo de arquitectura MIMO 2T2R aplicado en la tecnología celular 3G.	34
Figura 2. 9. Distribución de servicio de Internet con la arquitectura MIMO TDMA – AIRMAX	37
Figura 2. 10. Alcances con la arquitectura MIMO TDMA – AIRMAX.	37
Figura 2. 11. Zonas de Fresnel.	41
Figura 2. 12. Pérdida en el espacio libre.	42
Figura 2. 13. Atenuación específica por gases atmosféricos	44
Figura 2. 14. Patrones de radiación de las antenas.	45
Figura 2. 15. Puntos de media potencia en un diagrama de radiación.	46
Figura 2. 16. Polarizaciones de la antena.	46
Figura 2. 17. Tipos de antenas parabólicas.	47
Figura 2. 18. Cobertura circular con tres antenas sectoriales de 120°	48
Figura 2. 19. Arquitectura de red con antenas panel plano Nanostation.	48
Figura 2. 20. Diferentes técnicas de acceso al medio.	50
Figura 2. 21. Trayectoria de transmisión recepción y elementos del presupuesto de radio enlace.	55
Figura 2. 22. Tipos de conexiones a Internet	56
Figura 2. 23. Protocolos y servicios DNS.	57
Figura 3. 1. Se muestra el número de cuentas dedicadas para la provincia de Pichincha.	64
Figura 3. 2. Topología física de NAP.EC.	68
Figura 3. 3. Proyección de demanda de velocidad de transmisión.	72
Figura 3. 4. Esquema de red del ISP.	76

Figura 3. 5. Enlaces punto a punto, nodo principal-repetidor de Miravalle.....	77
Figura 3. 6. Enlaces punto a punto, repetidores de Miravalle a nodos de distribución o secundarios.....	78
Figura 3. 7. Enlaces Punto – MultiPunto, nodo secundario a usuarios finales. ...	78
Figura 3. 8. Enlaces punto multipunto.....	85
Figura 3. 9. Esquema de última milla.....	88
Figura 3. 10. Red de Abonado.....	89
Figura 3. 11. Panorámica de las parroquias rurales del Valle de los Chillos vista desde el repetidor ubicado en San Luis de Miravalle.....	107
Figura 3. 12. Panorámica de las parroquias rurales del Valle de los Chillos vista desde el repetidor ubicado en San Luis de Miravalle.....	107
Figura 3. 13. Ubicación de los nodos en las parroquias rurales donde se encuentra el marco de muestreo.....	108
Figura 3. 14. Zona de cobertura del sitio Pintag del Valle de los Chillos.....	108
Figura 3. 15. Zona de cobertura del sitio La Merced del Valle de los Chillos. .	109
Figura 3. 11. Zona de cobertura del sitio Alangasi del Valle de los Chillos.....	109
Figura 3. 17. Zona de cobertura del sitio Guangopolo del Valle de los Chillos.	110
Figura 3. 18. Zona de cobertura del sitio San Pedro de Taboada del Valle de los Chillos.....	110
Figura 3. 19. Zona de cobertura del sitio Cuendina del Valle de los Chillos.....	111
Figura 3. 20. Zona de cobertura del sitio Cotogchoa del Valle de los Chillos...	111
Figura 3. 21. Zona de cobertura del sitio Rumipamba del Valle de los Chillos.	112
Figura 3. 22. Zona de cobertura del sitio Amaguaña del Valle de los Chillos...	112
Figura 4. 1. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Pintag.....	118
Figura 4. 2. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Pintag.....	118
Figura 4. 3. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo La Merced.....	119
Figura 4. 4. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo La Merced.....	119
Figura 4. 5. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Alangasi.....	120
Figura 4. 6. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Alangasi.....	120
Figura 4. 7. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Guangopolo.....	121
Figura 4. 8. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Guangopolo.....	121
Figura 4. 9. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo San Pedro de Taboada.....	122

Figura 4. 10. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo San Pedro de Taboada.	122
Figura 4. 3. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Conocoto.....	123
Figura 4. 12. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Conocoto.....	123
Figura 4. 13. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Cuendina.....	124
Figura 4. 14. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Cuendina.	124
Figura 4. 15. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Cotogchoa.....	125
Figura 4. 16. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Cotogchoa.	125
Figura 4. 17. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Rumipamba.....	126
Figura 4. 18. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Rumipamba.....	126
Figura 4. 19. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Amaguaña.....	127
Figura 4. 20. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Amaguaña.	127

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS 1. ENCUESTA SERVICIO DE INTERNET EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL VALLE DE LOS CHILLOS	145
--	-----

Resumen

La evolución de la tecnología ha generado una mayor rivalidad competitiva entre los proveedores del servicio de Internet, por lo tanto, se planteó el objetivo de diseñar una red inalámbrica que permita proveer el servicio de Internet a zonas rurales del Valle de los Chillos y precios accesible, bajo la topología de acceso de última milla inalámbrico. Se aplicó la metodología documental, para realizar el estudio de mercado, técnico y económico de la propuesta, cuyos resultados evidenciaron que la proyección de la demanda con datos reales, bajo la interpolación de una función logarítmica dio como resultado una cantidad considerable de usuarios, siendo la principal característica de MIMO, el Three-Stream que usa tres flujos de haces espaciales para incrementar de manera notable la velocidad inalámbrica. También es muy importante el ancho de canal, normalmente de 20 MHz, pero 802.11n permite anchos de canal de 40 MHz usando dos canales separados de 20 MHz para aumentar velocidad de transferencia mínima 177.5 Mbps, necesiándose MIMO con 2 canales de 20MHz cada uno para velocidad máxima de 300 MHz y 300 Mbps teóricos de velocidad en WiFi-N se debe tener como mínimo MIMO 2T2R, 40 MHz de ancho de canal y dos flujos de haces (two-stream), con 20MHz de ancho de banda del canal, 2.4 GHz o 5GHz. En conclusión, la topología de acceso de última milla mejora la conectividad de la red inalámbrica propuesta.

Palabras Claves: Red Inalámbrica, Tecnología MIMO TDMA, Servicio de internet, demanda de parroquias rurales.

Abstract

The evolution of technology has generated a greater competitive rivalry among Internet service providers, therefore, the goal was to design a wireless network to provide Internet service to rural areas of Valle de los Chillos and accessible prices , under the Wireless last mile access topology. The documentary methodology was applied to carry out the market, technical and economic study of the proposal, whose results showed that the projection of the demand with real data, under the interpolation of a logarithmic function, resulted in a considerable number of users, being the main characteristic of MIMO, the Three-Stream that uses three flows of spatial beams to increase in a remarkable way the wireless speed. Also very important is the channel width, normally 20 MHz, but 802.11n allows 40 MHz channel widths using two separate 20 MHz channels to increase the minimum transfer speed 177.5 Mbps, requiring MIMO with 2 channels of 20 MHz each for Maximum speed of 300 MHz and 300 Mbps theoretical speed in WiFi-N must have at least MIMO 2T2R, 40 MHz channel width and two beams (two-stream), with 20MHz channel bandwidth, 2.4 GHz or 5GHz. In conclusion, the last mile access topology improves the connectivity of the proposed wireless network.

Key Words: Wireless Network, MIMO TDMA Technology, Internet Service, demand of rural parishes.

Capítulo I: Generalidades del proyecto de grado

1.1. Introducción.

Para la población en la actualidad Internet se posiciona como una necesidad y un elemento capaz de impactar en su desarrollo económico, político y social. Además, el Internet se ha convertido en una necesidad sin importar el estrato social. Las personas sufragan el servicio de Internet que cada vez más impacta en los diferentes ámbitos de la vida diaria. En ese impacto se encuentra en cómo se consume en la educación, la publicidad, el entretenimiento incluyendo la televisión y hasta en los negocios.

Las redes inalámbricas de área local actualmente han cosechado éxitos tanto en ambientes residenciales, domésticos como en oficinas y empresas, debidos en parte a la función que aportan y a su bajo coste. Sin embargo, la tasa de transferencia que se consigue con las WLANs actuales es todavía muy limitada comparándolas con las actuales LAN cableadas, 1 000Mbps.

Es así que surge MIMO, acrónimo en inglés de Multiple-Input Multiple-Output (en español, Múltiple entrada, Múltiple salida) como la tecnología que promete resolver muchos de estos problemas, ofreciendo mayores tasas de transferencia, mayores distancias de cobertura, mayor capacidad de usuarios y más fiabilidad; y todo ello sin aumentar el ancho de banda, y la potencia transmitida.

Por estas propiedades, el grupo de trabajo IEEE 802.11n desarrolló un estándar para WLANs que permite conseguir una velocidad máxima teórica de hasta 600 Mbps, 10 veces más que el límite teórico de sus predecesores, y un tráfico efectivo (*throughput*) de 108 Mbps.

1.2. Antecedentes.

El antecedente de la investigación surgió con la aparición de la tecnología MIMO o Múltiple-Input Múltiple-Output (en español, Múltiple entrada, Múltiple salida), en el año 2007, donde esta tecnología se asoció con el estándar WiFi 802.11, el cual permitió a su vez que el router pueda comunicarse en un tiempo simultáneo, por medio de un dispositivo único.

A partir de este acontecimiento, la evolución tecnológica generó mayor competitividad en las empresas que ofrecen el servicio de Internet a la ciudadanía, por consiguiente, quienes adoptaron la tecnología MIMO generaron ventajas competitivas, con relación a quienes no lo adoptaron en la segunda década del siglo XXI, situación que representa el evento por el cual se está desarrollando la presente investigación, dada las limitaciones observadas en CNT como proveedor de servicios de Internet, encontrándose insatisfecho el mercado del sector rural, especialmente en aquellos sectores donde no ha llegado esta evolución tecnológica.

1.3. Planteamiento del problema.

En la visita técnica realizada se detectó la deficiencia de servicio de los proveedores existentes por el cual muchos usuarios potenciales no se han acogido a esos servicios existentes. Además, proveedores como CNT no brindan un buen servicio por la red de cobre, llegando la señal al usuario de manera deficiente y demoras en descargar y subir información.

La infraestructura de red de fibra óptica provista por CNT, Telconet, Netlive y otros cubre en cierta parte lugares céntricos del pueblo, quedando aislados los usuarios lejanos. Por lo tanto con el estudio y diseño de esta red inalámbrica se pretende en una futura implementación solventar estas deficiencias y los usuarios estén conectados al mundo del internet y disfruten de sus facilidades de bajar y subir información.

1.4. Definición del problema.

La carencia de proveedores de servicio a Internet que utilicen topologías de acceso de última milla, limita la conectividad de los usuarios que viven en las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

1.4.1. Preguntas de investigación y sistematización.

- ¿Cuál es la tecnología y topología de redes que puede mejorar el acceso y la conectividad de los usuarios que viven en las parroquias rurales del Valle de los Chillos?
- ¿Cuáles son las tecnologías inalámbricas que debe utilizar el diseño de la red inalámbrica para mejorar la conectividad de los usuarios que viven en las parroquias rurales del Valle de los Chillos?
- ¿Cómo impactará la red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer internet a las zonas rurales del Valle de los Chillos?
- ¿Cuál es la cobertura o diagrama de conexión última milla, nodo o repetidor?

1.5. Justificación

La tecnología MIMO TDMA puede mejorar la conectividad de los usuarios, debido a su topología potenciada, la cual utilizar tecnologías inalámbricas que pueden incrementar la velocidad en la comunicación y contribuir a alcanzar zonas a las que no se podría llegar con algún tipo de cableado que sea necesario para la conexión del servicio de Internet.

Por esta razón, la importancia de la investigación se centra específicamente en mejorar el acceso al servicio de Internet en los sectores rurales, en donde es difícil llegar a través de la conexión por cables, a lo que se añade que la evolución tecnológica exige que el servicio de Internet cada vez tenga mayor velocidad y mantenga alta su conectividad, para satisfacer las exigencias requeridas por los usuarios y fortalecer la competitividad de los oferentes del servicio de Internet.

La tecnología MIMO TDMA, además de ser conveniente su instalación, también tiene gran utilidad para el desarrollo de las zonas rurales del Valle de los Chillos, las cuales han quedado fuera del acceso del Internet en pleno siglo XXI, por esta razón, la propuesta del diseño de una red inalámbrica que permita proveer el servicio de Internet a zonas rurales del Valle de los Chillos, bajo la topología de acceso de última milla, tiene gran trascendencia y relevancia para el desarrollo de estos sectores rurales.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General:

Diseñar una red inalámbrica que permita proveer el servicio de Internet a zonas rurales del Valle de los Chillos y precios accesible, bajo la topología de acceso de última milla inalámbrica.

1.6.2. Objetivos específicos:

- Describir las tecnologías inalámbricas a utilizar en este diseño.
- Diseñar la red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer internet a las zonas rurales del valle de los chillos.
- Evaluación del estudio de cobertura o diagrama de conexión última milla, nodo o repetidor.

1.7. Hipótesis

El estudio de cobertura del enlace hasta las zonas rurales del Valle de los Chillos, podría mejorar la conectividad de los usuarios.

1.8. Metodología de investigación

La metodología de la investigación es una disciplina de conocimiento encargada de elaborar, definir y sistematizar el conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se deben seguir durante el desarrollo de un proceso de investigación para la producción de conocimiento.

Se aplicó la metodología documental para el desarrollo de la investigación, en donde se tomaron datos correspondientes a la población de las parroquias rurales del Valle de los Chillos, de la fuente del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, así como también la revisión bibliográfica donde se extrajo las ecuaciones para el cálculo de la demanda, de la oferta y de las dimensiones de la infraestructura.

También se tomaron datos documentales para realizar el presupuesto de los recursos necesarios para el diseño de una red inalámbrica que permita proveer el servicio de Internet a zonas rurales del Valle de los Chillos y precios accesible, bajo la topología de acceso de última milla.

También se aplicó el método de interpolación, donde la mejor aproximación a la curva original se lo realiza con una función logarítmica, debido a que obtuvo mayor confianza que los métodos polinomios y exponenciales, para calcular la muestra y la proyección de la demanda del servicio de Internet en las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

Cabe indicar que la investigación el investigador está interesado en obtener resultados en consecuencia se realizará un análisis espectral en los diferentes nodos para recomendar el mejor canal de operación y se realizará una simulación de los enlaces mediante un software de radio enlaces.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Estudio del acceso a los servicios de internet en las parroquias rurales del valle de los chillos.

En la actualidad el internet es considerado como una necesidad y elemento dentro del desarrollo económico, político y social. Por esta razón se ha convertido en algo fundamental dentro de toda empresa, hogar, negocio, entre otros. Además, es de uso importante dentro de los establecimientos de educación, la publicidad, el entretenimiento incluyendo la televisión.

Es así como en este apartado se realiza un estudio para proveer del servicio de Internet en las parroquias rurales del Valle de Los Chillos. En éste se obtiene la información necesaria para el diseño y dimensionamiento de la red. Además, permitirá tener una visión clara de las necesidades de la población en cuanto a los servicios y su poder adquisitivo para contratar el mismo. Esta información se obtendrá mediante una encuesta a la población, con un conjunto de preguntas asociadas a los servicios de Internet y en correspondencia se obtendrán respuestas cercanas a la realidad y muy valiosas para este proyecto.

Por último, de la información obtenida se podrá realizar un análisis de los servicios a brindar a los usuarios y determinar además los parámetros más importantes para el dimensionamiento de la red de datos a diseñar. Para alcanzar el objetivo propuesto se desarrollará una encuesta que será distribuida a los habitantes de las parroquias rurales del Valle de los Chillos, la cual se considera como un mercado para la futura implementación y puesta en marcha del presente proyecto.

El propósito de la aplicación de la encuesta es obtener información veraz de los habitantes de las parroquias rurales. Además, para la obtención de información se emplearán fuentes secundarias de datos como los publicados por entidades del estado (ejemplo Arcotel), medios de prensa escritos y audiovisuales.

Para la obtención de la información necesaria del presente estudio a través de las encuestas se tuvo en cuenta los siguientes objetivos secundarios:

- Determinar el estado de conexión y el grado de penetración de los servicios de Internet en la población rural del Valle de los Chillos.
 - Identificar los servicios a que se conectan, frecuencia y uso, ya sea para la educación, publicidad, negocios, entretenimiento u otros.
 - Determinar la acogida del proyecto en la zona.
 - Recolectar, presentar y analizar los datos obtenidos.

2.2. Estudio de la situación actual

La situación actual es el estado en el que se encuentran el acceso a Internet de los habitantes en el momento en el que se inicia su estudio. Teniendo en cuenta el objetivo del estudio de la situación actual, se realiza una valoración de la información existente acerca del acceso a Internet de los habitantes afectados. En función de dicha valoración, se especifica el nivel de detalle con que se debe llevar a cabo el estudio. En este caso se hizo necesaria la constitución de un equipo de trabajo específico para su realización y se identifican los usuarios participantes en el mismo.

Se documentó la situación actual y dividiendo el sistema actual en subsistemas. Se describió cada uno de los subsistemas, valorando la información relevante para su descripción. Como resultado de esta actividad se hace un diagnóstico, estimando la eficiencia de los sistemas de información existentes e identificando los posibles problemas y sus mejoras.

2.3. Fuentes de información

Las fuentes de información son diversos tipos de documentos que contienen datos útiles para satisfacer una demanda de información o conocimiento. Conocer, distinguir y seleccionar las fuentes de información adecuadas para el trabajo que se está realizando es parte del proceso de investigación.

Para el presente estudio se consideran como fuentes principales de información las primarias y las secundarias, no obstante existe otra clasificación como se indica en la figura 2.1.

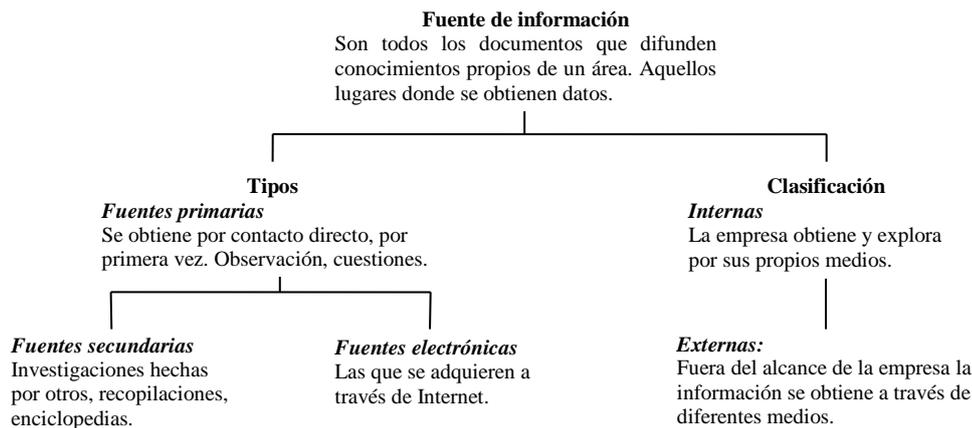


Figura 2. 1. Clasificación de las fuentes de información.

Fuente: (Rivera, 2016)

Las fuentes de información primarias contienen información nueva y original. Esta es el resultado de un trabajo intelectual encontrado en libros, revistas de ciencias y de entretenimiento, periódicos, diarios, documentos oficiales de instituciones públicas, informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas, patentes, y normas técnicas. Al ser este proyecto de diseño el de un Proveedor de Servicios de Internet (ISP) se utilizarán como fuentes de información primarias internas las mismas que se recolectan por medio de una encuesta distribuida a los habitantes de las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

Las fuentes de información secundarias contienen información organizada, elaborada, producto de análisis, extracción o reorganización que refieren a documentos primarios originales. Son fuentes secundarias: enciclopedias, antologías, directorios, libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones. En este estudio se utilizan como fuentes secundarias las publicaciones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC), la Superintendencia de Telecomunicaciones, Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) y páginas Web de otros proveedores de ISP. El objetivo de la revisión de estas fuentes secundarias es obtener información que ayude a determinar de manera eficaz el grado de penetración de los servicios de Internet en las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

2.3.1. Determinación de la población

Para determinar la posible población a acceder a estos servicios, la población se segmenta bajo determinados criterios:

- Segmentación psicográfica.
- Segmentación geográfica.
- Socioeconómica.
- Demográfica.

La segmentación psicográfica consiste en delimitar el público objetivo de un determinado producto o servicio en base a sus actitudes, a sus estilos de vida y a su personalidad. Aquí se considera la selección de la población que se encuentran en un radio de 2 km de las parroquias rurales del Valle de los Chillos. Además de que no tendrían problema en adquirir el servicio de Internet para sus hogares.

La segmentación geográfica consiste en la división del mercado siguiendo criterios de ubicación física. Así, el mercado es dividido en áreas geográficas diferentes, a donde irán dirigidos los servicios o productos. La segmentación socioeconómica consiste en agrupar a la población de un mercado de acuerdo con estratos sociales. La segmentación demográfica consiste en dividir el mercado en grupos más pequeños. Este tipo de segmentación toma en cuenta variables como la edad, ingresos, grado de estudios, nacionalidad, religión, ocupación, otras.

2.3.2. La encuesta y su diseño

La encuesta es un método de investigación y recopilación de datos utilizados para obtener información de personas sobre diversos temas. Las encuestas tienen una variedad de propósitos y se pueden llevar a cabo de diversas maneras dependiendo de la metodología elegida y los objetivos que se deseen alcanzar.

En síntesis, una encuesta es una técnica o método de recolección de información en donde se interroga de manera verbal y/o escrita a un grupo de personas con el fin de obtener determinada información anónima necesaria para una investigación. Una encuesta por lo general tiene sus inicios cuando una persona,

empresa u organización se enfrenta a una necesidad de información. En estos casos se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Establecer los objetivos de la investigación. Los mismos deben ser claros y específicos.
- Desarrollar una metodología. Tomar en cuenta la manera en que se va a obtener la muestra para disminuir el margen de error. Decidir la manera en que se llevará a cabo la recolección de la información. Diseñar las preguntas y realizar una prueba antes de aplicar la encuesta. Prever la falta de respuestas y el tiempo necesario para analizar de datos.
- El diseño del cuestionario debe ser acorde a las necesidades de información que requieren ser medidas. Se deben de evitar sesgos utilizando conceptos claros y bien definidos en cada pregunta.
- Evitar las encuestas largas debido a que pueden llegar a cansar al encuestado y hacer que abandone la encuesta o responda apresuradamente y con errores.
- Dentro del diseño de encuestas también se encuentran factores como: si es una encuesta *online* o de campo, encuesta para alguna aplicación móvil y el tipo de preguntas que se formularán. Por ejemplo, preguntas de opción múltiple, preguntas abiertas, de escala de valores, de clasificación gráfica, los saltos de preguntas, las casillas de verificación, y otros.
- La manera de abordar las preguntas, tanto su orden como la manera en que están redactadas. Por ejemplo, cuando se pregunte sobre eventos o situaciones pasadas, o personales. Que no se olvide que para tener datos fiables y correctos se debe confiar también en la buena memoria de los encuestados y en la confianza que tengan al responder.

2.3.3. Marcos de muestreo

Un marco muestral es una lista de elementos que componen el universo que se quiere estudiar y de la cual se extrae la muestra (Ochoa, 2015). Estos elementos a investigar pueden ser individuos, pero también pueden ser hogares, instituciones y cualquier otro ente susceptible de ser investigado.

Existen seis tipos principales de diseños de muestras de probabilidad para la elección de una muestra significativa:

- Muestreo aleatorio simple.
- Muestreo aleatorio sistemático.
- Muestreo aleatorio estratificado.
- Muestreo aleatorio por conglomerados.
- Muestreo de conveniencia o por selección intencionada.
- Muestreo mixto.

El *muestreo aleatorio simple* es la técnica de muestreo en la que todos los elementos que forman el universo y que, por lo tanto, están descritos en el marco muestral, tienen idéntica probabilidad de ser seleccionados para la muestra. En la figura 2.2 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio simple.

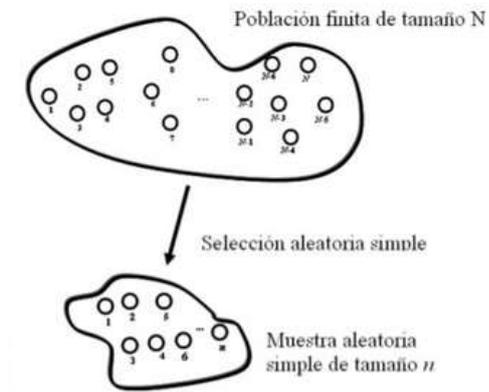


Figura 2. 2. Representación gráfica del muestreo aleatorio simple.
Fuente: (Huillcañahui, 2013)

El *muestreo sistemático* es un tipo de muestreo que es aplicable cuando los elementos de la población sobre la que se realiza el muestreo están ordenados. Este procedimiento de muestreo se basa en tomar muestras de una manera directa y ordenada a partir de una regla determinística, también llamada sistemática. En la figura 2.3 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio sistemático.

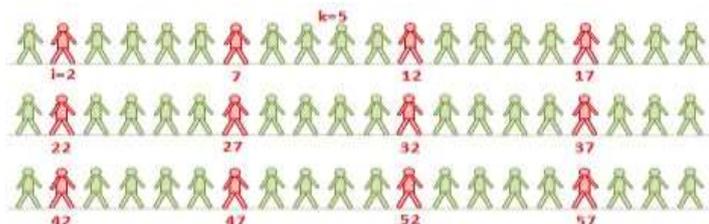


Figura 2. 3. Representación gráfica del muestreo aleatorio sistemático.
Fuente: (Universo Formúlas, 2019)

El *muestreo estratificado* es una técnica de muestreo probabilístico en donde el investigador divide a toda la población en diferentes subgrupos o estratos. Luego, selecciona aleatoriamente a los sujetos finales de los diferentes estratos en forma proporcional. En la figura 2.4 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio estratificado.



Figura 2. 4. Representación gráfica del muestreo aleatorio estratificado.
Fuente: (Ger, 2015)

El *muestreo por conglomerados* es una técnica que aprovecha la existencia de grupos o conglomerados en la población que representan correctamente el total de la población en relación con la característica que se quiere medir. Expresado de otro modo, estos grupos contienen toda la variabilidad de la población. En la figura 2.5 se muestra la representación gráfica del muestreo aleatorio por conglomerados.



Figura 2. 5. Representación gráfica del muestreo aleatorio por conglomerados.
Fuente: (Universo Formúlas, 2019)

El *muestreo por conveniencia* es un método de muestreo no probabilístico. Consiste en seleccionar a los individuos que convienen al investigador para la muestra. En la figura 2.6 se muestra la representación gráfica del muestreo por selección intencionada o muestreo de conveniencia.



Figura 2. 6. Representación gráfica del muestreo por selección intencionada.
Fuente: (Universo Formúlas, 2019)

El *muestro mixto* cuando la población es compleja, donde cualquiera de los métodos descritos puede ser difícil de aplicar, en estos casos se aplica un muestreo mixto que combina dos o más de los anteriores métodos sobre distintas unidades de la encuesta.

De acuerdo con (Valdivieso, Valdivieso, & Valdivieso, 2015), la ecuación 2.1 es una fórmula muy conocida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos

$$Q = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N-1)E^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (2.1)$$

Dónde: Q es el tamaño de la muestra; Z es el coeficiente de confianza; σ es la varianza en las respuestas; E es el error muestral y N es el tamaño de la población.

2.4. Tecnología inalámbrica

2.4.1. Tecnología inalámbrica mimo

La tecnología MIMO corresponde a las siglas de múltiples entradas múltiples salidas (*Multiple Input Multiple Output*). Esta permite una mayor cobertura inalámbrica en zonas de difícil acceso eliminando en lo posible la pérdida de paquetes de datos de información. También permite aumentar la velocidad de transmisión inalámbrica por usar varias antenas de forma simultánea.

La tecnología MIMO depende de señales multitrayecto (multiruta). Estas son señales reflejadas que llegan al receptor un tiempo después de haberse recibido la señal de línea de visión directa (*line of sight*, LOS). En una red no basada en MIMO,

como son las redes 802.11a/b/g, las señales multitrayecto se perciben como interferencias que degradan la habilidad del receptor de recuperar el mensaje original en la señal recibida. En cambio, MIMO utiliza la diversidad de las señales multitrayectos para incrementar la habilidad de un receptor de recuperar los mensajes en la señal.

Esta tecnología se consigue gracias al desfase de señal, de tal forma que las reflexiones de la señal WiFi (*Wireless Fidelity*, fidelidad inalámbrica) en lugar de ser “destructivas”, sean “constructivas”. Esta característica permite aumentar la velocidad de transmisión de datos debido a la menor pérdida de datos, haciendo falta menos retransmisiones.

Gracias a este desfase, la señal inalámbrica puede llegar por varias rutas, directa o indirecta por reflexiones y se podrá utilizar para aumentar el rendimiento o eficiencia espectral. En las redes 802.11b/g en lugar de aprovechar el rebote de la señal en beneficio de la velocidad y cobertura, la señal se destruye y disminuye el rendimiento. El MIMO apareció junto con el estándar 802.11n para las comunicaciones WiFi (IEEE Computer Society, 2014), no obstante hoy día se emplea también en la comunicaciones móviles celulares 3G y 4G.

Una característica de MIMO es el conocido *Three-Stream*, que usa tres flujos de haces espaciales para incrementar de manera notable la velocidad inalámbrica. También es muy importante el ancho de canal, normalmente de 20 MHz, pero 802.11n permite anchos de canal de 40 MHz usando dos canales separados de 20 MHz (aunque contiguos) para conseguir mayor velocidad.

En la práctica, todos los *enrutadores (routers)* 802.11n tienen antenas MIMO, por lo que esta tecnología está presente en todos los *enrutadores* del mercado certificados con WiFi-N (IEEE Computer Society, 2014).

Dependiendo de las antenas que tengan los *enrutadores*, se podrá tener diferentes configuraciones MIMO como por ejemplo 3T3R (3 antenas para transmisión, 3 antenas para recepción). Hay *enrutadores* en los que la tercera antena es virtual y se usa para hacer configuraciones 3T2R, aunque es poco usual.

Para alcanzar los 300 Mbps teóricos de velocidad en WiFi-N se debe tener como mínimo MIMO 2T2R, 40 MHz de ancho de canal y dos flujos de haces (*two-stream*) (IEEE Computer Society, 2014). Con 20 MHz de ancho de banda del canal se alcanza hasta 150 Mbps de velocidad de transmisión, independientemente de la banda de comunicación que se emplee, 2,4 GHz o 5 GHz.

Para llegar a los 450 Mbps teóricos se necesita como mínimo MIMO 3T3R, 40 MHz de ancho de canal y tres flujos de haces (*three-stream*), igualmente es independientemente de la banda de comunicación que se emplee.

En la figura 2.7 se presenta la arquitectura MIMO NxM, N antenas transmisoras y M antenas receptoras. En la figura 2.8 se muestra un ejemplo de la arquitectura MIMO 2T2R empleada en la tecnología celular 3G.

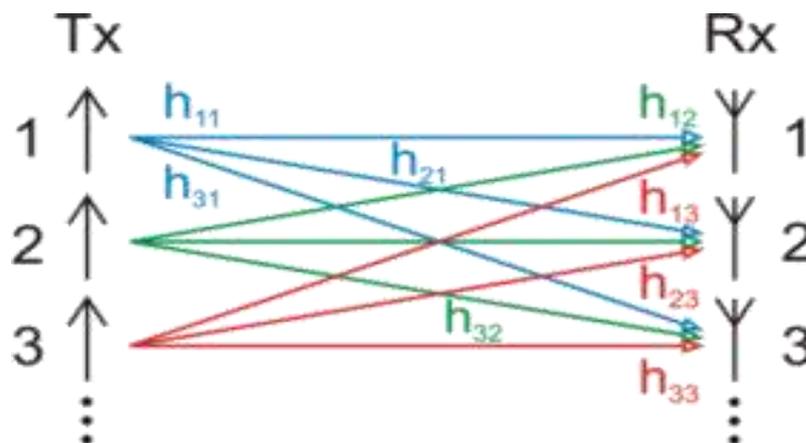


Figura 2. 7. Arquitectura MIMO NxM.
Fuente: (Coronado, 2015)

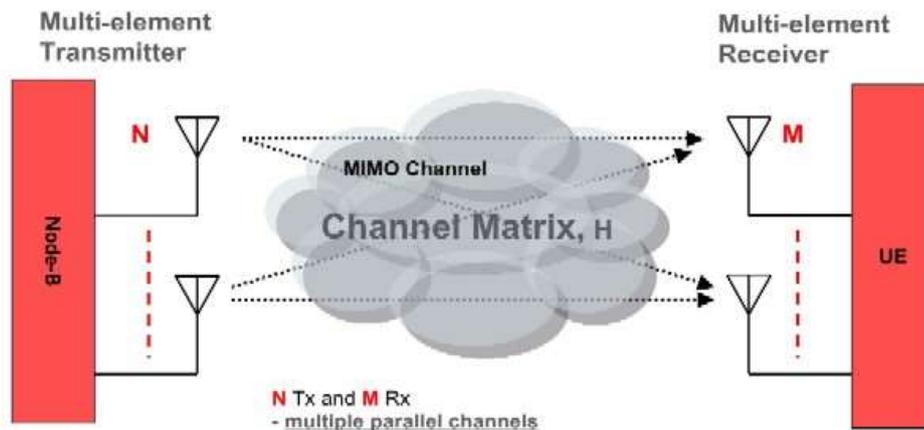


Figura 2. 8. Ejemplo de arquitectura MIMO 2T2R aplicada en la tecnología celular 3G.
Fuente: (Coronado, 2015)

2.4.2. Tecnología inalámbrica MIMO Tdma - Airmax

El fabricante Ubiquiti Networks, innovador líder en tecnologías inalámbricas de banda ancha para exteriores, presenta esta tecnología inalámbrica de banda ancha mundial para exteriores denominada AirMax (Ubiquiti Networks, 2018).

Esta tecnología permite velocidades reales de TCP/IP para exteriores de más de 150 Mbps y consiste en un avanzado diseño de hardware de radio, antenas MIMO de estación base de clase portadora y un potente protocolo de acceso múltiple por división en tiempo (TDMA) que ofrece velocidad y escalabilidad de red sobre distancias de enlaces de varios kilómetros. Lo más importante es que la solución AirMax brinda una relación rendimiento-precio que redefinirá la economía de las implementaciones de redes inalámbricas de banda ancha para exteriores en todo el mundo.

El protocolo TDMA de AirMax fue diseñado teniendo en cuenta la velocidad y la escalabilidad. Tradicionalmente, las soluciones más económicas de radio de banda ancha para exteriores sin licencia se han basado en el estándar IEEE 802.11 (o WiFi) (IEEE Computer Society, 2014). Si bien estas soluciones ofrecen buenos resultados en implementaciones de pequeña escala, pierden calidad de rendimiento de manera exponencial a medida que se agregan más clientes y causan colisiones y retransmisiones.

La tecnología AirMax de Ubiquiti soluciona estos problemas a través del uso de un protocolo de hardware TDMA acelerado que consiste en un coordinador de sondeo inteligente con programación inteligente y detección nativa de paquetes VoIP. El resultado es una red que puede escalar a cientos de clientes por estación base y a la vez mantiene baja latencia, alto rendimiento y calidad de voz sin interrupciones.

Junto con la implementación de este protocolo TDMA de última generación, Ubiquiti presentó una cartera de tecnologías de antenas MIMO que ofrece un rendimiento de clase portadora con muy bajas pérdidas de retorno, aislamiento de polarización cruzada dual lineal, ganancia 13 dBi, inclinación vertical eléctrica y

características de amplitud de haz de 7° que por lo general se encuentran sólo en las antenas de estación base de celulares de la más alta calidad. Las antenas han sido diseñadas y evaluadas de forma práctica para garantizar un rendimiento óptimo, al utilizar el protocolo AirMax y el hardware AirMax de radio MIMO 2x2.

Ubiquiti también presentó varios productos de radio basados en AirMax que permiten opciones de implementación flexibles y de poca latencia (Ubiquiti Networks, 2018). La plataforma de estación base denominada The Rocket está compuesta por un dispositivo para exteriores de 2x2 basado en el estándar IEEE 802.11N (IEEE Computer Society, 2014), de amplio rango de temperatura de operación, potente y robusto, diseñado para adaptarse a cualquiera de las antenas AirMax de Ubiquiti.

Para las estaciones Ubiquiti lanzó la versión de última generación de su NanoStation. El nuevo producto, denominado NanoStation M es un equipo local de cliente (CPE, *customer premise equipment*) interior/exterior MIMO 2x2 compacto capaz de ofrecer un rendimiento de TCP/IP de más de 150 Mbps y unir distancias de hasta 15 km. Además, Ubiquiti ofrece un radio Bullet M flexible que se acopla a cualquier antena exterior para unir distancias de más de 30 km y ofrece un rendimiento superior a los 100 Mbps de TCP/IP.

En el presente proyecto se considera a AirMax como la tecnología que cumple las promesas del estándar WiMax. Si bien el estándar WiMax incluía una gran cantidad de beneficios de rendimiento de la tecnología AirMax, no solucionó los asuntos de costos que los mercados globales necesitan para hacer de las implementaciones de redes para exteriores una inversión atractiva. Con AirMax se implementa una estrategia de desarrollo completamente diferente. En lugar de comenzar con un objetivo de rendimiento, se centra en alcanzar, ante todo, un objetivo estricto de costo.

Básicamente, AirMax permite implementar una estación base de sectores múltiples con una capacidad mayor a 300 Mbps y más de 100 Mbps para magnitudes que no pueden compararse con las soluciones disponibles en la actualidad.

En la figura 2.9 se muestra la arquitectura MIMO TDMA – AIRMAX. En esta se encuentra el proveedor de servicios de Internet conectado por un extremo a la red troncal (*backbone*) de Internet y por el otro la conectividad para la distribución inalámbrica del servicio de Internet. El enlace al sistema WiFi de distribución del servicio de Internet es a través de un enlace punto a punto. Con un sistema sectorial AirMAX y estación base Rocket M se establece un enlace punto multipunto para la distribución del servicio de Internet. En la figura 2.10 se muestra el alcance con esta tecnología.

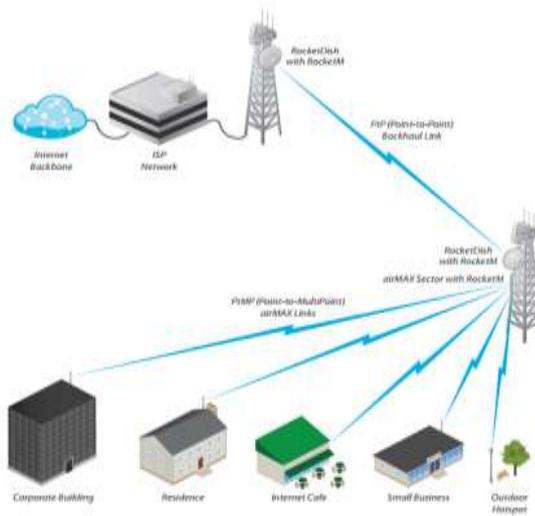


Figura 2. 9. Distribución de servicio de Internet con la arquitectura MIMO TDMA – AIRMAX
Fuente: (Ubiquiti Networks, 2018).

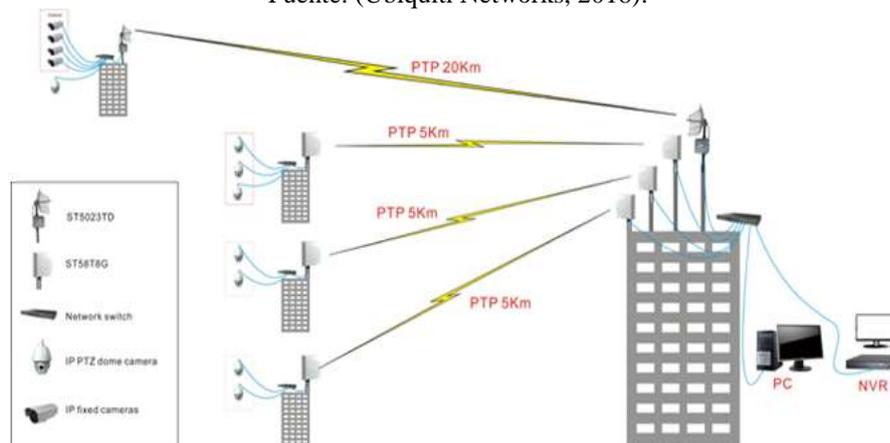


Figura 2. 10. Alcances con la arquitectura MIMO TDMA – AIRMAX.
Fuente: (Telecomunicaciones de Convergencia S.A., 2016)

A continuación se indica en la tabla 2.1 una comparación entre el 802.11n y 802.11ac.

Tabla 2. 1. Comparación entre el 802.11n y 802.11ac.

Característica	WiFi 802.11 n	WiFi 802.11 ac	Aplicación
Velocidad de transmisión	Modo: 2x2 40 MHz Velocidad Máxima: 300 Mbps Transmisión de antena / Arreglos de recepción : 2TX2RX	Modo: 2x2 40 MHz Velocidad Máxima: 400 Mbps Transmisión de antena / Arreglos de recepción 2TX2RX	Tecnología inalámbrica WiFi 802.11 ac maneja mayor velocidad de transmisión lo que asegura un mayor rendimiento de la red.
Cobertura	Como máximo se permiten aparatos con 4 antenas para transmitir y 4 para recibir a casi 100 Mbps cada una que obtendrían un resultado óptimo, pero la mayoría de los dispositivos actuales solo tienen 2/3 para transmitir y otras 2/3 para recibir.	Soportar hasta ocho antenas a más de 400 Mbps cada una.	Las propiedades de la capa física de IEEE 802.11ac aumenta considerablemente el rendimiento de datos de IEEE 802.11
Usuarios	MIMO	MIMO multiusuario (MU-MIMO)	IEEE 802.11 ac MIMO multiusuario.
Eficiencia Espectral	64QAM	256QAM	De igual manera, IEEE 802,11ac es el mejor espectro.
Escalabilidad	Si	Si	
Cobertura existente	Sitios céntricos de los lugares.	No	Para llegar a sitios lejanos donde no llega la red cableada, es óptimo para las velocidades necesarias IEEE 802.11ac

Elaborado por: Autor

2.5. Conceptos básicos de radio propagación de ondas

Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se le denomina dentro de los servicios de esas características (Tomasi, 2015).

La radio propagación es el comportamiento de las ondas de radio cuando se trasladan por el espacio. Se transmiten, reciben o propagan desde un punto sobre la Tierra a otro, a la atmósfera o al espacio. Siendo una forma de radiación electromagnética, de igual modo que las ondas de luz las ondas de radio se ven afectadas por los fenómenos de la reflexión, la refracción, la difracción, la absorción, la polarización y la dispersión (Tomasi, 2015).

Los *modos de propagación* se refieren a cada una de las posibles configuraciones que adoptan las ondas electromagnéticas que viajan a través de la guía de ondas, los cuales se indican a continuación:

- Propagación por onda terrestre.
- Propagación por onda ionosférica.
- Propagación por onda de espacio o de línea de vista.

Una onda *terrestre* conocida también como ondas de superficie es una onda electromagnética que viaja por la superficie de la Tierra. Las ondas terrestres deben estar polarizadas verticalmente. Esto se debe a que el campo eléctrico, en onda polarizada horizontalmente, estaría en paralelo a la superficie de la tierra y esas ondas se pondrían en corto por la conductividad del suelo. Con las ondas terrestres, el campo eléctrico variable induce voltajes en la superficie terrestre, que hacen circular corrientes muy parecidas a la superficie terrestre y a las de una línea de transmisión. La superficie terrestre también tiene pérdidas por resistencia y por dieléctrico. Por consiguiente, las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan. Se propagan mejor sobre una superficie con buena conducción, por ejemplo agua salada. Se propagan mal sobre superficies desérticas. Las pérdidas en las ondas terrestres aumentan rápidamente al aumentar la frecuencia, por consiguiente, su propagación se limita en general a frecuencias mayores a 3 kHz e inferiores a unos 3 MHz durante el día y se combina con la propagación ionosférica en la noche (Pérez, Sáinz de la Maza, & Casanueva, 2014).

En la *propagación por onda ionosférica* la señal es reflejada hacia la tierra por la capa superior ionizada de la atmósfera, la ionósfera. Este efecto de reflexión es causado por la refracción. Las ondas sufren múltiples saltos, inciden en la ionósfera y luego de vuelta a la superficie de la tierra. Estas señales pueden captarse a miles de kilómetros del transmisor. Es la forma predominante de propagación a frecuencias entre unos 3 y 30 MHz aproximadamente. Durante la noche también es importante a frecuencias superiores a 300 kHz (Pérez, Sáinz de la Maza, & Casanueva, 2014).

En la *propagación por onda de espacio o de vista directa*, se transmiten señales de muy alta frecuencia directamente de antena a antena, siguiendo una línea recta.

Es predominante a frecuencias superiores a 30 MHz y tiene lugar en la porción de la atmósfera cercana a la superficie terrestre (Pérez, Sáinz de la Maza, & Casanueva, 2014). Las antenas deben ser direccionales, estando enfrentadas entre sí, y bien están suficientemente altas o suficientemente cerca para no verse afectadas por la curvatura de la tierra. La propagación por visión directa es compleja porque las transmisiones de radio no se pueden enfocar completamente. Las ondas emanan hacia arriba y hacia abajo, así como hacia delante y pueden reflejar sobre la superficie de la tierra o partes de la atmósfera. Las ondas reflejadas que llegan a la antena receptora más tarde que la porción directa de la transmisión puede corromper la señal recibida.

Los *mecanismos de propagación* son provocados debido a las interacciones de las ondas con los objetos en el ambiente, así como la tierra, edificios, vegetación, etc. Dentro de los mecanismos de propagación se encuentran la reflexión, difracción, dispersión, y la multitrayectoria.

La *reflexión* de una onda es el rebote que experimenta cuando llega a un obstáculo grande, como una pared. Aunque el obstáculo absorba parte de la energía recibida, incluso vibrando si entra en resonancia, se produce también reflexión en la que se transmite de vuelta parte de la energía a las partículas del medio incidente.

La *difracción* es un fenómeno característico de las ondas que se basa en la desviación de estas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija. La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas como la luz visible y las ondas de radio.

La *dispersión* es un fenómeno de separación de las ondas de distintas frecuencias al atravesar un material. Todos los medios materiales son más o menos dispersivos y la dispersión afecta a todas las ondas; por ejemplo, a las ondas sonoras que se desplazan a través de la atmósfera, a las ondas de radio que atraviesan el espacio interestelar o a la luz que atraviesa el agua, el vidrio o el aire.

La *propagación multicamino, multitrayectoria o multiruta*, en comunicaciones inalámbricas es el fenómeno dado cuando las señales de radio

llegan a las antenas receptoras por dos o más caminos y en diferentes tiempos. Éste fenómeno puede causar problemas en la recepción de la señal, debido a la interacción entre las señales recibidas.

En el mecanismo de propagación es muy importante conocer la denominada *zona de Fresnel*, referente al volumen de espacio entre el emisor de una onda - electromagnética, acústica, u otra - y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°. Así, la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta al emisor y el receptor. En la figura 2.11 se indican las zonas de Fresnel.

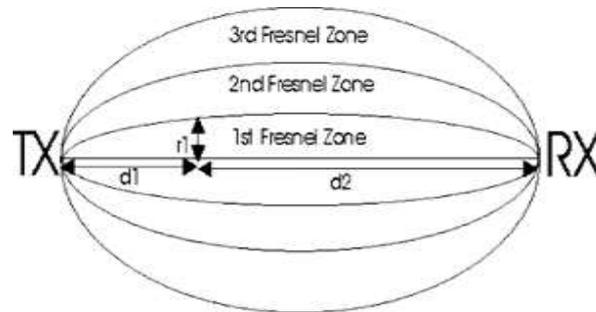


Figura 2. 11. Zonas de Fresnel.

Fuente: (Chimal, 2015)

El radio de la *n*-ésima zona de Fresnel es (Tomasi, 2015):

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}} \quad (2.1)$$

En función de la frecuencia f de la señal, sustituyendo la longitud de onda λ por c/f , siendo c la velocidad de la luz en el vacío, $3 \cdot 10^8$ m/s se obtiene 2.2.

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{d \cdot f}} \quad (2.2)$$

Dónde:

d_1 : distancia del transmisor al punto de reflexión (km).

d_2 : distancia del receptor al punto de reflexión (km).

d : distancia total entre transmisor y receptor, $d_1 + d_2$, (km).

f : frecuencia de la señal de radio (MHz).

R_n : radio de la enésima zona de Fresnel (m).

Estas determinan las diferentes contribuciones al campo total en el receptor. La más importante es la primera zona de Fresnel que contiene el 50% de la potencia de la onda.

En las ondas de radio las pérdidas de propagación son las que se producen por la atenuación que sufre la onda electromagnética al atravesar el medio de comunicación.

La propagación de ondas en el espacio libre se refiere a la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio. Aunque el espacio libre realmente implica en el vacío, con frecuencia la propagación por la atmósfera terrestre se le llama propagación por el espacio libre. La principal diferencia es que la atmósfera de la tierra introduce pérdidas en la señal que no se encuentran en el vacío. La pérdida de propagación en la atmósfera de la tierra es proporcional a la distancia que recorre la onda por el medio.

a) Pérdidas en el espacio libre.

La pérdida de trayectoria en espacio libre usualmente se define como la pérdida a la que es sometida una onda electromagnética cuando esta se irradia en línea recta por el espacio libre, esta no sufre de algún otro fenómeno como la reflexión o absorción. En la figura 2.12 se indica la pérdida por espacio libre.

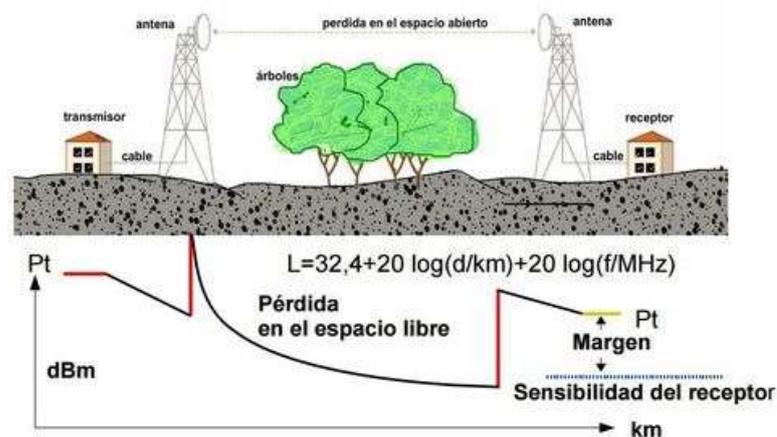


Figura 2. 12. Pérdida en el espacio libre.

Fuente: (Tapia, 2016)

b) Pérdidas por gases en la atmósfera.

Los vapores de agua y de oxígeno no condensados poseen líneas de absorción en la banda de frecuencias de microondas y de ondas milimétricas, causando atenuación en trayectos radioeléctricos terrenales y oblicuos. En concreto, existen frecuencias donde se produce una gran atenuación, separadas por ventanas de frecuencias de transmisión donde la atenuación es mucho menor.

La atenuación debida al efecto conjunto de los vapores de agua y oxígeno es aditiva. En aquellas bandas donde los valores de atenuación exceden los 10 dB/km el alcance de las comunicaciones se encuentra enormemente limitado. Pero escogiendo adecuadamente las frecuencias de trabajo es posible obtener niveles de atenuación muchos menores. En la figura 2.13 se indica la atenuación específica por gases atmosféricos en frecuencias.

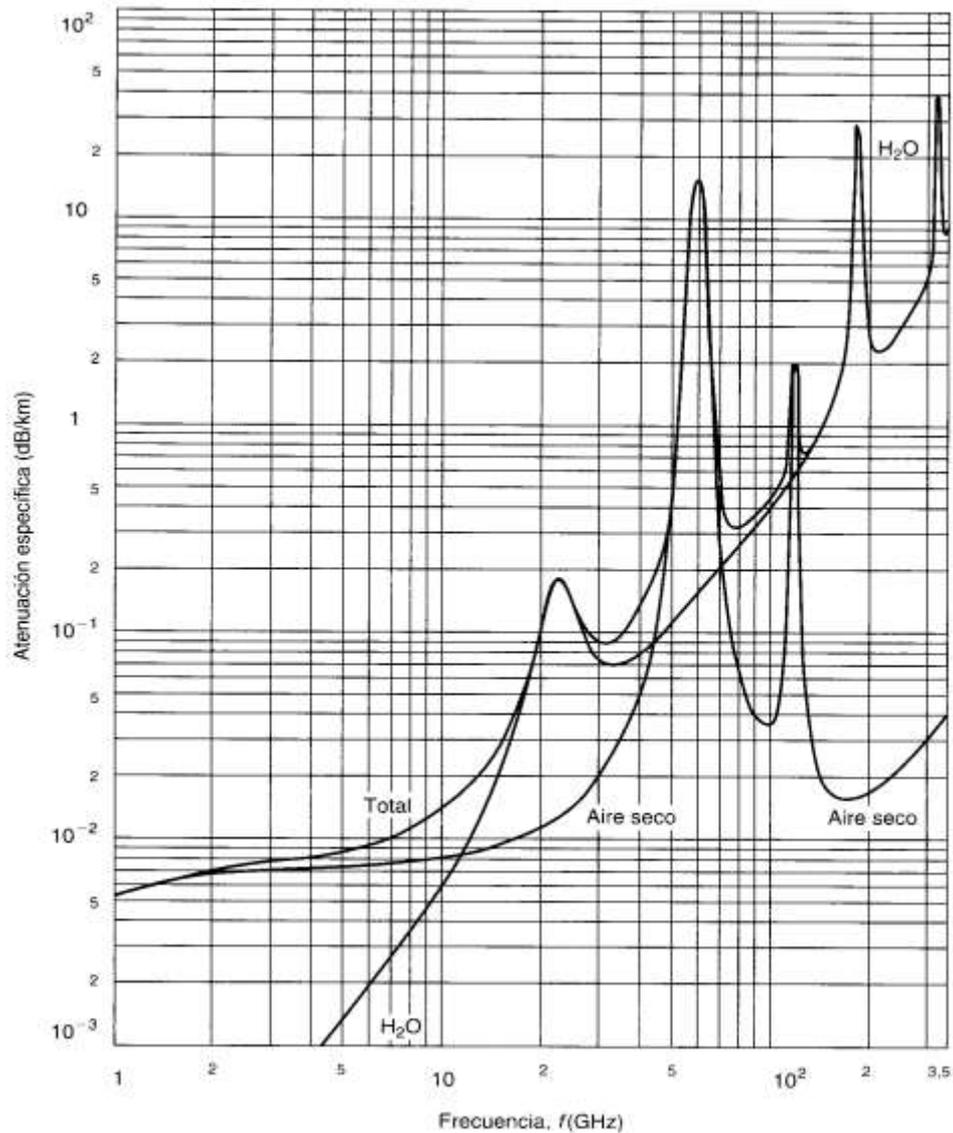


Figura 2. 13. Atenuación específica por gases atmosféricos
Fuente: (Acosta, 2018)

2.6. Antenas

La antena es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas en el espacio libre. Una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Las características de las antenas se dividen en características de campo cercano, de campo lejano y parámetros S (*scattering*). Dentro de los parámetros de campo cercano se encuentran el campo eléctrico, el campo magnético, la corriente

y la razón de absorción específica (SAR, *Specific Absorption Ratio*). Dentro de los parámetros de campo lejano se encuentran el patrón de radiación en 2D y 3D, directividad y ganancia. Dentro de los parámetros S se encuentran la razón de onda estacionaria (ROE), el coeficiente pérdida de retorno, e impedancia (Tomasi, 2015).

La *ganancia de una antena* es la relación entre la potencia efectiva radiada y la potencia suministrada en los terminales de la antena. Esta ganancia es comúnmente referida en dBi, y se refiere a la comparación de cuanta energía irradia la antena en cuestión, comparada con la que irradiaría una antena isotrópica. Una antena isotrópica es aquella que cuenta con un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia lineal unitaria.

El diagrama de radiación de una antena representa gráficamente las características de radiación en función de la dirección angular. Habitualmente se utiliza un sistema de coordenadas esférico. En la figura 2.14 se muestran ejemplos de antenas y de sus patrones de radiación.



Figura 2. 14. Patrones de radiación de las antenas.
Fuente: (Bernal, 2013)

El *ancho del haz* es un parámetro de radiación, ligado al diagrama de radiación. Se puede definir el ancho del haz a -3dB, que es el intervalo angular en el que la densidad de potencia radiada es igual a la mitad de la potencia máxima (en la dirección principal de radiación). En la figura 2.15 se muestra los puntos de media potencia desde donde se mide el ancho del haz del lóbulo.



Figura 2. 15. Puntos de media potencia en un diagrama de radiación.
Fuente: (Villalpando, 2015)

La *polarización de una antena* es la polarización de la onda radiada por dicha antena en una dirección dada. La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. En la figura 2.16 se indican las diferentes polarizaciones de una antena.

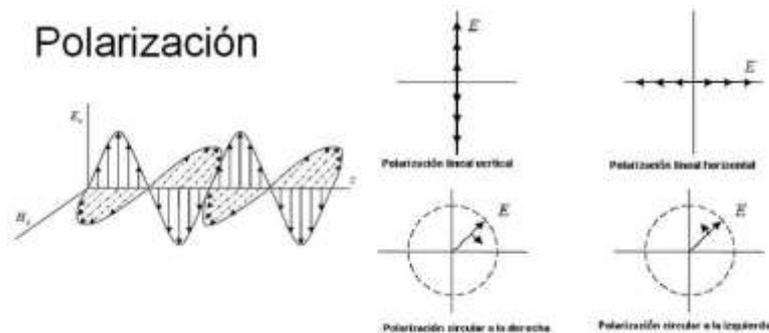


Figura 2. 16. Polarizaciones de la antena.
Fuente: (Peña & Gustavo, 2017)

Se conoce como *pérdida de retorno* de una señal, a la potencia que se pierde en un punto de su trayectoria debido a la reflexión de una parte de la potencia original. Es un parámetro muy usado en circuitos de radiofrecuencia y antenas. Se define como la relación, en decibelios, entre la potencia directa y la potencia reflejada en un punto determinado del mismo. Es el coeficiente de reflexión de una antena expresado en decibelios (Quintero & Sarmiento, 2013).

El *ancho de banda de la antena* es el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de una antena es satisfactoria. En aplicaciones profesionales, un criterio adecuado es que la razón de onda estacionaria (ROE) debe ser tal que la máxima potencia reflejada no exceda el 1% de la incidente en toda la banda de interés (Pérez, Sáinz de la Maza, & Casanueva, 2014).

Dentro de las antenas más empleadas en los sistemas inalámbricos para largo alcance se encuentran las parabólicas, sectoriales y de panel plano.

La *antena parabólica* es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector *parabólico*, cuya superficie en realidad es un paraboloides de revolución. Las antenas parabólicas pueden ser transmisoras, receptoras o *full dúplex*, llamadas así cuando pueden transmitir y recibir simultáneamente. Suelen ser utilizadas a frecuencias altas y tienen una ganancia elevada. Se indican los siguientes tipos de antenas parabólicas:

- Antena parabólica de *foco centrado* o primario. Se caracteriza por tener el eje de simetría del reflector paraboloidal centrado respecto al foco.
- Antena parabólica de *foco desplazado* u *offset*. Se caracteriza por tener el reflector parabólico desplazado respecto al foco. Son más eficientes que las parabólicas de foco centrado, porque el alimentador no hace *sombra* sobre la superficie reflectora.
- Antena parabólica *Cassegrain*. Se caracteriza por llevar un segundo reflector cerca de su foco, el cual refleja la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector en las antenas transmisoras, o refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo detector en las antenas receptoras.

En la figura 2.17 se indican los tipos de antenas parabólicas.

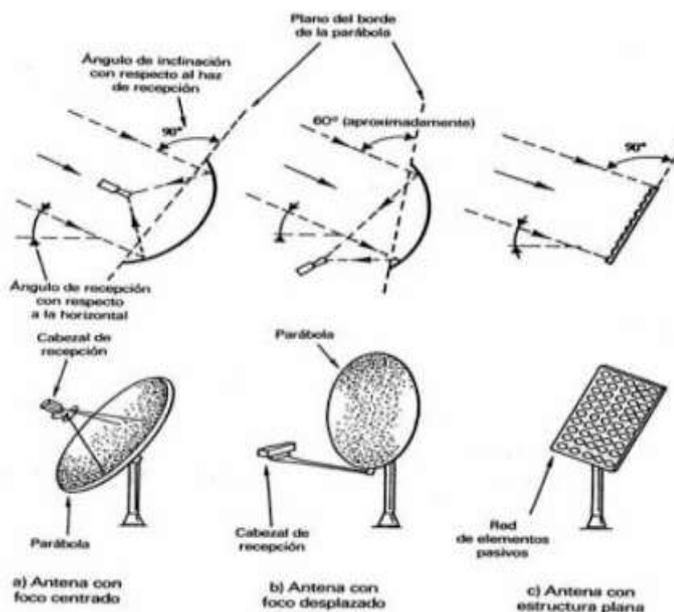


Figura 2. 17. Tipos de antenas parabólicas.
Fuente: (Rivas, 2014)

Una *antena sectorial* es una antena direccional, pero de mayor apertura horizontal. Habitualmente las antenas sectoriales, dependiendo del modelo y fabricante, cubren aperturas de 30°, 45°, 60°, 90°, 120°. En la figura 2.18 se indica la utilización de tres antenas sectoriales de 120° para cubrir toda la circunferencia.

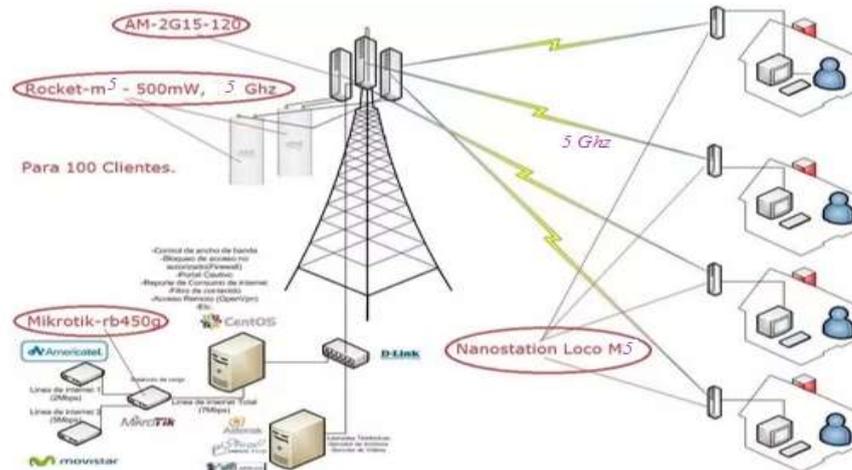


Figura 2. 18. Cobertura circular con tres antenas sectoriales de 120°
Fuente: (Internacional Centre For Theoretical Phycis, 2013)

Las *antenas de panel plano* como su nombre lo indica corresponde con un panel con forma cuadrada o rectangular y están configuradas en un formato tipo *patch*. Son muy direccionales ya que la mayoría de su potencia radiada es en una sola dirección ya sea en el plano horizontal o vertical. Pueden ser fabricadas para diferentes valores de ganancia de acuerdo con su construcción. Pueden proveer excelente directividad y considerable ganancia. En la figura 2.19 se indican las antenas Panel Plano Nanostation.

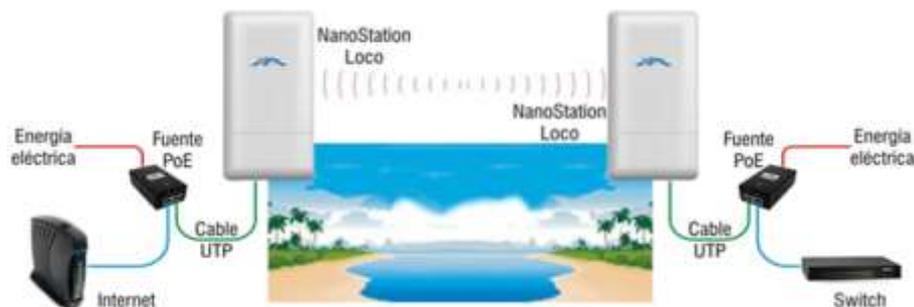


Figura 2. 19. Arquitectura de red con antenas panel plano Nanostation.
Fuente: (Internacional Centre For Theoretical Phycis, 2013)

2.7. Mecanismos y técnicas de acceso al medio

Los mecanismos de acceso al medio son los mecanismos mediante los cuales los sistemas de radiocomunicaciones se coordinan para utilizar un recurso compartido, que es el espectro electromagnético, tanto cuando los terminales del sistema están en funcionamiento coordinado, como cuando están en proceso de adquisición inicial del medio.

Entre los mecanismos de acceso al medio se encuentran los de División por Duplexación en Tiempo (TDD), y los de División por Duplexación en Frecuencia (FDD). FDD corresponde con los sistemas dúplex, transmiten y reciben al mismo tiempo por canales de frecuencias diferentes. Estos sistemas logran alto rendimiento y baja latencia. En cambio, los TDD corresponden con sistemas símplex que pueden transmitir o recibir datos pero no realizar ambas acciones de forma simultánea.

Las técnicas actuales de acceso al medio son Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), Acceso Múltiple por División en Frecuencia (FDMA), Acceso Múltiple por División en Código (CDMA), ver figura 2.20.

En FDMA el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí. Estas técnicas se utilizan tanto en los viejos sistemas analógicos como en los actuales sistemas digitales de comunicaciones.

En TDMA se utiliza un canal común para comunicaciones entre múltiples usuarios al asignarle a cada uno de ellos una ranura de tiempo diferente. CDMA, Acceso Múltiple por División de Códigos o multiplexación por división de código, es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basado en la tecnología de espectro expandido. En esta a cada usuario le corresponde un código.

El Acceso Múltiple por División en Frecuencias Ortogonales (OFDMA) es uno de los más utilizados en los sistemas de transmisión de banda ancha. El mismo ha sido diseñado para ser capaz de superar la interferencia que ocurre entre el

transmisor y el receptor y aprovechar eficientemente el espectro de frecuencias es una modalidad de FDMA.

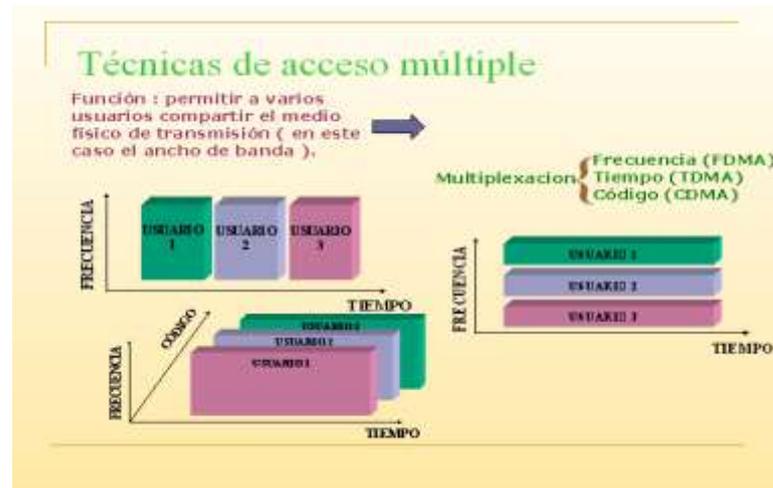


Figura 2. 20. Diferentes técnicas de acceso al medio.
Fuente: (Figuerola, 2015)

2.8. Radioenlace inalámbrico

En el diseño de radioenlaces se tiene en cuenta varios parámetros y cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antena y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencia, la estimación de los niveles de ruido e interferencia.

Balance de potencia del enlace.

El balance del enlace es la relación que expresa la potencia disponible en el receptor en función de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto del transmisor al receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace se hace necesaria para lograr el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.

En el lado del transmisor se tiene en cuenta su potencia efectiva P_{TX} y las pérdidas en la líneas de transmisión y conectores, L_{TX} . Se tiene en cuenta además la ganancia de la antena transmisora, G_{TX} . En el lado del receptor se tiene en cuenta la ganancia de la antena receptora G_{RX} y las pérdidas en las línea y conectores, L_{RX} . En el medio de propagación se tienen en cuenta las pérdidas de propagación del medio, FSL . La potencia efectiva en el receptor viene dado por (Tomasi, 2015):

$$P_{RX} = P_{TX}[dBm] - L_{TX}[dB] + G_{TX}[dBi] - FSL [dB] + G_{RX}[dBi] - L_{RX}[dB] \quad (2.3)$$

La potencia de recepción PRX debe de ser superior o igual al nivel de umbral o sensibilidad del receptor, PuRX, más un margen de seguridad por desvanecimiento, FM, y queda expresado por:

$$P_{RX} \geq FM [dB] + Pu_{RX}[dBm] \quad (2.4)$$

Para el cálculo de las pérdidas en espacio libre se utilizará la siguiente ecuación:

$$FSL [dB] = 92,45 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(km) \quad (2.5)$$

Siendo:

d: Distancia en km.

f: Frecuencia de GHz.

La potencia de transmisión es la potencia de salida del radio transmisor. El límite superior depende de las regulaciones vigentes en cada país, dependiendo de la frecuencia de operación y puede cambiar al variar el marco regulatorio. En general, los radios transmisores con mayor potencia de salida son más costosos.

La potencia de transmisión normalmente se encuentra en las especificaciones técnicas del vendedor. Se debe tener en cuenta que las especificaciones técnicas que brindan los fabricantes son valores bajo condiciones óptimas o casi ideales, los valores prácticos reales pueden variar con factores como la temperatura ambiental y la tensión de alimentación.

La potencia de transmisión típica en los equipos que cumplen con la norma IEEE 802.11 varía entre 15 a 26 dBm (30 mW a 400 mW). Por ejemplo, en la tabla 2.2 se muestran los datos de la potencia pico promedio de transmisión de una tarjeta inalámbrica IEEE 802.11 a/b.

Tabla 2. 2. Ejemplo de potencia pico de transmisión de una tarjeta inalámbrica IEEE 802, 11a/b típica.

Protocolo	Potencia pico [dBm]	Potencia pico [mW]
IEEE 802.11b	18	65
IEEE 802.11a	20	100

Elaborado por: Autor

No obstante para el cálculo de la potencia del transmisor se tiene que:

$$P_{TX}[dBm] = P_{RX} + L_{TX}[dB] - G_{TX}[dBi] + FSL [dB] - G_{RX}[dBi] + L_{RX}[dB] - FM \quad (2.6)$$

Pérdida en los cables.

Las pérdidas en los cables dependen mucho de la frecuencia. Por eso al calcular la pérdida en el cable, se deben usar los valores correctos para el rango de frecuencia usada. Además, revisar los datos del distribuidor y si es posible, verificar las pérdidas tomando mediciones. Como regla general, puede tener el doble de pérdida en el cable [dB] para 5,4 GHz comparado con 2,4 GHz.

Independientemente de la buena calidad que pueda tener un cable, siempre tendrá pérdidas. Razón por la cual el cable de la antena debe ser lo más corto posible. Las pérdidas típicas en los cables están entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. En general, mientras más grueso y más rígido sea el cable menor atenuación presentará. En la tabla 2.3 se indican los valores característicos de pérdidas para ciertos tipos de cables conductores.

Tabla 2. 3. Valores típicos de pérdidas en los cables para 2,4 GHz.

Cable	Pérdida [dB/100m]	Cable	Pérdida [dB/100m]
RG 58	ca 80-100	Flexine de 1/2''	12
RG 213	ca 50	Flexine de 7/8''	6.6
LMR-200	50	C2FCP	21
LMR-400	22	Heliac de 1/2''	12
Aircom-Plus	22	Heliac de 7/8''	7
LMR-600	14		

Elaborado por: Autor

La pérdida en los conectores es otro de los aspectos a tener en cuenta en el balance de potencia. Se debe considerar por lo menos 0,25 dB de pérdida para cada

conector en el cableado. Estos valores son para conectores certificados, mientras que los conectores mal soldados pueden implicar pérdidas mayores. Se debe, revisar la hoja de datos para las pérdidas en su rango de frecuencia y el tipo de conector que se usará. Si se usan cables largos, la suma de las pérdidas en los conectores está incluida en una parte de la ecuación de “Pérdidas en los cables”. Siempre se debe considerar un promedio de pérdidas de 0,3 a 0,5 dB por conector. Finalmente, los protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio deben ser presupuestados hasta con 1 dB de pérdida, dependiendo del tipo. Revisar los valores suministrados por el fabricante (los de mejor calidad sólo introducen 0,2 dB).

Los amplificadores opcionalmente se pueden usar para compensar las pérdidas en los cables o cuando no haya otra manera de cumplir con la potencia requerida de transmisión. En general, el uso de amplificadores debe ser la última opción. Los amplificadores de alta calidad son costosos y uno económico empeora el espectro de frecuencia por las no linealidades que presentan (ejemplo producen ensanchamientos), lo que puede afectar los canales adyacentes. Todos los amplificadores añaden ruido extra a la señal y los niveles de potencia resultantes pueden contravenir las normas de calidad.

La **ganancia de una antena** típica varía entre 2 dBi (antena integrada simple) y 8 dBi (omnidireccional estándar) hasta 21 a 30 dBi (antena parabólica). Hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una antena. El más incidente corresponde con una instalación incorrecta de la antena (pérdidas por la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes). Esto significa que sólo se puede esperar una ganancia completa de antena, si está instalada en forma óptima.

La **sensibilidad del receptor** es un parámetro que merece especial atención ya que identifica el valor mínimo de potencia que necesita para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de transferencia de bits. Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio. Un valor típico es -82 dBm en un enlace de 11 Mbps y -94 dBm para uno de 1 Mbps. Una diferencia de 10 dB aquí es tan importante como 10 dB de ganancia de una antena que también pueden ser obtenidos con el uso de amplificadores o antenas más

grandes. Nótese que la sensibilidad depende de la velocidad de transmisión. En la tabla 2.4 se indican los valores típicos de sensibilidad del receptor de algunas tarjetas de red inalámbrica.

Tabla 2. 4. Valores típicos de sensibilidad del receptor de las tarjetas de red inalámbrica.

Tarjeta	11 Mbps	5,5 Mbps	2 Mbps	1 Mbps
Orinoco cards PCMCIA Silver/Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Senao 802.11 b card	-89 dBm	-91 dBm	-93 dBm	-95 dBm

Elaborado por: Autor

La ecuación que se empleará para el cálculo del **margen de seguridad por desvanecimiento** es:

$$FM[dB] = 30 \log(d) + 10 \log(6 \cdot A \cdot B \cdot f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

(2.7)

Siendo:

d: Distancia entre el transmisor y el receptor en km.

f: Frecuencia en GHz.

R: Confiabilidad de la transmisión, en formato decimal.

A: Factor de rugosidad de terreno.

B: Factor de análisis climático anual.

En las siguientes tablas se indican los valores típicos para los factores *A* y *B* respectivamente:

Tabla 2. 5. Factor de rugosidad del terreno, *A*.

Tipo de rugosidad	Factor
Espejos de agua, ríos muy anchos, etc.	4,00
Sembrados densos; pastizales; arenales	3,00
Bosques (la propagación va por encima)	2,00
Terreno normal	1,00
Terreno rocoso (muy) desparejado	0,25

Elaborado por: Autor

Tabla 2. 6. Factor de análisis climático anual, *B*.

Tipo de clima	Factor
Área marina o condiciones de peor mes	1,00
Prevalcen áreas calientes y húmedas	0,50
Áreas mediterráneas de clima normal	0,25
Áreas montañosas de clima seco y fresco	0,125

Elaborado por: Autor

En la figura 2.21 se indica la trayectoria de transmisión recepción que se debe tomar en cuenta a la hora de calcular el balance de un enlace de radio.

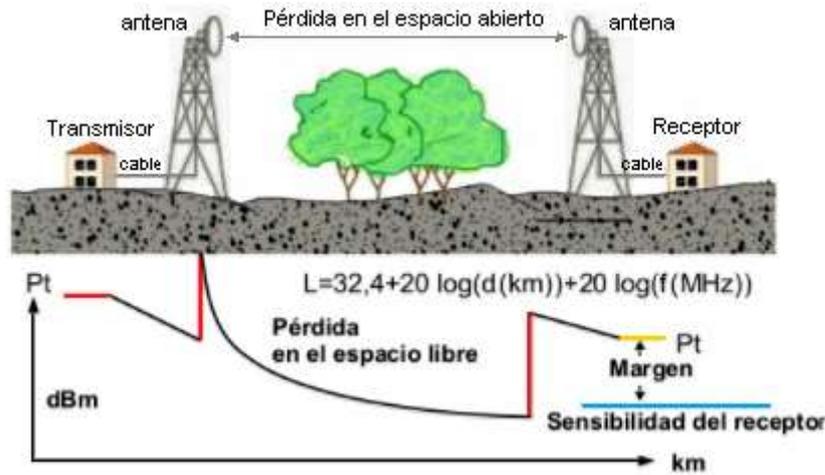


Figura 2. 21. Trayectoria de transmisión recepción y elementos del presupuesto de radio enlace.
Fuente: (Tapia, 2016)

No es suficiente que la señal que llega al receptor sea superior que la sensibilidad de este, sino que además se requiere que haya cierto margen para garantizar el funcionamiento adecuado (ver ecuación 2.2). Es por ello que otro parámetro a tener en cuenta es la **relación señal a ruido** (SNR). Un requerimiento típico de SNR es 16 dB para una conexión de 11 Mbps y 4 dB para una velocidad más baja de 1 Mbps. En situaciones donde hay muy poco ruido el enlace está limitado primeramente por la sensibilidad del receptor. En áreas urbanas donde hay muchos radioenlaces operando, es común encontrar altos niveles de ruido (tan altos como -92 dBm). En esos escenarios, se requiere un margen mayor. En condiciones normales sin ninguna otra fuente en la banda de 2,4 GHz y sin ruido de industrias, el nivel de ruido es alrededor de los -100 dBm. Para el cálculo de SNR en (dB) se utiliza la ecuación 2.5 que se indica a continuación.

$$SNR [dB] = 10 \log \frac{\text{Potencia de la señal [W]}}{\text{Potencia del ruido [W]}} \quad (2.8)$$

2.9. Servicios básicos de un ISP

Internet es una red mundial de redes de computadoras, donde cada una de ellas es independiente y autónoma. Permite a estas computadoras comunicarse de forma directa y transparente, compartiendo información y servicios a lo largo de la mayor parte del mundo. Se puede considerar a Internet como la red más grande del

mundo abarcando más de 160 países, incluyendo miles de redes académicas, gubernamentales, comerciales y privadas.

Internet es una red distribuida sin jerarquías. Esto quiere decir que para ir de un punto a otro de la red se pueden tomar un número de caminos casi ilimitados (esto proviene de su origen, evitar que un ataque nuclear a uno o varios nodos bloqueara todo el sistema). Su columna vertebral se llama red troncal (*backbone*). Los servidores que tengan acceso a la red troncal podrán transmitir a mayor velocidad.

Para la distribución del servicio de conexión a Internet se hace necesaria la existencia del proveedor de servicios de Internet (ISP, *Internet Server Provider*). En la figura 2.22 se indican las diferentes tecnologías de banda ancha que se usan para llevar Internet al cliente. Además, un ISP puede ofrecer otros servicios tecnológicos relacionados a Internet, entre estos se tienen el registro de dominios, servicio de transferencia de datos, correo electrónico, otros.



Figura 2. 22. Tipos de conexiones a Internet
Fuente: (Palacios, 2017)

2.10. Servidor de nombre de dominio (DNS)

El servidor de sistema nombres de dominio (DNS) es un sistema de nomenclatura jerárquico descentralizado para dispositivos conectados a redes IP como Internet o una red privada. Este sistema asocia información variada con nombre de dominio asignado a cada uno de los participantes. En la figura 2.23 se indican protocolos y servicios de DNS.

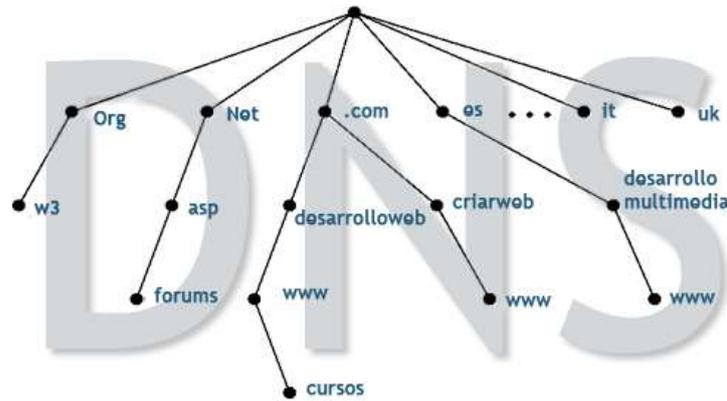


Figura 2. 23. Protocolos y servicios DNS.

Fuente: (Palacios, 2017)

2.11. Servidor de asignación de dirección IP dinámica

Para la asignación dinámica de direcciones IP y su máscara de subred, además de otros parámetros de la configuración TCP/IP, a los equipos que se conecten al ISP se hace necesaria el uso de un servidor de DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*, protocolo de configuración dinámica de host). Generalmente el servidor de DHCP posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes conforme éstas van quedando libres, conociendo en todo momento quién ha estado en posesión de esa IP, cuánto tiempo la ha tenido y a quién se la ha asignado después.

La utilización de un servidor DHCP evita la tarea de configurar manualmente los parámetros TCP/IP de cada puesto de la red y facilita los posibles cambios de configuración. Por otro lado, una red que utilice DHCP puede dificultar el rastreo y seguimiento de las tareas que cada usuario ha realizado en la red si no se asignan direcciones IP únicas a cada host de la red.

2.12. Protocolo simple de administración de red (SNMP)

El protocolo simple de administración de red o SNMP es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red. Los dispositivos que normalmente soportan SNMP incluyen *enrutadores (routers)*, *conmutadores (switches)*, servidores, estaciones de trabajo, impresoras, bastidores de módem y muchos más. Permite a los administradores supervisar el funcionamiento de la red, buscar y resolver sus problemas, y planear su crecimiento.

2.13. Servicios para usuario final

Se puede mencionar que entre los servicios para usuario final más usados se encuentran los chats, video-llamadas y *streaming*. Los chats permiten una interacción fluida mediante texto síncrono entre usuarios de la red. Puede incluir imágenes, emoticonos y otros. Las video-llamadas permiten la comunicación simultánea y bidireccional de audio y vídeo, entre dos o más personas situadas en lugares diferentes. El *streaming* se refiere a todo contenido de Internet transmitido en tiempo real. El streaming en directo para Internet requiere de una fuente multimedia (cámara de vídeo, interfaz de audio, software de captura de pantalla), un decodificador para digitalizar el contenido, un medio editor y una red de distribución de contenido.

2.14. Protocolo de transferencia de archivos (FTP)

El Protocolo de transferencia de archivos FTP, es un protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP (*Transmission Control Protocol*, protocolo de control de transmisión), basado en la arquitectura cliente-servidor. Desde un equipo cliente se puede conectar a un servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos, independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo. Los ISP también pueden incluir en sus servicios un servidor de FTP.

2.15. Correo electrónico

El correo electrónico es un servicio de red que permite a los usuarios enviar y recibir mensajes electrónicos mediante redes de comunicación electrónica. Estos mensajes pueden contener hipervínculos, archivos anexos, multimedia, otros. Los ISP también pueden incluir en sus servicios un servidor de correo electrónico.

2.16. Servicio de alojamiento web

Es un tipo de servicio que permite a personas particulares u organizaciones tener su propio sitio en la web, y que sea accesible vía Internet.

2.17. Proxy

Un servidor proxy es una interfaz de comunicación en una red que actúa como mediadora entre dos sistemas informáticos. La tarea básica de un servidor proxy es

hacerse cargo, como delegado, de las peticiones de los clientes en un servidor y de transmitir las con la dirección IP adecuada al ordenador de destino.

Los servidores proxy pueden funcionar en dos sentidos. Por un lado, un proxy de reenvío sirve para proteger a una red cliente frente a influencias de Internet. Si el sistema de destino, por ejemplo, un servidor web, está protegido por medio de un servidor proxy intercalado, se puede hablar en este caso de un proxy inverso.

2.18. Servicio de voz sobre IP (VoIP)

VoIP es la tecnología que posibilita el uso de redes IPs como medio de transmisión de voz. La Telefonía IP surge como un complemento a la telefonía tradicional, brindando nuevos servicios al cliente y beneficios económicos, tecnológicos con características especiales como:

- Interoperabilidad con las redes telefónicas actuales.
- Calidad de servicio garantizada a través de una red de alta velocidad (por retardo y eco en la voz). Con un relativo ancho de banda digital (con 512 kbps) ya se garantiza una buena calidad de voz
- Servicios de valor agregado (videoconferencia).

Un servicio de VoIP incluye: identificación de llamadas; servicio de llamadas en espera; servicio de transferencia de llamadas; repetir llamada; devolver llamada: llamada de tres líneas (*three-way calling*).

Capítulo 3: Desarrollo del trabajo

3.1. Diseño y requerimientos del ISP.

Este apartado tiene como objetivo el diseño de una red para proveer servicios de Internet a las parroquias rurales del Valle de los Chillos. En este se describen las capas que forman el modelo jerárquico de red tales como la capa de núcleo, capa de distribución y la capa de acceso; de manera que se cumplan con los objetivos planteados en el presente proyecto.

De acuerdo con los datos recolectados en la encuesta realizada en el Capítulo II del presente proyecto, se realiza una estimación de la demanda del servicio con una proyección de crecimiento de 5 años.

Estos datos permiten dimensionar la red y estimar la capacidad que deberá tener el sistema para dar un buen servicio a cada uno de los usuarios de la red en los diferentes sitios de las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

Para el caso del diseño de la red inalámbrica tanto de los enlaces desde el repetidor a las diferentes estaciones ubicadas en las parroquias rurales y de las estaciones al usuario final, se utilizan los equipos que trabajan en la banda de frecuencia no licenciada de 5,8 GHz, esto con el fin de disminuir los costos de operación de la red.

Además, se diseña la red tomando en cuenta los servicios de video conferencia, VoIP, aplicaciones *streaming* personalizadas y otras con mejor calidad de servicio, mientras otras que son tolerantes a retardo como: navegación Web, Facebook, tráfico HTTP, FTP, y DNS entre otras, se aplicaran políticas de mejor esfuerzo. Para ello se usarán tanto equipos como protocolos de enrutamiento que ayuden a conseguir este requerimiento de la red.

Por último, se analizan los servicios de valor agregado que el ISP brindará a los abonados tales como: servicio de correo electrónico, etc. Para la determinación de requerimientos, el diseño del ISP debe ser eficiente para cumplir con los

requerimientos de red, sin realizar gastos innecesarios. Con cual a continuación se indica ciertos requerimientos que debe tener la red y de los usuarios.

En este capítulo se desarrolla el diseño del ISP determinando las muestras de población inicial, la proyección en 5 años. La red inalámbrica de acuerdo a las capas de red y las características de equipos.

3.2. Selección del tamaño de la muestra

El tamaño de la población para el sector de las parroquias rurales del valle de los Chillos se toma a partir de los datos que se encuentran publicados en la página Web oficial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo INEC. Este indica que según datos obtenidos del último censo nacional en el 2010, El Valle de los Chillos tiene una población de 150 000 habitantes. Esta población en su mayoría son personas de clase media-baja, media-alta y alta que residen en el Valle, pero trabajan o estudian en la zona urbana de Quito. De las cuales se considera la población objetivo estaría conformada de 85 550 individuos. Además, la INEC indica que, el promedio de integrantes por familia en Ecuador es de 4 personas, por lo tanto, la población para la realización de las encuestas es de 21 387 familias.

El cálculo del tamaño de la muestra Q se hace aplicando la ecuación 2.1. Se toma como coeficiente de confianza Z de 1,96 para un nivel de confianza del 95 %; σ es la varianza en las respuestas; E es el error muestral del 8 %; y N es el tamaño de la población de 21 387 familias.

Debido a que no se tiene un valor aproximado de la proporción de habitantes a encuestar en el presente estudio, se asume un porcentaje de participación de la población en la encuesta del 50 %. Por tanto, $p= 0,5$ dado que $q= 1-p$ calcula el valor de la varianza: $\sigma=p \cdot q= 0,25$, siendo p el porcentaje de personas que participarían en la encuesta, y q el porcentaje de personas que no participarían en la encuesta.

Reemplazando los valores en la ecuación 1.1 se tiene que $Q = 149,81$. De este cálculo se obtiene que la muestra poblacional a ser encuestadas para el sector de las parroquias rurales del Valle de los Chillos sea de 150 familias.

3.3. Recopilación de datos

Mediante la recopilación de datos se puede obtener información que luego de ser procesada y analizada, permite tomar decisiones acertadas sobre las tendencias de la población sobre determinados temas de interés.

En el presente proyecto se ha recolectado información mediante la utilización de la encuesta. En el anexo A se muestra la encuesta aplicada. Los cuestionarios de ésta fueron distribuidos en los sectores comprendidos alrededor de 2 km de radio en los diferentes sectores de las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

La encuesta fue realizada en un periodo de ocho días mediante la modalidad puerta a puerta. En esta el encuestador realizó las preguntas al encuestado con el fin de disminuir al máximo los errores de interpretación.

Los encuestados dieron la apertura adecuada, de forma que se realizó la recopilación de datos sin mayores complicaciones.

3.3.1. Requerimientos de los usuarios

Para los usuarios se consideran proveer de buen servicio indicados a continuación:

- **Integridad y autenticidad:** La información que envían y reciben los usuarios serán protegidas con protocolos de fuerte seguridad, WPA2 AES.
- **Tiempos de respuesta:** Los tiempos de carga y descarga de información por parte del usuario tendrán tiempos de respuesta tolerables.
- **Estabilidad en el servicio:** El servicio de internet debe funcionar de manera constante en el tiempo, sin que se afecte por ciertos cambios que se puedan realizar en la red.
- **Disponibilidad del servicio:** El servicio para el usuario debe estar disponible todos los días durante las 24 horas del día.

3.3.2. Requerimientos de la red

Los principales requerimientos de la red a diseñar son:

- **Seguridad:** En lo referente a los equipos instalados se debe considerar protección a la manipulación por personas ajenas a la red y en la parte lógica también proteger contra piratas informáticos.
- **Monitoreo:** La red a diseñar debe permitir dar un seguimiento del estado de los equipos en cualquier momento donde se pueda evaluar su funcionamiento y disponibilidad.
- **Hardware:** Los equipos considerados deben tener un correcto funcionamiento, que permitan escalabilidad y en condiciones normales trabajen a su máximo rendimiento.
- **Escalabilidad:** la red a considerar en este diseño debe adaptarse sin perder calidad, al crecimiento de esta.
- **Software:** se debe contar con las aplicaciones necesarias que permitan controlar el hardware de la red y sean capaces de detectar eventuales fallos en la red.

3.4. Dimensionamiento de la red

Con el dimensionamiento adecuado de la red, se determina la capacidad adecuada que se asigne a los enlaces troncales de salida al Internet del ISP como también los enlaces de radio y estaciones base, y así el tráfico que circule por ellos no conlleve a retrasos en la transmisión y recepción.

3.5. Proyección de la demanda

Con el fin de hacer un dimensionamiento adecuado se considera estimar la demanda que se tendría para un ISP en las parroquias rurales del Valle de los Chillos. Para esto se utilizan los datos obtenidos en la encuesta realizada en el Capítulo II y los datos trimestrales que presenta la Superintendencia de Telecomunicaciones de Ecuador (SUPERTEL) del número de cuentas dedicadas a Internet para la provincia de Pichincha. En la tabla 3.1 se muestra el número trimestral de cuentas dedicadas a Internet en la provincia de Pichincha en el año 2017.

Tabla 3. 1. Cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.

Cuentas de acceso a Internet – Provincia de Pichincha				
AÑO	MARZO	JUNIO	SEPTIEMBRE	DICIEMBRE
2016	427949	512588	515427	511476
2017	492 213	555304	557049	558794

Elaborado por: Autor

En la figura 3.13 se muestra el número de cuentas dedicadas para la provincia de Pichincha en correspondencia con los valores presentados en la tabla 3.1.

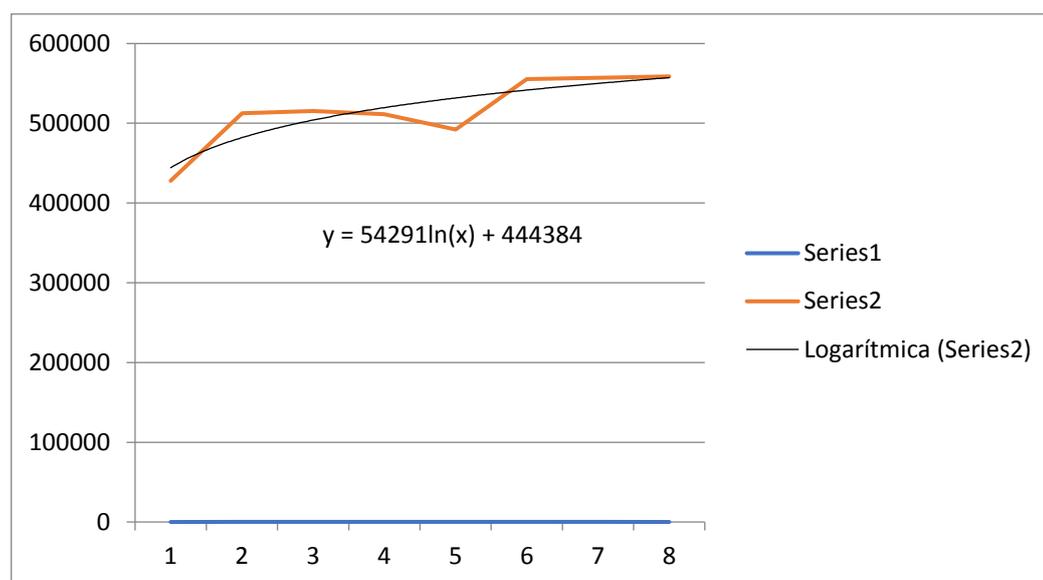


Figura 3. 1. Se muestra el número de cuentas dedicadas para la provincia de Pichincha.

Elaborado por: El Autor

Cabe indicar que se toma como referencia estas cuentas dedicadas ya que no se tiene estadísticas de cuentas dedicadas para el Valle de los Chillos. Estos datos son aplicables debido a que ambas siguen el mismo patrón de crecimiento y se pueden aproximar mediante el uso de una distribución normal.

Interpolando los valores correspondientes al número de cuentas dedicadas con la ayuda del software Microsoft Excel se obtiene la ecuación que permite prever el crecimiento de las cuentas dedicadas en el tiempo en la provincia de Pichincha. Donde la mejor función de aproximación a la curva original se logra con una función logarítmica, debido a que presenta el menor error de aproximación con respecto a la aproximación con función lineal, exponencial y polinómica.

La ecuación 3.1 permite calcular el número de cuentas dedicadas por trimestres para los años entre 2018 y 2022.

$$C_D = 54291 \cdot \ln(T) + 444384 \quad (3.1)$$

Siendo:

C_D : Número de cuentas dedicadas

T : Número de trimestres

Luego, aplicando la ecuación 3.1 se calcula el crecimiento de las cuentas dedicadas de Internet entre los años 2018 y 2022; cuyos resultados se indican en la siguiente tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Proyección de cuentas dedicadas Provincia de Pichincha.

Proyección de cuentas dedicadas - Provincia de Pichincha				
Año	Marzo	Junio	Septiembre	Diciembre
2018	563 673	569 393	574 568	579 292
2019	583 637	587 611	591 406	594 910
2020	598 201	601 305	604 240	607 025
2021	609 674	612 199	614 613	616 923
2022	619 139	621 269	623 318	625 292

Elaborado por: Autor

Luego se calcula el porcentaje de crecimiento promedio anual. Dicho porcentaje de crecimiento se calcula con la ecuación 3.2 de crecimiento Geométrico.

$$C_f = C_0(1 + X)^n \quad (3.2)$$

Dónde:

C_f : Capacidad final dentro de n años.

C_0 : Capacidad inicial.

X : Tasa de crecimiento anual promedio.

n : Numero en años.

Entonces para calcular la tasa de crecimiento anual promedio X , se despeja de la ecuación 3.2 obteniendo la ecuación 3.3:

$$X = \left(\frac{C_f}{C_0}\right)^{1/n} - 1 \quad (3.3)$$

En esta ecuación se reemplaza valores del número de cuentas dedicadas de la provincia de Pichincha correspondientes a diciembre 2018 y diciembre 2022:

$$X = \left(\frac{625292}{579292}\right)^{1/5} - 1 = 0.015$$

El porcentaje promedio de crecimiento anual antes calculado, de 1,5%, se usará para el cálculo de los usuarios que tendrá el ISP propuesto para las parroquias rurales del Valle de los Chillos para el periodo de los próximos 5 años.

3.6. Cálculo del número inicial de usuarios

A continuación, se realiza un cálculo aproximado del número de usuarios que se espera tener al inicio de operación del ISP que se diseña.

El valle de los Chillos tiene una población de 150 000 habitantes donde en su mayoría son personas de clase media-baja, media-alta y alta que residen en el Valle, pero trabajan o estudian en la zona urbana de Quito. De las cuales se considera la población objetivo la cual estaría conformada por 85 550 individuos. Esta misma institución indica que el promedio de integrantes por familia en Ecuador es de 4 personas, por lo tanto la población para la realización de las encuestas es de 21 387 familias.

Además, se asume que el ISP sería capaz de adquirir el 9,35 % del total de usuarios del mercado dispuestos a contratar el servicio, considerando la presencia de otras empresas operadoras en la zona. Por lo que se tendría un número aproximado de 2 000 familias como posibles clientes al momento de la formación del ISP en cuestión.

3.7. Proyección del mercado

Uno de los objetivos del presente proyecto, es diseñar una red que se pueda escalar de tal manera que puedan cubrir las necesidades del ISP, con una proyección de la demanda a 5 años, aplicando el porcentaje promedio de crecimiento anual aplicable para las parroquias rurales del Valle de los Chillos asumiendo que siguen una distribución normal, se indica en la tabla 3.3 el crecimiento de abonados anual entre los años 2018 y 2022.

Tabla 3. 3. Proyección de la demanda 2018 -2022 para las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

Crecimiento de abonados anualmente					
Año	2018	2019	2020	2021	2022
Abonados	2 000	2 030	2 060	2 091	2 122

Elaborado por: Autor

3.8. Red troncal

Es necesario que el ISP para proveer de servicios de Internet se conecte a la red troncal (*backbone*), ya sea a través de uno o varios enlaces de redes de área amplia (WAN). Estas conexiones se pueden realizar a través de fibra óptica, satelital o enlaces WAN de alta velocidad como ATM (modo de transferencia asincrónica), conexión que se realiza a través del *encaminador (router)* principal de la red. En el presente proyecto el enlace entre el ISP y la red troncal se realiza a través de fibra óptica.

3.9. Conexión al nap.ec (NAP Ecuador)

Esta conexión permite intercambiar tráfico de Internet originado y terminado en el Ecuador, es decir, es una infraestructura parte del Internet que se denomina comúnmente como IXP (Internet eXchange Point) o punto de intercambio de tráfico de Internet, utilizando únicamente canales locales o nacionales. Entre los beneficios de estar en esta conexión se tiene el uso eficiente de la red de telecomunicaciones del país, mejora los tiempos de respuesta a páginas internacionales de mayor uso local.

En la actualidad existen dos nodos que permiten la conexión de los proveedores de Internet a los puntos de accesos de red de Ecuador (NAP.EC). Estos puntos de accesos se encuentran ubicados en Quito y en Guayaquil. Estos nodos

están unidos mediante enlaces interurbanos que transportan tráfico en dichas ciudades.

La figura 3.14 muestra la topología física de NAP.EC y los participantes actuales.

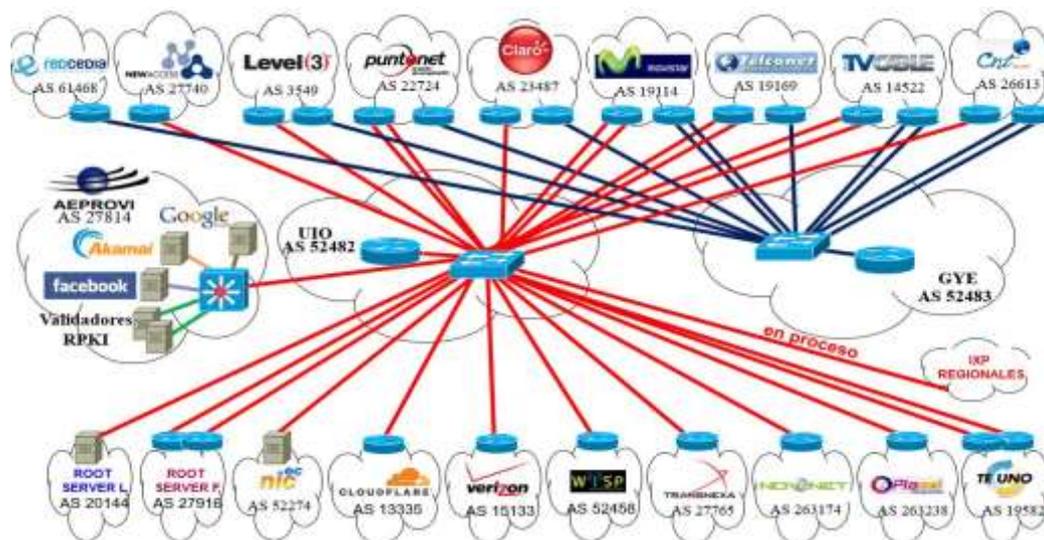


Figura 3. 2. Topología física de NAP.EC.
Fuente: (Asociación de empresas, 2015)

3.10. Cálculo de la capacidad mínima de la red troncal

Se realiza el cálculo de la capacidad mínima de la red troncal que debe tener para brindar los servicios de internet a cada uno de los usuarios. En esto se considera la demanda del numeral 3.3.2 y la encuesta realizada en el segundo capítulo.

Para este cálculo de la capacidad mínima de la red troncal se tienen en cuenta los planes de Internet y los anchos de bandas de los diferentes servicios.

Planes de internet: se realiza un cálculo del ancho de banda digital necesario para servicios de datos, voz y video, con el fin de garantizar la calidad de servicio, los cuales se presentan a continuación.

Ancho de banda digital para la transmisión de datos: se define como ancho de banda digital, para diferenciarlo del ancho de banda de una señal, a la cantidad de bits por segundo que puede transportar la red. El ancho de banda digital no es más que la velocidad de señalización o de transferencia de los datos. Se define

como retardo o latencia a cuánto tiempo le toma al primer bit en llegar del cliente al servidor (Tanenbaum, 2016). Este tipo de tráfico es menos susceptible al retardo por lo que el ancho de banda digital medio para transmisión de páginas Web es de 512 kbps.

Ancho de banda digital para la transmisión de VoIP: este ancho de banda digital o velocidad de transferencia dependerá del tamaño de la trama y del número de tramas por segundo que se desee transmitir. Para el cálculo del ancho de banda digital necesario para VoIP se usa la ecuación 3.4:

$$AB_{Digital}/llamada = \text{tamaño de la trama} \cdot \text{tramas por segundo} \quad (3.4)$$

Los tipos de códec más usados para la digitalización de la voz son G.711, G.728 y G.729, por lo que se tomara como referencia estos para el cálculo del ancho de banda digital.

En la ecuación 3.5 se utiliza para el cálculo del tamaño de la trama de transmisión de voz:

$$\text{Tamaño de trama} = \text{Carga útil (Payload)} + \text{Encabezado}_{capa 4} + \text{Encabezado}_{capa 3} + \text{Encabezado}_{capa 2} \quad (3.5)$$

En la tabla 3.4 se muestran las normas o códecs utilizados para VoIP y su respectiva velocidad de señalización.

Tabla 3. 4. Códecs de VoIP.

Norma (o códec)	Descripción	Tamaño del códec (bytes)	Velocidad de señalización (razón de bits en kbps)	Tamaño de la carga útil de voz (Bytes)	Tamaño de la carga útil de voz (ms)	Latencia (ms)
G.711	PCM	80	64/56	160	20	0,125
G.721	ADPCM		32 / 16 / 24 / 40			< 1
G.726	ADPCM	20 / 15	32 / 24	80	20	
G.728	LD-CELP	10	16	60	30	1,25

G.729	CS-ACELP	10	8	20	20	15
G.723.1	Multirate CELP	24	6,3 / 5,3	20	30	37,5
Fs1015	LPC10		2,4			----

Elaborado por: Autor

Se puede indicar de la tabla 3.4 que se necesita una velocidad de señalización de 64 kbps para la transmisión de VoIP con el códec G.711 es decir para transmisión/recepción serían 128 kbps. Este valor se usará como referencia para el cálculo del ancho de banda digital mínimo que se debe ofrecer a los usuarios.

Ancho de banda digital para la transmisión de video: cada vez se utiliza con mayor frecuencia las transmisiones de video en tiempo real (*streaming* de video). Si se desea una transmisión de video de alta calidad se hace necesaria una velocidad de transmisión de 800 kbps. Para video en alta definición (HD), se necesita una velocidad de transmisión de 1 300 kbps. Tomándose este último como valor referencia para el cálculo del ancho de banda digital mínimo.

Cálculo del mínimo ancho de banda digital necesario por usuario: para este cálculo se utiliza la ecuación 3.6, la cual representa la suma de los requerimientos mínimos para datos, voz y video.

$$AB_{Total}/usuario = AB_{min}datos + AB_{min}voz + AB_{min}video \quad (3.6)$$

Reemplazando los valores determinados anteriormente se tiene:

$$AB_{Total}/usuario = 512 \text{ kbps} + 64 \text{ kbps} + 1\,300 \text{ kbps} = 1\,876 \text{ kbps}$$

Es así que el ancho de banda digital mínimo que debe tener cada usuario es de 1 876 kbps por lo que se eligen tres tipos de planes de Internet que se ofrecerán a los usuarios del ISP, los cuales tienen anchos de banda superiores al mínimo requerido, en este caso de 3 Mbps, 4 Mbps y 5 Mbps con una relación de compartición del ancho de banda del orden de 4:1. Esto último se hace considerando que en un mismo instante de tiempo no todos los usuarios demandaran el máximo ancho de banda.

Además se indica que se escoge estos anchos de banda y compartición porque son similares a los ofrecidos en la zona por otras operadoras y de acuerdo a lo técnico no se sobrepasa el límite permitido.

Se ha escogido una compartición de ancho de banda de 4:1 para brindar el servicio de Internet a un mayor número de usuarios, con la misma infraestructura del ISP y con calidad de servicio. Esta operación se lo realiza en la capa aplicación mediante un software de gestión para controlar el ancho de banda o velocidad de tráfico de información de los clientes.

De esto se tiene considerado en este proyecto 10 nodos, los cuales darían el servicio a aproximadamente 200 usuarios por nodo para un total de 2 000 usuarios. De estos dos mil usuarios 1 200 personas optarían por un canal de 3 Mbps, 500 personas optarían por un canal de 4 Mbps y 300 personas estarían dispuestas a contratar un canal de 5 Mbps.

Con los datos anteriormente indicados y la compartición de ancho de banda de 4:1 se estima el ancho de banda digital necesario para proveer de servicios a dichos clientes para el primer año de funcionamiento como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5. Cálculo de la capacidad del canal.

Número de abonados	AB _{Digital} o velocidad de contratación	Nivel de compartición	AB _{Digital} o velocidad requerida
1 200	3 Mbps	4:1	900 Mbps
500	4 Mbps	4:1	500 Mbps
300	5 Mbps	4:1	375 Mbps
		Total	1 775 Mbps

Elaborado por: Autor

De manera similar se realiza el cálculo del ancho de banda digital requerido, en los años siguientes, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3. 6. Proyección de total de ancho de banda digital requerido.

Plan de ancho de banda\Año	2018	2019	2020	2021	2022
3 Mbps	900	914	928	942	956
4 Mbps	500	508	516	524	532
5 Mbps	375	381	387	393	399
Total	1 775	1 803	1 831	1 859	1 887

En la figura 3.15 se aprecia la tendencia al aumento del ancho de banda digital necesario para satisfacer el tráfico de usuarios de la red.

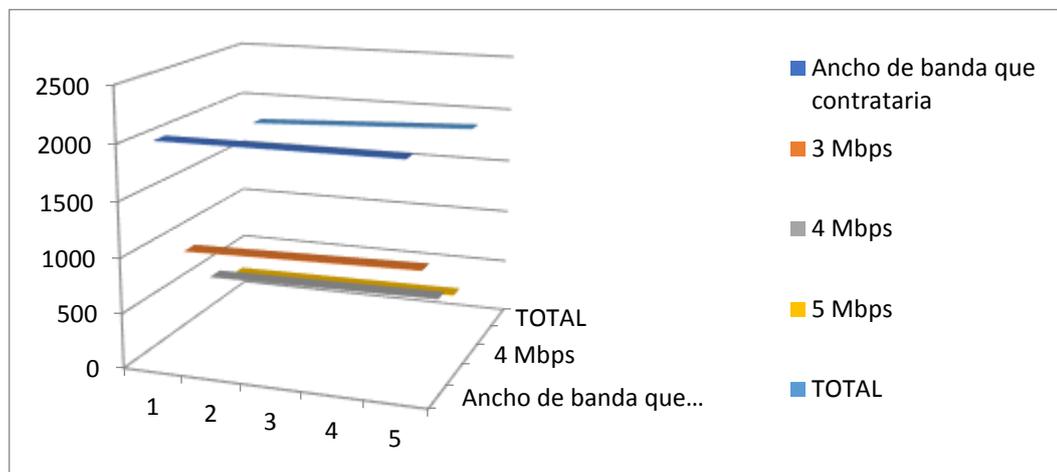


Figura 3. 3. Proyección de demanda de velocidad de transmisión.
Elaborado por: El Autor

El diseño de la red se basa en soportar la demanda de servicio requerida por los clientes, no obstante la demanda al proveedor de Internet será en función de la cantidad de usuarios que demanden el servicio por año partiendo de la demanda mínima de 1 775 Mbps.

3.11. Selección de la empresa portadora encargada de brindar la salida local al ISP

Se elige la empresa NEDETEL como proveedor para el suministro de la salida local del ISP hacia el Internet por ajustarse a las necesidades de la red. La misma cuenta con 15 años de experiencia en el mercado de las telecomunicaciones, siendo uno de los Proveedores de Servicios de Internet (ISP) y Portadores más grandes a nivel nacional.

Además, como ventajas se indican sus precios accesibles y su cobertura se extiende a lo largo del territorio ecuatoriano, brindando apoyo a todos aquellos emprendedores que se desean iniciar en el mercado del Internet y mantener conectado a su comunidad.

3.12. Diseño de la red de distribución

Para el diseño de la red del ISP de este proyecto se considera el Modelo Jerárquico de red, el mismo que indica las capas de núcleo, de distribución y capa de acceso.

Capa de núcleo.

La función de esta capa es conmutar el tráfico procedente de la capa de distribución tan rápido como sea posible y se encarga de transportar grandes cantidades de tráfico hacia el exterior de la red del ISP de manera veloz y confiable.

Esta capa consta de un encaminador (*router*) de borde que se encuentra en el límite de la red del ISP y la red exterior, y por *conmutadores* de alta velocidad.

Encaminador de borde.

Un encaminador (*router*) es el equipo de red encargado de enrutar todo el tráfico proveniente de la red interna del ISP hacia una red externa o Internet.

El protocolo de enrutamiento utilizado será el Gateway exterior versión cuatro (BGPv4), y el equipo seleccionado para esta función debe tener como mínimo tres interfaces de Internet de alta velocidad, para la conexión de la salida internacional principal y la red interna del ISP. Otra propiedad del equipo a seleccionar sería tener un alto nivel de procesamiento de datos de modo que pueda enrutar de manera eficiente las grandes cantidades de tráfico provenientes de la capa de distribución.

Firewall.

Este equipo de red debe brindar una seguridad a los dispositivos del ISP, de modo que se puedan evitar ataques de redes externas hacia equipos internos y usuarios finales. Entre los principales ataques que debe evitar el equipo se tienen:

- ADDRESS SCAN.- En este tipo de ataque un usuario interno del ISP envía un gran número de solicitudes de respuesta a puertos específicos a diferentes hosts externos.
- SYN FLOODS.- Este tipo de ataque se realiza desde una red externa al ISP e impide que determinados usuarios accedan a servicios externos en el Internet.

- **FLY FLOODS.**- En este tipo de ataque un host externo a la red del ISP ataca a un host interno con un flujo excesivo de solicitudes haciendo que este colapse por saturación.

Controlador de ancho de banda digital.

Este dispositivo de red se encarga de controlar el ancho de banda digital con el cual los diferentes usuarios se conectarán a las redes internacionales. Este equipo de red generalmente se coloca después del *conmutador* de distribución ya que el tráfico que se restringe es el que va destinado a redes exteriores al ISP.

Para esto se planea la creación de tres VLANs (redes LAN virtuales) que contengan el registro de los grupos de IPs correspondientes a los tres planes propuestos de 3 Mbps, 4 Mbps y 5 Mbps.

3.13. Capa de distribución

En esta capa se interconectan los dispositivos de la capa de acceso y provee funcionalidades de ruteo entre las diferentes subredes de la LAN del ISP, dividiendo los dominios de difusión (*broadcast*) por medio de VLANs. Debido a que en esta capa se manejan grandes flujos de datos es recomendable que los equipos que van a operar sean de alto rendimiento. Por estas razones, los *conmutadores* que residen en la capa de distribución operan, tanto en la capa 2 como en la capa 3 del modelo OSI.

Como ya se mencionó, en esta capa se interconectan las diferentes VLANs del ISP. Es por esto que se definen las diferentes redes virtuales que maneja el *conmutador* de capa 3 del ISP.

VLANs.

Para una mejor administración, funcionamiento y rendimiento de la red del ISP se incluyen las siguientes VLANs:

- VLAN de dispositivos de acceso.
- VLAN de servidores de aplicaciones.
- VLAN de servidores de administración.

- VLAN de dispositivos de conectividad externa.
- VLAN de dispositivos de red de abonado.

A la VLAN de dispositivos de acceso se conectarán los *conmutadores* que transportarán el tráfico proveniente de los dispositivos de acceso de cada uno de los clientes del ISP.

A la VLAN de servidores de aplicaciones se conectarán los servidores que provean algún tipo de servicio a los clientes del ISP. En este diseño se incluirán los siguientes tipos de servicios: servidores DNS, servidor FTP, servidor alojamiento Web y servidor de correo electrónico.

A la VLAN de servidores de administración se conectarán los servidores que contengan aplicaciones de administración de red y monitoreo.

A la VLAN de dispositivos de conectividad externa se conectarán los dispositivos de conectividad hacia el exterior. Para los fines del diseño se conectará el encaminador (*router*) de borde, el servidor cache y el dispositivo que controlará el ancho de banda digital a los clientes del ISP.

Mediante las VLANs de dispositivos de red de abonado se administran los registros de IPs de abonados asignados a los equipos finales de usuario. En la figura 3.16 se muestra el esquema general de la red del ISP.

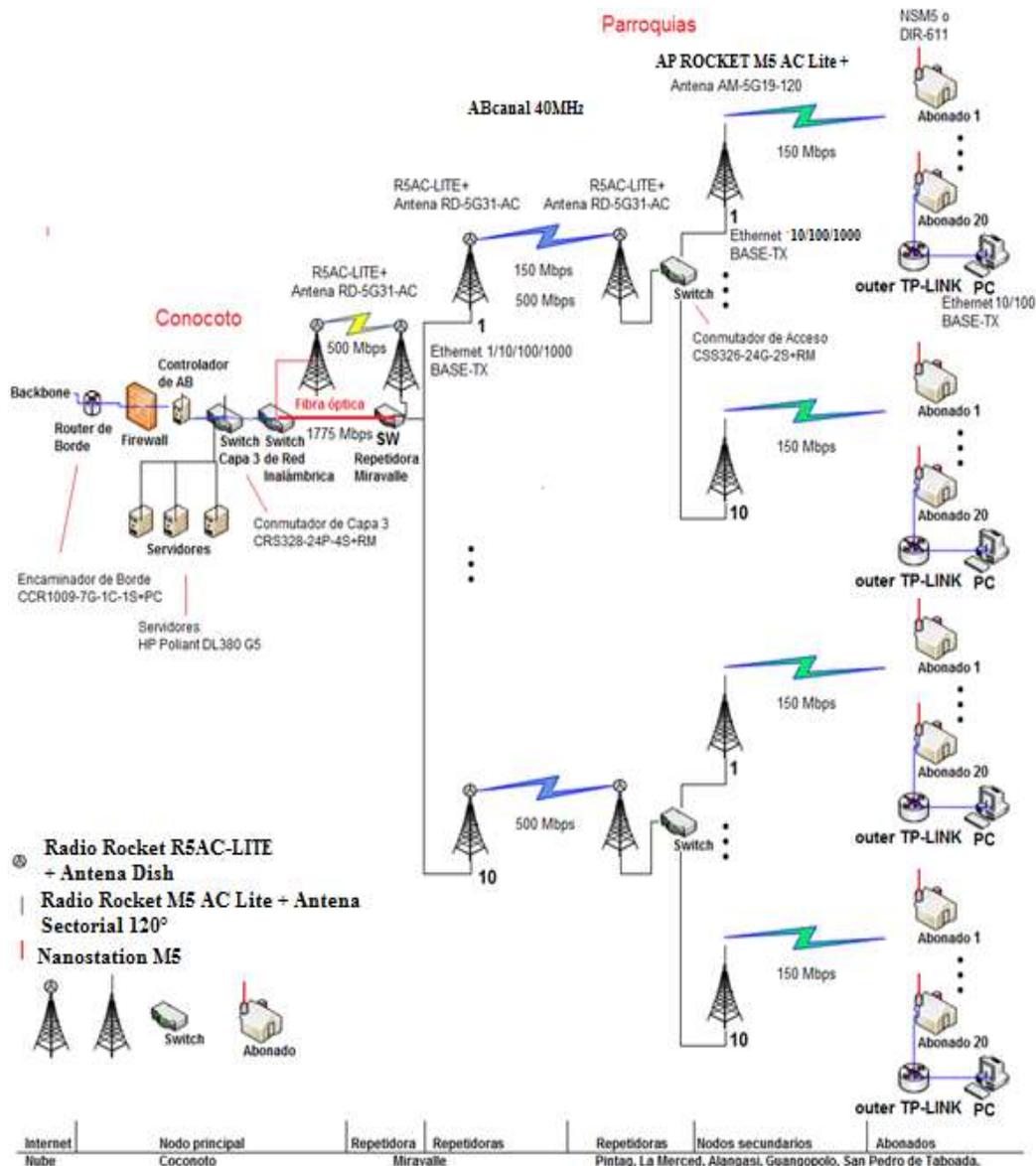


Figura 3. 4. Esquema de red del ISP.
Elaborado por: El Autor

3.14. Capa de acceso

Esta capa permite a los equipos de usuarios finales conectarse a la red. En esta capa se controlan y administran los equipos mediante los cuales los abonados tendrán el acceso a los servicios que brinda el ISP.

Para este proyecto se considera una red de acceso inalámbrico que permita brindar servicios de Internet a los habitantes de las parroquias rurales del Valle de los Chillos, esta red permite costos de implementación reducidos lo que permite reducir los costos de operación de los enlaces y al estar estas parroquias ubicadas

en un valle rodeado de montañas de mediana altura se puede aprovechar para la instalación de torretas de comunicación.

3.15. Diseño de la red inalámbrica.

3.15.1. Topología general de la red.

Las topologías de red empleadas en los sistemas inalámbricos son las Punto a Punto (PtP) y las Punto Multipunto (PtMP) (Tanenbaum, 2016) (Hernando Rábanos, 2015).

La topología de red que se ha escogido para este diseño es tipo punto multipunto, la misma permite tener enlaces de máxima disponibilidad del servicio a los abonados o usuarios de la red.

Se ha definido un nodo de comunicación principal para la red del ISP, este nodo se denominará Conocoto el cual será el centro de operación de la red, donde estarán los equipos del núcleo de la red y los servidores de servicios. De este nodo se envía el flujo de datos hacia el nodo repetidor Miravalle en San Luis de Miravalle vía enlace inalámbrico PtP y por fibra óptica. En el nodo repetidor Miravalle se establecerán enlaces inalámbricos PtP de *backbone* con los nodos de distribución o secundarios: Pintag, La Merced, Alangasi, Guangopolo, San Pedro de Taboada, Cuendina, Cotogchoa, Rumipamba, Conocoto y Amaguaña. En la figura 3.17 y figura 3.18 se muestran los diagramas de la topología descrita, donde se representan cada uno de los enlaces de *backbone* principales.

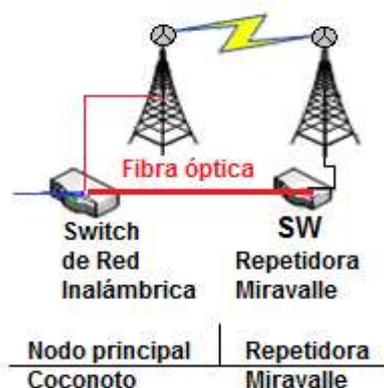


Figura 3. 5. Enlaces punto a punto, nodo principal-repetidor de Miravalle.
Elaborado por: El Autor

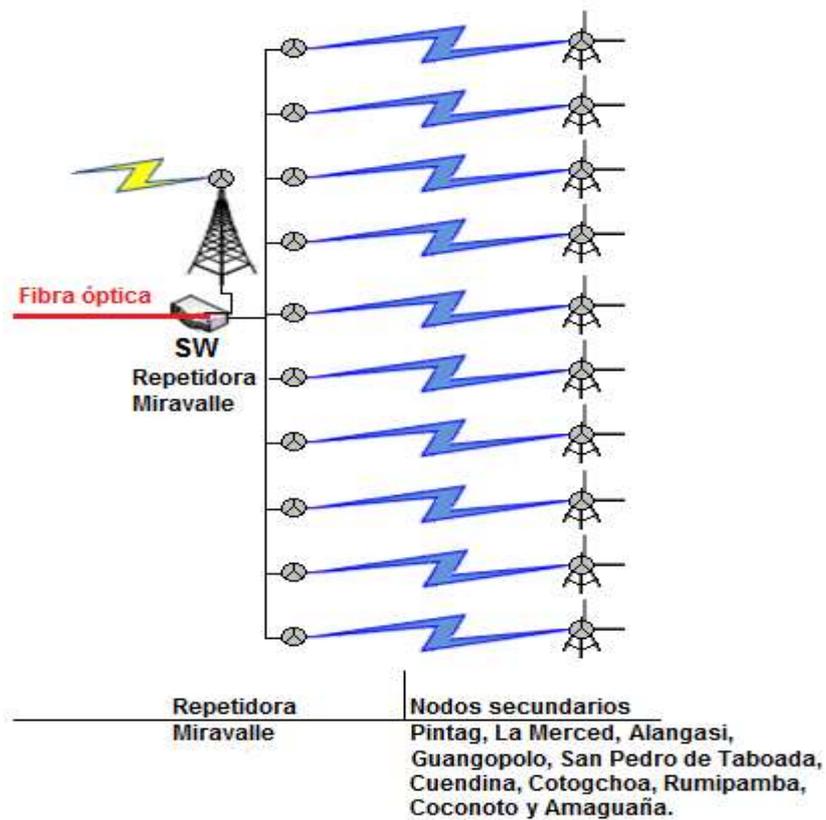


Figura 3. 6. Enlaces punto a punto, repetidores de Miravalle a nodos de distribución o secundarios.

Elaborado por: El Autor

De los nodos secundarios a abonados se emplearán enlaces inalámbricos punto multipunto. Es decir, se tendrá una estación base actuando como maestro, al cual se asociaran los equipos de abonado (esclavos). En la figura 3.19 se esquematiza la topología PtMP de la red correspondiente a la última milla del abonado.

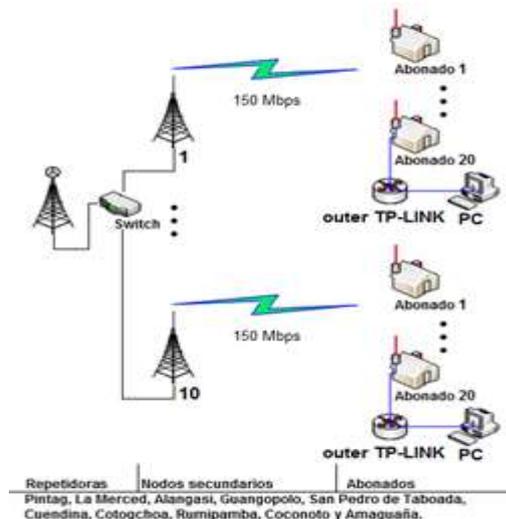


Figura 3. 7. Enlaces Punto – MultiPunto, nodo secundario a usuarios finales.

Elaborado por: El Autor

3.16. Planificación de enlaces de radio PtP con la repetidora de Miravalle (nodo principal - estaciones base).

En este caso se asume que se tiene un número igual de abonados por cada nodo secundario. Esto se define con el objetivo de establecer un valor referencial del ancho de banda digital necesario para transferir el tráfico generado por los usuarios hacia la capa de distribución y se indica en la tabla 3.7.

Tabla 3. 7. Enlaces de backbone principales

Enlace	Ancho de banda digital	
	Total del canal	Calculado
	1 775 Mbps	
Repetidora Miravalle – Pintag		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle - La Merced		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle – Alangasi		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle - Guangopolo		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle - San Pedro de Taboada		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle – Conocoto		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle – Cuendina		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle - Cotogchoa		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle - Rumipamba		177,5 Mbps
Repetidora Miravalle - Amaguaña		177,5 Mbps

Elaborado por: Autor

El valor de 177,5 Mbps indicado en la tabla 3.7 corresponde con la velocidad de transferencia mínima que debe tener cada enlace de radio para la transmisión de tráfico generado por los clientes en cada uno de los nodos en la etapa inicial de operación del ISP. Se consideran 200 clientes por nodo, una compartición de ancho de banda 4:1 y planes de 3 Mbps, 4 Mbps y 5 Mbps.

Al ser la velocidad mayor de 150 Mbps se necesita de la tecnología MIMO. Con el estándar 802.11 N empleando ancho de banda de 40 MHz y 2 haces espaciales (*spatial streams*) se puede alcanzar una velocidad de 300 MHz/64QAM (IEEE Computer Society, 2014). Con el estándar 802.11 AC se pueden con iguales características de ancho de banda y haces espaciales se alcanzan velocidades superiores, en este caso de hasta 400 Mbps/256QAM (IEEE Computer Society, 2013).

Con 20MHz de ancho de banda del canal se alcanza como máximo 150Mbps de velocidad de transmisión, independientemente de la banda de comunicación que se emplee, 2.4 GHz o 5GHz.

De acuerdo a lo indicado, cada una de las estaciones base debe de ser capaz de manejar el tráfico de 200 usuarios con un ancho de banda digital mínimo de 177,5 Mbps. Esto se indica en la tabla 3.8.

Tabla 3. 8. Ancho de banda digital mínimo requerido por estación base.

Estación base	Número de usuarios	Velocidad de transferencia mínima requerida
Pintag	200	177,5 Mbps
La Merced	200	177,5 Mbps
Alangasi	200	177,5 Mbps
Guangopolo	200	177,5 Mbps
San Pedro de Taboada	200	177,5 Mbps
Conocoto	200	177,5 Mbps
Cuendina	200	177,5 Mbps
Cotogchoa	200	177,5 Mbps
Rumipamba	200	177,5 Mbps
Amaguaña	200	177,5 Mbps

Elaborado por: Autor

Las estaciones bases encaminarán el tráfico generado por cada uno de los 10 nodos secundarios asociados a ellas. Cada nodo secundario manejará el tráfico de 20 abonados a un máximo de 25.

Para los enlaces inalámbricos se ha elegido la banda de frecuencia no licenciada y de uso libre de 5 GHz. Esta frecuencia comprende valores entre 5 725-5 850 MHz, 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz, 5 725-5 825 MHz las cuales están designadas para aplicaciones ISM (*Industrial, Scientific and Medical band*, industriales, científicas y médicas) con sistemas de modulación digital de banda ancha y enlaces de radiodifusión que utilizan espectro ensanchado o expandido. Por lo cual se utilizaran estas bandas de frecuencia recordando que al ser bandas no licenciadas tendrán niveles de interferencia. Las bandas están reguladas a través de las normas EN 300-328 y EN 300-674 según la UIT (UIT-R, 2010).

Se realiza la división de la banda de frecuencia en canales de 40 MHz, los cuales en caso de ser necesario se haría con un plan con reuso de frecuencias para evitar interferencias entre los mismos. En la tabla 3.9 se muestran los canales disponibles en la banda de frecuencia de 5 GHz con canales de 40 MHz.

Tabla 3. 9. Canales de frecuencia con ancho de banda de 40 MHz en la banda de 5 000 MHz.

Canal	Frecuencia inicial MHz	Frecuencia final MHz
F1-F2	5 150	5 190
F3-F4	5 190	5 230
F5-F6	5230	5 270
F7-F8	5 270	5 310
F9-F10	5 310	5 350
F11-F12	5 350	5 390
F13-F14	5 390	5 430
F15-F16	5 430	5 490
F17-F18	5 490	5 530
F19-F20	5530	5 570

Elaborado por: Autor

A continuación, se indican los canales de frecuencia que se asignarán a cada uno de los enlaces de *backbone*; así como también los canales en los que trabajaran las Estaciones Base con el fin de minimizar las interferencias. En la Tabla 3.10 se indica la asignación de canales.

Tabla 3. 10. Asignación de canales.

Enlace	Canal
Repetidora Miravalle - Pintag	F1-F2
Repetidora Miravalle - La Merced	F7-F8
Repetidora Miravalle - Alangasi	F3-F4
Repetidora Miravalle - Guangopolo	F11-F12
Repetidora Miravalle - San Pedro de Taboada	F9-F10
Repetidora Miravalle - Conocoto	F5-F6
Repetidora Miravalle - Cuendina	F15-F16
Repetidora Miravalle - Cotogchoa	F17-F18
Repetidora Miravalle - Rumipamba	F13-F14
Repetidora Miravalle - Amaguaña	F19-F20

Elaborado por: Autor

Para la asignación de los canales de enlaces de radio adyacentes se tuvo en cuenta una separación mínima de 40 MHz, para minimizar las interferencias entre canales adyacentes.

3.17. Cálculo del presupuesto de los enlaces inalámbricos.

En este caso se realiza el cálculo del presupuesto del enlace para uno de los enlaces de radio. Dado que todos los enlaces de radio propuestos para el presente proyecto son de similares características, por tener similares distancias y encontrarse en la misma zona geográfica. Estos cálculos servirán para determinar la potencia mínima de transmisión necesaria para el funcionamiento del enlace.

Para el cálculo del margen de seguridad por desvanecimiento FM de la zona, ecuación 2.5, se escoge un factor de rigurosidad A para terreno normal igual a la unidad, un factor de climático B para áreas montañosas de clima seco igual a 0,125. Para el objetivo de transmisión o disponibilidad del sistema R será de 0,95, con el fin de representar las peores condiciones.

Los valores de la sensibilidad del equipo y la ganancia de las antenas que se usaran para el cálculo de la potencia de transmisión mínima se han tomado de los valores típicos para equipos de transmisión en la banda de 5,8 GHz. Estos valores son de -90 dBm y 24 dBm respectivamente.

Haciendo uso de las ecuaciones de pérdidas de propagación por espacio libre (2.5), margen de seguridad por desvanecimiento (2.7) y potencia de transmisión (2.6), se calcula el presupuesto de cada uno de los enlaces:

$$FSL [dB] = 92,45 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(km)$$

$$FM [dB] = 30 \log(d(km)) + 10 \log(6 \cdot A \cdot B \cdot f(GHz)) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$P_{TX}[dBm] = P_{RX}[dB] + L_{TX}[dB] - G_{TX}[dBi] + FSL [dB] - G_{RX}[dBi] + L_{RX}[dB] - FM$$

En la tabla 3.11 se muestra el presupuesto de cada uno de los enlaces.

Tabla 3. 11. Presupuesto de enlace

Enlace	Distancia (d) km	Frecuencia (f) MHz	Pérdidas espacio libre (FSL) dB	Margen de desvanecimiento (FM) dB	Potencia Tx (P _{TX}) dBm
Repetidora Miravalle - Pintag	19,00	5 170	132,24	-12,74	8,98
Repetidora Miravalle - La Merced	12,38	5 290	128,71	-18,25	10,96
Repetidora Miravalle - Alangasi	11,20	5 210	127,72	-19,61	11,33
Repetidora Miravalle - Guangopolo	7,27	5 370	124,23	-25,09	13,32
Repetidora Miravalle - San Pedro de Taboada	6,74	5 330	123,51	-26,12	13,63
Repetidora Miravalle - Conocoto	4,39	5 250	119,65	-31,77	15,42
Repetidora Miravalle - Cuendina	11,37	5 470	128,28	-19,19	11,47
Repetidora Miravalle - Cotogchoa	12,50	5 510	129,16	-17,92	11,08
Repetidora Miravalle - Rumipamba	12,83	5 410	129,22	-17,66	10,88
Repetidora Miravalle - Amaguaña	12,28	5 550	129,06	-18,13	11,19

Elaborado por: Autor

Estos valores se utilizarán posteriormente como referencia para realizar la simulación y evaluación de cada uno de los enlaces considerados en este diseño.

3.18. Selección de los parámetros de modelación de los enlaces inalámbricos.

La modelación o simulación de los radioenlaces se realiza con el software Radio Mobile. Este es un software de distribución libre para el cálculo de radioenlaces de larga distancia en terreno irregular. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, entre otros) que quieren modelarse.

Este software implementa el modelo Longley-Rice, modelo de predicción troposférica para transmisión por radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar de forma real los equipos reales que se piensan utilizar y las condiciones climáticas del terreno.

Radio Mobile utiliza para la evaluación de los enlaces el perfil geográfico de las zonas de trabajo. La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet. Los tres tipos de mapas disponibles son los SRTM, los GTOPO30 y los DTED.

Los mapas SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) forman parte de un proyecto de la NASA (Agencia del Espacio y de Aeronáutica) que proporciona información topográfica digital gratuita. Esta cartografía contiene muestras de datos de alturas obtenidos por radar. Para la región de América Latina, las imágenes tienen una resolución de 3 segundos de arco correspondiente a 90 metros.

Al igual que el modelo de propagación en el que se basa, permite trabajar con frecuencias entre los 20 MHz y 40 GHz y longitudes de trayecto de entre 1 y 2 000 km.

Con los resultados de la simulación se podrá validar el diseño de cada enlace de radio.

En la tabla 3.12 se indican las coordenadas geográficas y altitud de todos los nodos considerados en este diseño.

Tabla 3. 12. Coordenadas geográficas de los nodos.

Nodo	Altitud	Coordenadas geográficas	
	m.s.n.m	Latitud	Longitud
RepetidoraMiravalle	3154	0°16'27.59"S	78°30'32.71"O
Pintag	2887	0°22'42.33"S	78°22'26.38"O
La Merced	2583	0°17'37.13"S	78°24'0.17"O
Alangasi	2574	0°18'31.05"S	78°24'52.74"O
Guangopolo	2522	0°15'19.80"S	78°26'51.59"O
San Pedro de Taboada	2503	0°19'18.15"S	78°28'14.06"O
Conocoto	2545	0°17'38.02"S	78°28'29.58"O
Cuendina	2576	0°22'23.41"S	78°29'4.22"O
Cotogchoa	2636	0°22'26.72"S	78°27'18.51"O
Rumipamba	2624	0°21'49.16"S	78°26'11.09"O
Amaguaña	2659	0°23'2.22"S	78°30'0.26"O

Elaborado por: Autor

En la figura 3.20 se indica la ubicación de cada uno de los nodos de las parroquias rurales del Valle de los Chillos, mediante el Google Earth Pro, y cada uno de los enlaces de *backbone* de la red del ISP.

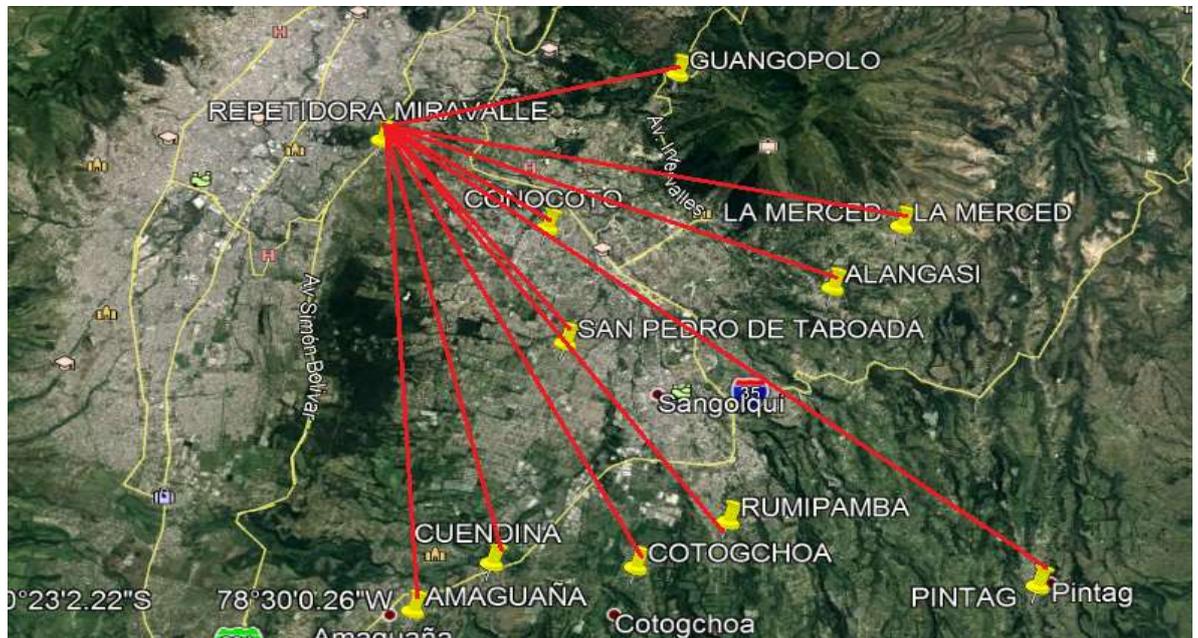


Figura 3. 8. Enlaces punto multipunto.
Elaborado por: El Autor

Para la simulación de la red se necesita que se configuren los parámetros tanto del modelo Longley-Rice como de las interfaces de radio. A continuación se describen los parámetros a ingresar en el software Radio Mobile para las simulaciones punto multipunto:

- **Banda de frecuencia:** especifican las frecuencias mínimo y máximo de trabajo del enlace. Se escogen para cada enlace la frecuencia inicial indicada en la tabla 3.13 y como final la correspondiente a 20 MHz por encima.
- **Polarización:** indica el tipo de polarización de las antenas. Se emplea polarización dual lineal.
- **Modo de variabilidad.** el modelo Longley-Rice define cuatro modos de variabilidad: Spot, Accidental, Mobile y Broadcast. En el modo Spot, el programa hace un único intento por enviar un mensaje en la simulación. El modo Accidental se usa para evaluar interferencias. El modo Broadcast es para unidades estacionarias y Mobile para comunicaciones móviles. El efecto de los porcentajes de tiempo, localizaciones y situaciones depende del modo elegido.

Para el caso de estudio se elige el modo Mobile, donde se indica las peores condiciones de propagación de las ondas electromagnéticas.

- **Pérdidas adicionales.** Se especifica la característica del trayecto, por ejemplo, si es en una zona boscosa o urbana. En este caso no se señalan.

Para simular el efecto de la superficie terrestre se configuraron los siguientes parámetros:

- **Clima:** se utiliza el clima de ecuatorial.
- **Refractividad de la superficie:** la refracción determina la curvatura que sufren las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refracción puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente $4/3$ (1,333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refracción. Se puede introducir el valor de refracción de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 unidades de n (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1,232 a 1,767). Una curvatura efectiva de la tierra de $4/3$ ($=1,333$) corresponde a una refracción de la superficie de valor aproximadamente 301 unidades de n . Longley y Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio y es el que se usa.
- **Permitividad:** la permitividad relativa o constante dieléctrica al suelo (ϵ), es de 15.
- **Conductividad:** la conductividad del suelo, medida en Siemens por metro, es de 0,005 S/m.

A partir de los parámetros de la interfaz de radio 802.11n se configura el sistema de la siguiente forma:

- **Potencia de transmisión:** máxima potencia de salida de los equipos de transmisión. Se escogen los indicados en la tabla 3.13.
- **Sensibilidad del receptor:** mínima potencia de recepción para un adecuado funcionamiento. Se indica -90 dBm.
- **Tipo de antena:** direccional.
- **Ganancia de la antena:** ganancia de la antena respecto a la antena isotrópica en dBi. Se indica 24 dBi
- **Altura de la antena:** altura de la antena sobre el terreno. Se escoge 12 m.

- **Pérdidas en la línea de transmisión:** pérdidas en los cables coaxiales y conectores. Se escoge 1 dB.

Planificación del radioenlace principal.

El radioenlace nodo principal-repetidor constituye un enlace de respaldo del nodo principal. El mismo se prevé para una velocidad de 400 Mbps.

Dimensionamiento.

En este enlace solo conectan dos estaciones bases punto a punto. Una ubicada en el nodo principal de Conocoto y la estación repetidora ubicada en Miravalle.

Asignación de frecuencias.

Para llegar a 400 Mbps se requiere del empleo de la tecnología MIMO y un ancho de banda de 40 MHz. Para no interferir con las bandas de los enlaces secundarios se escogen a continuación de la última utilizada en los enlaces secundarios, quedando estas en: 5770 - 5790 & 5790 - 5810 & 5810 - 5830 & 5830 - 5850 MHz.

Cálculo del presupuesto del enlace.

Para el cálculo teórico del presupuesto del enlace inalámbrico se escoge un factor de rigurosidad A para terreno normal igual a la unidad, un factor de climático B para áreas montañosas de clima seco igual a 0,125. Para el objetivo de transmisión o disponibilidad del sistema R será de 0,95. Sensibilidad del receptor de -90 dBm, ganancia de antena tanto del transmisor como del receptor de 24 dBi. En la tabla 3.13 se muestra el presupuesto de cada uno de los enlaces.

Tabla 3. 13. Presupuesto de enlace.

Enlace	Distancia (d) km	Frecuencia (f) MHz	Pérdidas espacio libre (FSL) dB	Margen de desvanecimiento (FM) dB	Potencia Tx (P _{TX}) dBm
Repetidora Miravalle - Pintag	19,00	5 170	132,24	-12,74	8,98
Repetidora Miravalle - La Merced	12,38	5 290	128,71	-18,25	10,96
Repetidora Miravalle - Alangasi	11,20	5 210	127,72	-19,61	11,33
Repetidora Miravalle - Guangopolo	7,27	5 370	124,23	-25,09	13,32

Repetidora Miravalle - San Pedro de Taboada	6,74	5 330	123,51	-26,12	13,63
Repetidora Miravalle - Conocoto	4,39	5 250	119,65	-31,77	15,42
Repetidora Miravalle - Cuendina	11,37	5 470	128,28	-19,19	11,47
Repetidora Miravalle - Cotogchoa	12,50	5 510	129,16	-17,92	11,08
Repetidora Miravalle - Rumipamba	12,83	5 410	129,22	-17,66	10,88
Repetidora Miravalle - Amaguaña	12,28	5 550	129,06	-18,13	11,19

Elaborado por: Autor

3.19. Diseño de la red de abonado

La red de abonado o de última milla será con enlaces inalámbricos, donde los equipos de radio de abonados se conectarán con enlaces punto a punto con la estación base. A su vez la estación base establecerá una conexión punto-multipuntos con todos los equipos de radios asociados.

En la figura 3.22 se muestra un esquema de conexión para la última milla.

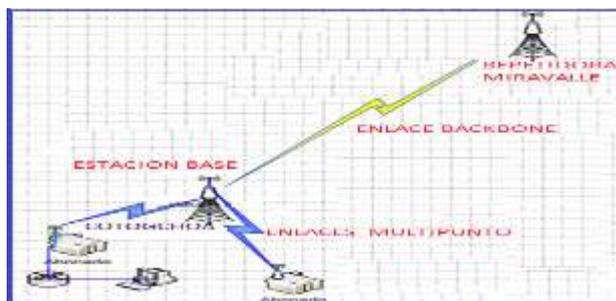


Figura 3. 9. Esquema de última milla.

Elaborado por: El Autor

Los dispositivos de la red de abonado se constituyen por el equipo de transmisión inalámbrico y el encaminador (*router*) de abonado. Este último será la puerta de acceso a Internet para cada uno de los clientes del ISP. Este equipo *encaminador* debe ser *Dual Stack* con el fin de que se pueda manejar direcciones de datos tanto de IPv4 como de IPv6.

En la figura 3.23 se indica el modelo de servicio de acceso para el abonado final.



Figura 3. 10. Red de Abonado.
Elaborado por: El Autor

Direccionamiento IP.

Para el presente proyecto se utilizará el Protocolo de Internet (IP o *Internet Protocol*) versión 4 o IPv4.

IPv4 es la versión 4 del Protocolo de Internet y constituye la primera versión de IP que es implementada de forma extensiva. **IPv4** es el principal protocolo utilizado en el Nivel de Red del Modelo TCP/IP para Internet.

IPv4 es un protocolo de datos no orientado a conexión que se utiliza para la comunicación entre redes a través de *conmutadores* de paquetes (por ejemplo a través de Ethernet). El mismo presenta las siguientes características:

- Es un protocolo de un servicio de datagramas no fiable (también referido como de *mejor esfuerzo*).
- No proporciona garantía en la entrega de datos.
- No proporciona ni garantías sobre la corrección de los datos.
- Puede resultar en paquetes duplicados o en desorden.

Todos los problemas mencionados se resuelven en el nivel superior en el modelo TCP/IP, por ejemplo, a través de los protocolos **TCP** (**Protocolo** de control de transmisión) o **UDP** (User Datagram Protocol) protocolo de datagramas de usuario.

El propósito principal de **IP** es proveer una dirección única a cada sistema para asegurar que una computadora en Internet pueda identificar a otra.

IPv4 utiliza direcciones de 32 bits (4 Bytes) que limita el número de direcciones posibles a utilizar, 2×10^{32} direcciones únicas. Sin embargo, muchas de estas están reservadas para propósitos especiales como redes privadas,

Multidifusión (*multicast*), otras. Debido a esto se reduce el número de direcciones IP que realmente se pueden utilizar, lo que ha impulsado la creación de **IPv6** (actualmente en desarrollo) como reemplazo para **IPv4** dentro de algunos años.

Asignación de direcciones IPv4.

Para cada nodo se asignará una dirección IP tipo C, ya que se estima que se tendrá como máximo 200 usuarios. Para la red interna y nodos se utilizará IPs fijas y para los clientes se utilizarán cuentas con protocolo PPPoE (*Point-to-Point Protocol over Ethernet* o Protocolo Punto a Punto sobre Ethernet).

De estas 254 IPs se utilizarán 200 IPs para clientes, 54 IPs para antenas, enlace principal y reservas. El sistema de administración se encargará de asignar los diferentes planes y compartición de los clientes.

En la tabla 3.18 se presenta un esquema para la asignación de redes a las VLANs del ISP.

Tabla 3. 14. Esquema de asignación de direcciones IP.

ISP IPv4				
No .	Red / AP / Backbone	Prefijo	Descripción	No. dispositivos
1	192.168.20.0/ 24	32	VLAN de servidores de aplicaciones	Hasta 254
2	192.168.30.0/ 24	32	VLAN de servidores de administración	Hasta 254
3	192.168.40.0/ 24	32	VLAN de servidores de conectividad externa	Hasta 254
4	192.168.50.0/ 24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Pintag)	Hasta 254
5	192.168.60.0/ 24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo La Merced)	Hasta 254
6	192.168.70.0/ 24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Alangasi)	Hasta 254
7	192.168.80.0/ 24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Guangopolo)	Hasta 254
8	192.168.90.0/ 24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo San Pedro de Taboada)	Hasta 254
9	192.168.100.0 /24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Cococoto)	Hasta 254
10	192.168.110.0 /24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Cuendina)	Hasta 254
11	192.168.120.0 /24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Cotogchoa)	Hasta 254
12	192.168.130.0 /24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Rumipamba)	Hasta 254
13	192.168.140.0 /24	32	VLAN de dispositivos de acceso (nodo Amaguaña)	Hasta 254
14		32	VLAN de plan 3 Mbps	Se les asigna en cada nodo a los clientes.
15		32	VLAN de plan 4 Mbps	
16		32	VLAN de plan 5 Mbps	

Elaborado por: Autor

En la red del abonado está considerado direccionamiento tráfico IPv4.

3.20. Requerimientos de los equipos

Encaminador (Router) de borde

De acuerdo al modelo jerárquico de red este equipo conectará la red interna del ISP con el exterior, por lo tanto, manejará gran cantidad de tráfico proveniente de las capas inferiores. A continuación, se describen las características del equipo con el que se logra un eficiente funcionamiento:

- Modelo CCR1009-7G-1C-1S+PC.
- 7 Puertos Ethernet 10/100/1000.
- 1 GHz de frecuencia nominal del CPU.
- RAM de 2GB.
- SmartCard slot.
- Sistema de operación RouterOS Licencia nivel 6.
- Voltaje de entrada 18V-56V.
- Puerto serie RS232.
- Puerto USB

Conmutador (Switch) concentrador de acceso

Se considera un conmutador (*switch*) de capa 3 donde la principal característica es *Dual Stack* ya que convergen las redes IPv4 inicialmente y en un futuro IPv6. Cabe indicar que este equipo realizará la encapsulación y desencapsulación del tráfico proveniente del núcleo, capa de acceso y distribución del ISP. A continuación, se indica algunas de sus principales características:

- Modelo CRS328-24P-4S+RM.
- 24 Puertos Gigabit Ethernet.
- 4 puertos SFP para fibra óptica.
- Sistema de operación SwOS.
- Voltaje 100-240Vac.
- Máxima potencia de consumo 44 W.

Conmutadores de acceso

Se considera que estos equipos manejarán tráfico proveniente de los enlaces *backbone* y de los equipos de acceso inalámbrico de los clientes. Razón por la cual se indica sus principales características:

- Modelo CSS326-24G-2S+RM.
- 24 Puertos 10/100/1000 Ethernet.
- 2 Puertos SFP para fibra óptica.
- Sistema de operación SwOS
- Voltaje de entrada 12 V- 30 V.
- Máxima potencia de consumo 19W.

Firewall

Un *firewall* o *cortafuegos*, es un elemento informático que trata de bloquear el acceso exterior a una red privada conectada a Internet, a usuarios no autorizados. Por tanto, se centra en examinar cada uno de los mensajes que entran y salen de la red para obstruir la llegada de aquellos que no cumplen con unos criterios de seguridad, al tiempo que da vía libre a las comunicaciones que sí están reglamentadas.

El *firewall* se sitúa en el punto de unión entre Internet y un ordenador o red de ordenadores. Su funcionamiento se basa en controlar toda la información y el tráfico que, a través del *encaminador* se transmite de una red a otra. Si, al efectuar un rápido análisis, considera que dichos datos cumplen unas reglas de seguridad y protocolo estos podrán entrar en la red privada; pero, en caso contrario, de que no satisfagan las normas, el *firewall* se encarga de bloquear el acceso de ese usuario o información no fiable.

Para el diseño se considera por un lado físicamente (*hardware*) y por otro de forma intangible (*software*). Donde el *firewall* de hardware se hallará instalado en el *encaminador* de borde que se emplea para acceder a Internet y por tanto sirve para proteger a todos los ordenadores de una red que hagan uso del mismo. El *firewall* de *software* que viene con el sistema operativo del ordenador y por tanto, en este caso, tan sólo protege un equipo y no todos los que integran una red. Este

se ocupa de rastrear el tráfico para bloquear aquél que no está autorizado. A continuación, se indican algunas de sus características técnicas:

- Puertos 10/100/1000 Ethernet.
- 2 Puertos USB.
- Alimentación AC 100/240 V.
- 10 000 conexiones por segundo.
- RAM 512 GB.
- Las demás características del equipo serán indicadas en anexos.

Servidores

Cabe indicar que los servidores tienen un rol importante en cuanto a los servicios que se quieran prestar en un ISP, razón por la cual se elige un hardware y un software que permitan la fiabilidad y disponibilidad de cada uno de los servicios que se brindarán.

Adicionalmente se indica la capacidad mínima, para los distintos tipos de servidores que se consideran en el presente diseño.

Elección del software

El software que se utiliza en el presente diseño es basado en Sistema Operativo Linux la misma que tiene ciertas ventajas indicando las siguientes:

- Su desarrollo es uno de los ejemplos más prominentes de software libre.
- Su código fuente puede ser utilizado, modificado y redistribuido libremente.
- Distribuciones con núcleo denominado Linux, el mismo incluye diferentes tipos de paquetes de software de acuerdo a las necesidades de un grupo específico de usuarios, ya sean domésticos, empresariales y para servidores.

Para el presente diseño se utiliza la distribución CentOS 7, indicando ciertas características:

- Estabilidad: CentOS se ha desarrollado de forma continua con el fin de ofrecer la plataforma perfecta para el software más reciente. En este proceso no se pierde de vista al aspecto de la compatibilidad con las aplicaciones más antiguas. Cada paso en el desarrollo orientado al futuro siempre se hace

pensando en garantizar la estabilidad de los componentes activos. Además, este sistema convence con un gran rendimiento en cuanto a la virtualización (basada en KVM o máquina virtual basada en el núcleo) y con una alta disponibilidad, siendo esta la principal razón por la que esta distribución da la talla en el funcionamiento de servidores en la nube y de virtualización.

- Seguridad: este aspecto es hoy día más importante que nunca, con lo que CentOS como solución corporativa basada en RHEL representa la mejor elección. Gracias a la detección proactiva de vulnerabilidades por parte del equipo de seguridad de Red Hat, su código fuente subyacente cuenta con un elevado nivel en seguridad. Además, a la hora de integrar nuevos programas o actualizar CentOS, la comprobación de la seguridad y de errores tienen prioridad.
- Ciclos largos de mantenimiento y soporte: CentOS también se ha ocupado de las directrices para el periodo de soporte técnico: está previsto un soporte general de hasta 7 años y un suministro de hasta 10 años de actualizaciones de seguridad (hasta la versión 5.0 eran solo 4 y 7 años).
- La actual versión 7.0 de CentOS se basa en el núcleo de Linux 3.10.0, incluyendo la extensión de seguridad mencionada anteriormente SELinux, y ha implementado GCC (GNU Compiler Collection). Esta colección contiene el compilador para los lenguajes de programación más importantes, como por ejemplo C, C++ y Java.
- Esta distribución de Linux también es compatible con Hyperthreading (la división de un procesador en dos procesadores virtuales para aumentar el rendimiento), Plug and Play, Bluetooth y la sexta versión del Protocolo de Internet (IPv6).
- Para las versiones anteriores de CentOS 5 y 6 existen bibliotecas de compatibilidad.
- El paquete estándar de la distribución también incluye los siguientes componentes de software:
 - Servidor web: httpd 2.4.6 (Apache).
 - LAN Manager: Samba-4.1.x.
 - Base de datos: MariaDB 5.5.x, PostgreSQL 9.2.x.
 - Lenguaje de script: PHP 5.4, Python 2.7, Perl 5.16.3.

- Interfaz de escritorio: Gnome 3.14, KDE 4.14.
- Servidor de pantalla: X.org 7.7.
- Cliente de correo electrónico: Evolution 3.12, Thunderbird 45.
- Navegador web: Firefox 45.
- Office Suite: LibreOffice 4.3.7.

Servidor de correo electrónico

Un servidor de correo es una aplicación de red de computadoras ubicada en un servidor de Internet, para prestar servicio de correo electrónico (“*e-mail*”). De forma predeterminada, el protocolo estándar para la transferencia de correos entre servidores es el Protocolo Simple de Transferencia de Correo (*Simple Mail Transfer Protocol*, SMTP).

Para el presente proyecto se considera un servidor de correo electrónico el cual garantice la comunicación de cada uno de los usuarios con el exterior de manera confiable. Razón por la cual se indican algunos de los servicios básicos que debe tener el servidor de correo electrónico para los clientes del ISP:

- Acceso a las cuentas de correo por medio de programas como Microsoft Outlook, Eudora, Thunderbird o desde aplicaciones para dispositivos móviles.
- Control del Spam, rechazando conexiones de cualquier red que haya sido declarada como insegura.
- Los correos locales, se envían rápidamente agilizando la comunicación y compartiendo la información de forma fácil y segura.

En el presente proyecto se eligió el software Zimbra para cumplir las características de un servidor de correo electrónico, él mismo de código libre e implementado bajo el sistema operativo CentOS en su versión 7.

Además, se define la capacidad de disco duro para el almacenamiento de cuentas de usuario, dependiendo del número de cuentas y el almacenamiento que se asignara a cada cuenta, donde los usuarios son residenciales y se asume que solo el 30 % de los mismos solicitan la misma. Considerando lo indicado se establece

proporcionar un espacio de 50 Mega Bytes MB como capacidad de almacenamiento para que cada cliente pueda guardar sus correos.

El software Zimbra y su sistema operativo necesita de un espacio de 5 Giga Bytes GB para su funcionamiento, con estas consideraciones se realiza el cálculo del tamaño del disco duro necesario el cual se indica en la tabla 3.19.

Tabla 3. 15. Capacidad requerida para el servidor de correo.

Año	Número de abonados	Capacidad del disco
2018	600	05 GByte (ZCS) + 30 GByte = 35 GByte
2019	607	35 GByte
2020	614	36 GByte
2021	622	36 GByte
2022	629	36 GByte

Elaborado por: Autor

Servidor WEB

Cómo algunos sitios son altamente demandados, se hace necesario la implementación de un servidor Web en el que se almacenen previamente la información de los sitios altamente visitados. Este servidor permitirá descongestionar los accesos Web fuera del ISP, ya que dicha información podrá ser encontrada en el servidor Web instalado en el ISP para estos fines.

Para el presente diseño se ha elegido el software Apache HTTP Server 2.4 con PHP 5.4. Apache es usado principalmente para enviar páginas Web estáticas y dinámicas en la World Wide Web. Muchas aplicaciones Web están diseñadas asumiendo como ambiente de implantación a Apache, o que utilizarán características propias de este servidor Web. A continuación, se indican algunas de sus características:

- Modular.
- Código abierto.
- Multi-plataforma.
- Extensible.
- Popular (fácil conseguir ayuda/suporte).

A continuación, se define la capacidad del disco duro para alojar las cuentas de usuarios del servidor. Para esto se estima un valor referencial de 125 MByte y tomando en cuenta que solo el 50 % de los usuarios utilizará este servicio. Tiene además el fin de ofrecer capacidades superiores a 125 MByte a los clientes que hagan uso del servicio.

Apache y su sistema operativo necesita un espacio libre de 2 GByte para su funcionamiento. En la siguiente tabla 3.20 se presenta el cálculo del tamaño del disco duro necesario para el crecimiento de los usuarios en los próximos 5 años.

Tabla 3. 16. Capacidad del servidor Web.

Año	Número de abonados	Capacidad del disco
2018	1 000	2 GByte (OS) + 125 GByte = 127 GByte
2019	1 015	126,875 GByte
2020	1 030	128,750 GByte
2021	1 046	130,750 GByte
2022	1 061	132,625 GByte

Elaborado por: Autor

Servidor CACHE

Un servidor proxy o también llamado caché Web, es un equipo dentro de la red que recibe solicitudes HTTP en nombre de un servidor web de origen. La caché consiste en almacenar los objetos que han sido solicitados por el cliente recientemente.

Cualquier navegador que se use, se puede configurar de modo que todas las solicitudes HTTP se dirijan primero al caché web para obtener más rápidamente los objetos, sin necesidad de salir a Internet.

Imagine se abre una página web, lo primero que hace el navegador es establecer una conexión TCP con el servidor proxy y envía una solicitud HTTP para el objeto almacenado en dicho servidor proxy.

Para este proyecto se considera como software de implementación del servidor, la herramienta libre Squid la misma que incluye características como un

nivel de seguridad filtrando el tráfico, cache de consultas DNS y soporte para HTTP, FTP, además es confiable y robusto.

A continuación, se define la capacidad del disco duro para el almacenamiento Web. Para ello se considera que el servidor sea capaz de almacenar 5 000 sitios Web como valor referencial.

Además, se considera que cada sitio Web tiene un promedio de 10 páginas de un tamaño de 312 kByte cada una, por lo que cada sitio Web pesaría alrededor de 3,12 MByte. Tomando en consideración lo anterior se obtiene que la capacidad que debería tener el disco duro del servidor cache es de alrededor de 15,6 GByte.

Servidor DNS

Un servidor DNS, también conocido como servidor de nombres, consiste en un software para servidores que recurre a la base de datos de un DNS para responder a las peticiones que guardan relación con el espacio de nombres de dominio. Como, por regla general, se alojan en hosts dedicados, también se denominan así a los ordenadores que albergan estos programas.

En el presente diseño se considera contar con servidores DNS locales ya que de este modo se pueda resolver las peticiones dentro de la misma red y así acelerar la resolución de nombres.

Con lo cual se implementa un Servidor primario, principal o maestro: se denomina a un servidor DNS primario o maestro cuando guarda la información sobre una zona determinada del espacio de nombres de dominio en su propia base de datos. Y un Servidor secundario o esclavo: cuando la información de un servidor de nombres no procede de los archivos de zona propios, sino que son de segunda o de tercera mano, este servidor se convierte en secundario o esclavo para esta información.

El paquete que se ha escogido para la implementación de este tipo de servicio es BIND (Berkeley Internet Name Domain) que es el servidor DNS más usado en internet en la plataforma Linux.

BIND en su versión 9.2.4 es un sistema multiplataforma que puede ser instalado tanto en Windows como en el sistema Linux. Para este caso se realizará la implementación del servidor bajo el sistema operativo CentOS 7.

Servidor de administración

Aquí se considera que en este servidor se instalará el software y aplicaciones necesarias para la administración y monitoreo de la red del ISP. Para el monitoreo se considera el software NAGIOS, siendo un sistema de monitorización de redes ampliamente utilizado, de código abierto, que vigila los equipos (*hardware*) y servicios (*software*) que se especifiquen, alertando cuando el comportamiento de los mismos no sea el deseado. Entre sus características principales figuran la monitorización de servicios de red (SMTP, POP3, HTTP, SNMP...), la monitorización de los recursos de sistemas hardware (carga del procesador, uso de los discos, memoria, estado de los puertos...), independencia de sistemas operativos, posibilidad de monitorización remota mediante túneles SSL cifrados o SSH, y la posibilidad de programar plugins específicos para nuevos sistemas.

En tanto se indican los requerimientos de software que se necesitara para administrar la red:

- Un software que permita realizar gráficos de los componentes que forman parte de la red.
- Un software que genere alarmas, reportes de tráfico y uso de la red.

Controlador de ancho de banda digital

Para el control del ancho de banda digital se considera utilizar el software PRTG que será instalado bajo el sistema operativo CentOS 7, el cual tiene las siguientes características:

- Supervisa el ancho de banda digital.
- Detecta las sobrecargas del ancho de banda digital.
- Mide el ancho de banda digital real disponible a cada uno de los usuarios de acuerdo a la compartición.
- Muestra datos en tiempo real, como las velocidades de carga y descarga, y ayudan a prevenir colapsos en la red.

Finalmente, en lo referente a los servidores se puede indicar que en este diseño se utilizarán 5 servidores, para la implementación de todos los servicios que se consideran en el diseño de la red. Además, para la administración de todos estos servidores se utilizará una consola KVM cuyas características se indican:

- La consola KVM permite controlar el servidor Cloud de forma remota, como si estuviera ante el mismo. Para ello se necesita un navegador compatible con HTML5.
- Puede seguir un proceso de arranque en pantalla e iniciar sesión en el servidor y administrarlo, incluso cuando no haya conectividad de red.

3.21. Equipos de comunicación inalámbrica

Estos equipos se los considera en el diseño tanto en la red de distribución y de acceso del ISP, los cuales brindarán una conexión a cada uno de los clientes y transportarán los datos de los usuarios hacia el núcleo de la red. Razón por la cual se establecen los requerimientos que se indican a continuación.

Nodos secundarios - AP ROCKET M5 AC Lite + ANTENA SECTORIAL 120° 19 dBi

Para los nodos secundarios se escogen los equipos AP (*Access Point*, punto de acceso) de la marca Ubiquiti en la frecuencia de operación 5,8 GHz, configuración amigable, equipos normalizados homologados en la Agencia de Regulación de las Telecomunicaciones, existencia en el mercado.

Para cubrir los 200 clientes por nodo secundario considerado en el diseño se instalará en total 10 AP por estación base, entendiendo que cada uno puede atender a 20 clientes y máximo de 25 según recomendaciones del fabricante.

De acuerdo con (Ubiquiti Networks, 2018), los **AP ROCKET M5 AC Lite** son los siguientes:

- Procesador Atheros MIPS 74Kc.
- Interfaz de red de trabajo 10/100/1000 Mbps.
- Fuerte Seguridad WPA2.
- Frecuencia de operación 5150-5875 MHz

- Potencia de salida 27 dBm.
- Ancho de canal 20,40,50,60,80 MHz configurable.
- Fuente de alimentacion 24V 0,5 A.
- Velocidad 450 Mbps en 80 MHz.

Según, (Ubiquiti Networks, 2018), expresa que la **ANTENA SECTORIAL 120° 19 dBi** posee las siguientes características:

- Modelo AM-5G19-120
- Frecuencia 5,15-5,85 GHz.
- Ganancia 18,6 -19,1 dBi.

Enlaces *backbone* - ROCKET R5AC-LITE + ANTENA PARABÓLICA RD-5G31-AC

Proveerán la comunicación entre los nodos del ISP. Se describe las siguientes características:

(Ubiquiti Networks, 2018), expresa que: **ROCKET R5ac Lite** cuenta con:

- Banda de Frecuencia 5,150 – 5,875 GHz.
- Velocidad Máxima 500 + Mbps (Max. 80 MHz).
- Puertos 10/100/1000 Ethernet.
- Máxima Potencia de Consumo 8,5 W.
- Seguridad WPA2.
- Consumo máximo de energía en 4 horas: 0,034 kW/h

(Ubiquiti Networks, 2018), establece que la **ANTENA PARABÓLICA 31 dBi** posee lo siguiente:

- Modelo RD-5G31-AC.
- Frecuencia 5,1 – 5,8 GHz.
- Ganancia 31 dBi.

Enlace nodo principal y repetidora - ROCKET R5AC LITE + ANTENA PARABÓLICA RD-5G31-AC

Considerando que el ancho de banda digital total necesario para ofertar el servicio con la calidad requerida es de 1 775 Mbps, valor mucho mayor que el que permite un solo enlace de radio WiFi, se hace necesario un enlace por fibra óptica entre el Nodo Principal de Conocoto y la Repetidora ubicada en Miravalle.

A este enlace se le añade un respaldo por radio con el objetivo de mantener la comunicación con un servicio básico, aunque con velocidad limitada de 500 Mbps, para las operaciones de mantenimiento y eventualidades.

Este enlace de radio se puede realizar por medio del equipo **ROCKET 5AC**, cuyas características se indican a continuación:

- Banda de frecuencia 5,150 - 5,875 GHz.
- Velocidad Máxima 500+ Mbps (Max. 80 MHz).
- Puertos 10/100/1000 Ethernet.
- Máxima potencia de consumo 8,5 W.
- Seguridad WPA2.
- Consumo máximo de energía en 4 horas: 0,034kW/h

ANTENA PARABÓLICA 31 dBi

- Modelo RD-5G31-AC.
- Frecuencia 5,1 – 5,8 GHz.
- Ganancia 31 dBi.

Para el cliente: NANO STATION NSM5 & ENCAMINADOR INALÁMBRICO DIR-611

En lo que respecta al cliente se utilizarán las antenas Nano Station NSM5, indicando las siguientes características:

- Potencia de consumo máximo 8 W.
- Frecuencia de operación 5,170 – 5,875 GHz.
- Puertos 10/100 Ethernet.

- Ganancia 14,6 - 16,1 dBi.
- Consumo máximo de energía en 4 horas: 0,032 kW/h

ENCAMINADOR INALÁMBRICO DIR-611 (Pchmayoreo, 2018) (D Link Corporation, 2018)

- Interface inalámbrica N 300, 2 puertos LAN 10/100, 1 Puerto WAN 10/100.
- 2 antenas externas de 5 dBi.
- Estándar IEEE 802.11n/g/b
- Sistemas de requerimientos Windows 10/8.1/8/7/vista/XP SP3.
- Seguridad WPA –WPA2.

En casas cercanas se colocará una Nano Station y swich capa 3 para distribuir el internet por cable y en el punto final un router WiFi para habilitar al usuario.

3.22. Equipos de respaldos eléctricos en los nodos

Se considera que no se presentara interrupciones en los servicios que brindara el ISP ,para lo cual se considera la instalación de fuentes de energía o UPS en cada uno de los nodos ,de tal modo que provean de energía eléctrica a los equipos de comunicación en caso de cortes de energía por parte de la empresa eléctrica. A continuación, se indica ciertas características:

El Ups Forza, es ideal para equipos de misión crítica, como son Servidores, Grabadores o NVR de Video, Racks de comunicación. Especificaciones:

- Control de energía.
- Potencia de salida 2 400 W.
- Fuente de alimentación, frecuencia de entrada 40/70 Hz.
- Máxima corriente 9 A.
- Voltaje de entrada de operación (mínimo) 110 V.
- Regulación de la frecuencia de salida 50/60 Hz.
- Voltaje de operación de salida (mínimo) 110 V.
- Voltaje de entrada de operación (máximo) 120 V.
- Voltaje de operación de salida (máximo) 120 V.
- Capacidad de potencia de salida (VA) 3 000 VA.

- Puertos e Interfaces.
- Cantidad de puertos USB 2.0 1.
- Cantidad de salidas AC 6.
- Ethernet LAN (RJ-45) cantidad de puertos 1.
- Puertos de módem (RJ-11) 1.
- Pantalla LCD.

Batería:

- 12 V, 12 AH

La energía máxima que puede acumular la batería de 12 V 12 Ah de la UPS presentada es de 0,144 kW/h. Considerando que su explotación en modo de respaldo es hasta el límite del 10% de la energía máxima que puede acumular, por esta razón, la energía efectiva de explotación corresponde al 90 % máxima, que este caso sería de 0,1296 kW/h. por lo que la acumulación de energía efectiva es 3,81 veces que la energía requerida en 4 horas por el radio Rocket R5AC-Lite de 0,034 kW/h. por lo que se concluye que cada unidad de radio funcionada con el UPS puede operar en modo de respaldo por un período de tiempo superior a 4 horas.

Finalmente, en la Tabla 3.21 se presenta un resumen de los equipos elegidos para la instalación en la red del ISP.

Tabla 3. 17. Resumen de Equipos.

EQUIPOS DE RED			
EQUIPO	MODELO	CANTIDAD	
Encaminador de Borde	CCR1009-7G-1C-1S+PC	1	
Conmutador de Capa 3	CRS328-24P-4S+RM	3	
Conmutador de Acceso	CSS326-24G-2S+RM	10	
Servidores	HP Poliant DL380 G5	5	
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA			
Backbone	Rocket R5AC-Lite + Antena Parabólica RD-5G31-AC	22	
Radio Bases	Rocket M5AC lite + Antena sectorial 120° 19 dBi Modelo de antena sectorial AM-5G19-120	30	Inicialmente se considera instalar 3 antenas sectoriales por nodo secundario, dando en total 60 clientes por atender.
Estaciones	Nano Station NSM5	600	Inicialmente se considera 60 clientes por cada nodo.
ADMINISTRADORES DE SERVIDORES			
Consola KVM	HP TFT7600 147064001	1	
EQUIPOS DE RESPALDO ELÉCTRICO			
UPS	Ups Forza Atlas 3 kVA	16	
BATERÍAS	Universal 12 V-12 AH	16	

Elaborado por: Autor

3.23. Descripción de la zona de cobertura

El Valle de los Chillos es una región de tierras cálidas ubicada en la parte sur oriental de la ciudad de Quito. Cuenta con dos administraciones municipales; la administración zonal Los Chillos que corresponde al municipio de Quito y la administración municipal del Cantón Rumiñahui. Su población total supera los 300 000 habitantes entre parroquias urbanas y rurales.

El valle se encuentra a 45 minutos del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre lo que la convierte en un punto favorable para el turismo. La zona rodeada de nevados, ríos, cerros, cascadas y lagunas se convierte en un enlace entre la ciudad y la naturaleza que atrae a los habitantes de la zona urbana de Quito y extranjeros.

La infraestructura hotelera cuenta desde hoteles de lujo hasta cuartos de renta por días, también con haciendas turísticas que sirven de hoteles en medio de la naturaleza en las afueras del Valle de los Chillos.

Además del turismo otra actividad principal es la producción de todo tipo granos, en especial el maíz el cual es exportado. Por lo que está en constante crecimiento, razón por la cual la zona de las parroquias rurales del Valle de los Chillos tiene un gran atractivo para empresas que buscan invertir en servicios de telecomunicaciones.

El presente proyecto está enfocado en proporcionar una red que pueda brindar calidad de servicio a abonados residenciales con necesidades básicas de interconexión a Internet, sin embargo, también se podrá brindar servicios a clientes corporativos con mayores necesidades de conexión como fábricas, haciendas, otros.

Con el fin de brindar el mayor servicio a la mayor parte de la zona se realiza una visita técnica a los diferentes sitios donde se escoge puntos estratégicos desde los cuales se tiene un amplio panorama del Valle de los Chillos, sus parroquias rurales y alrededores. Los sitios a considerar en el presente diseño son: Repetidora ubicada en San Luis de Miravalle, y los otros puntos se han denominado según el sector en que se encuentran, nodo principal Conocoto, nodos secundarios Pintag, La Merced, Alangasi, Guangopolo, San Pedro de Taboada, Cuendina, Cotogchoa, Rumipamba, Coconoto y Amaguaña.

Las figuras 3.11 y 3.12 muestran una panorámica del Valle de los Chillos y sus parroquias rurales con diferentes ángulos de vista y tomadas desde el punto donde se encuentra la Repetidora de San Luis de Miravalle.



Figura 3. 11. Panorámica de las parroquias rurales del Valle de los Chillos vista desde el repetidor ubicado en San Luis de Miravalle.

Elaborado por: El Autor



Figura 3. 12. Panorámica de las parroquias rurales del Valle de los Chillos vista desde el repetidor ubicado en San Luis de Miravalle.

Elaborado por: El Autor

3.24. Determinación del marco de muestreo

La determinación del marco muestral y el tamaño de la muestra indica los subgrupos de todos los miembros de una población de interés. Para la aplicación de la encuesta se elige el método de muestreo aleatorio por conglomerados y se ha segmentado la población de las parroquias rurales que se encuentran dentro del perímetro de 2 km de radio en los diferentes sitios y puedan adquirir y costearse el servicio sin problemas.

En este caso el marco de muestreo vendría dado por el radio de cobertura y sus calles referenciales de la población en los diferentes sitios de las parroquias rurales del Valle de los Chillos.

En la figura 3.13 se muestran las zonas de las diferentes parroquias rurales donde se encuentra el marco de muestreo.

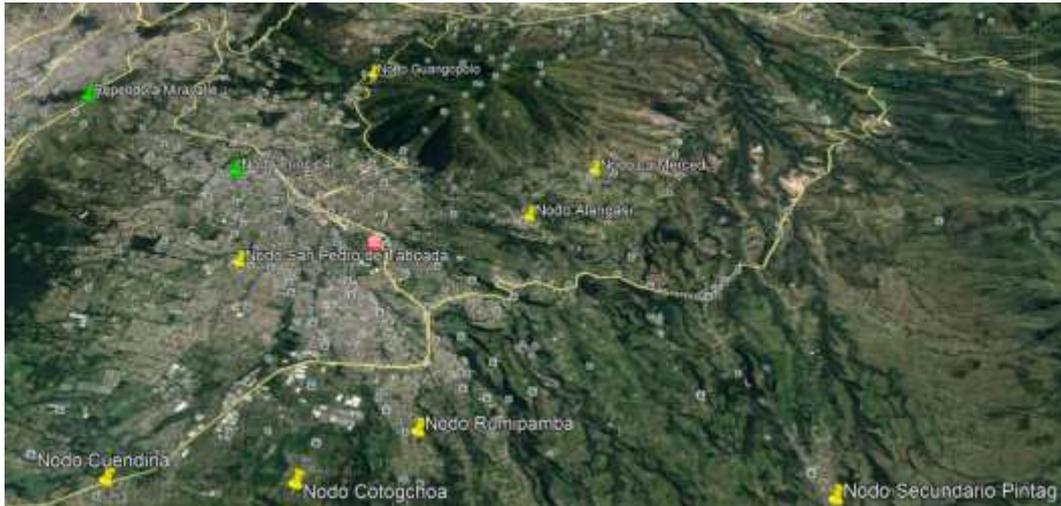


Figura 3. 13. Ubicación de los nodos en las parroquias rurales donde se encuentra el marco de muestreo.

Elaborado por: El Autor

En la figura 3.14 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para el estudio en el sitio Pintag.

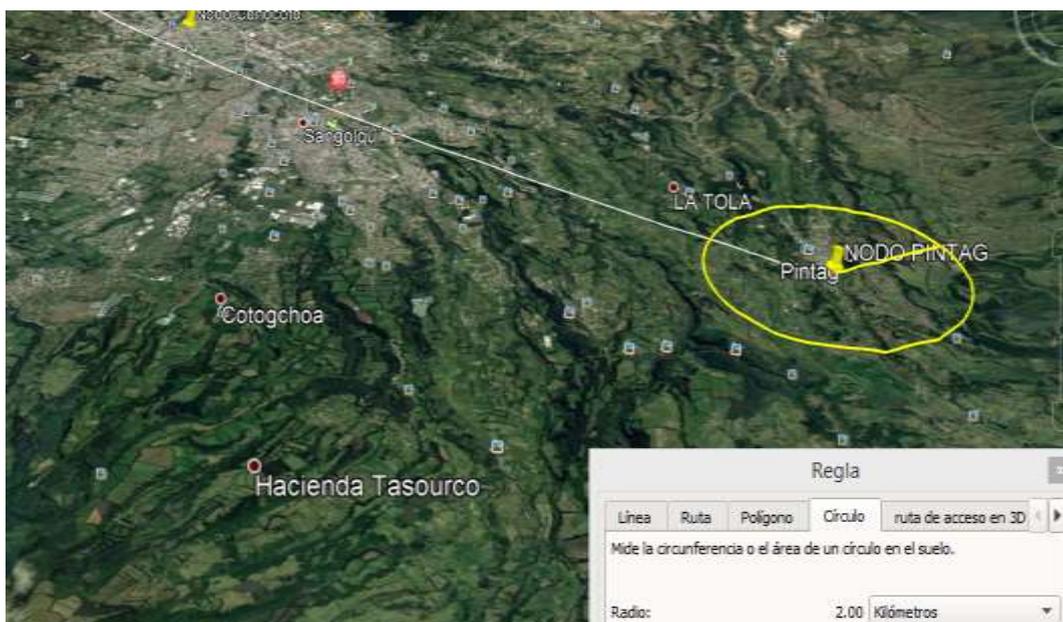


Figura 3. 14.Zona de cobertura del sitio Pintag del Valle de los Chillos.

Elaborado por: El Autor

En la figura 3.15 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio La Merced.

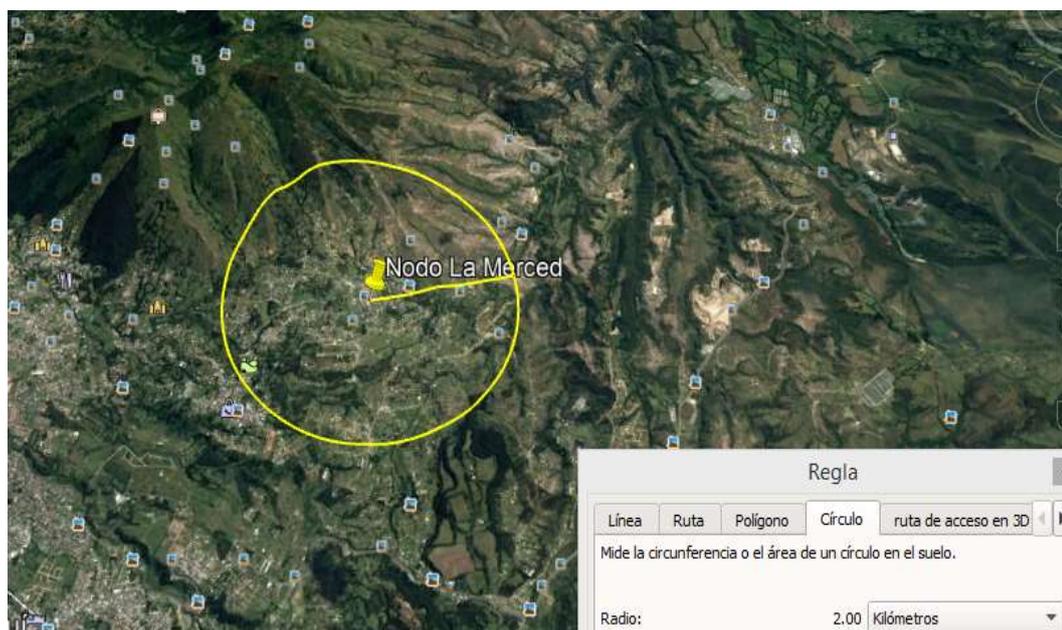


Figura 3. 15. Zona de cobertura del sitio La Merced del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.16 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio Alangasi.

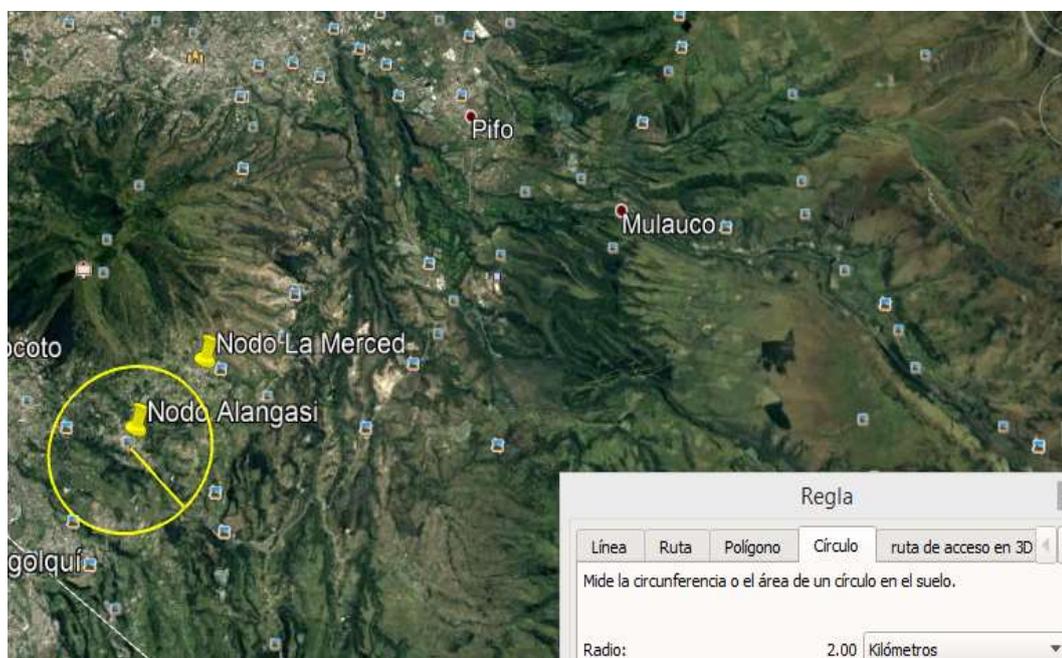


Figura 3. 16. Zona de cobertura del sitio Alangasi del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.17 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio Guangopolo.

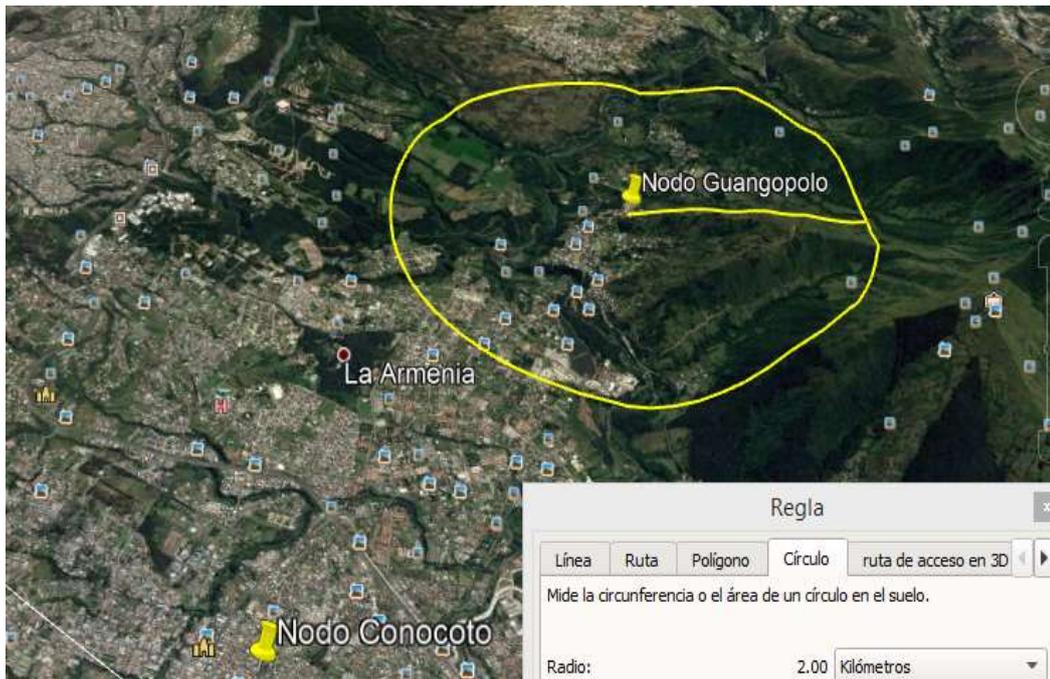


Figura 3. 17. Zona de cobertura del sitio Guangopolo del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.18 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio San Pedro de Taboada.

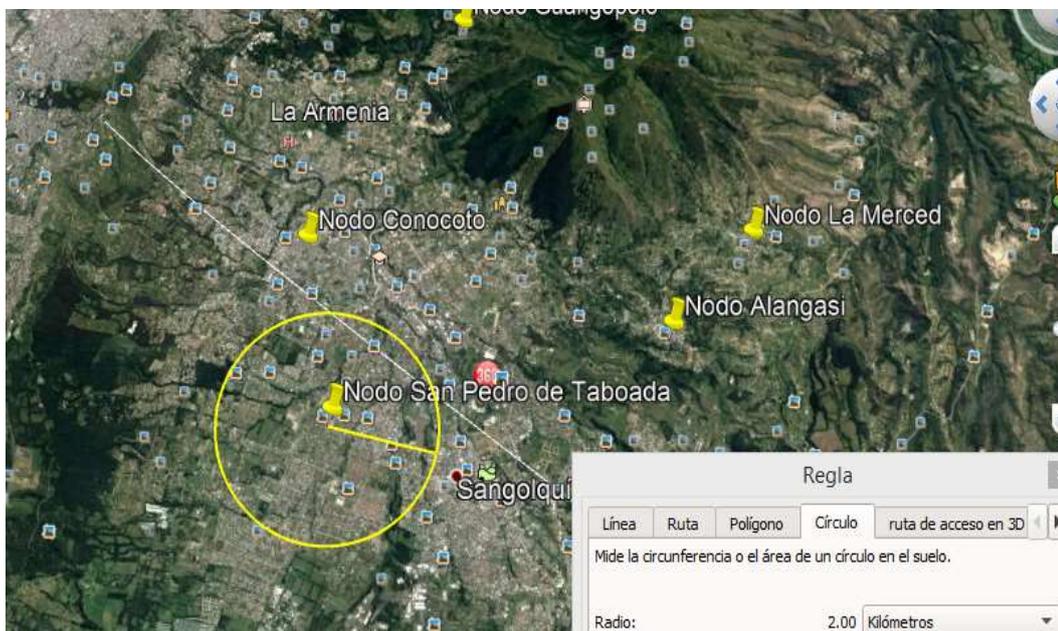


Figura 3. 18. Zona de cobertura del sitio San Pedro de Taboada del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.19 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio Cuendina.



Figura 3. 19. Zona de cobertura del sitio Cuendina del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.20 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio Cotogchoa.



Figura 3. 20. Zona de cobertura del sitio Cotogchoa del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.21 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio Rumipamba.

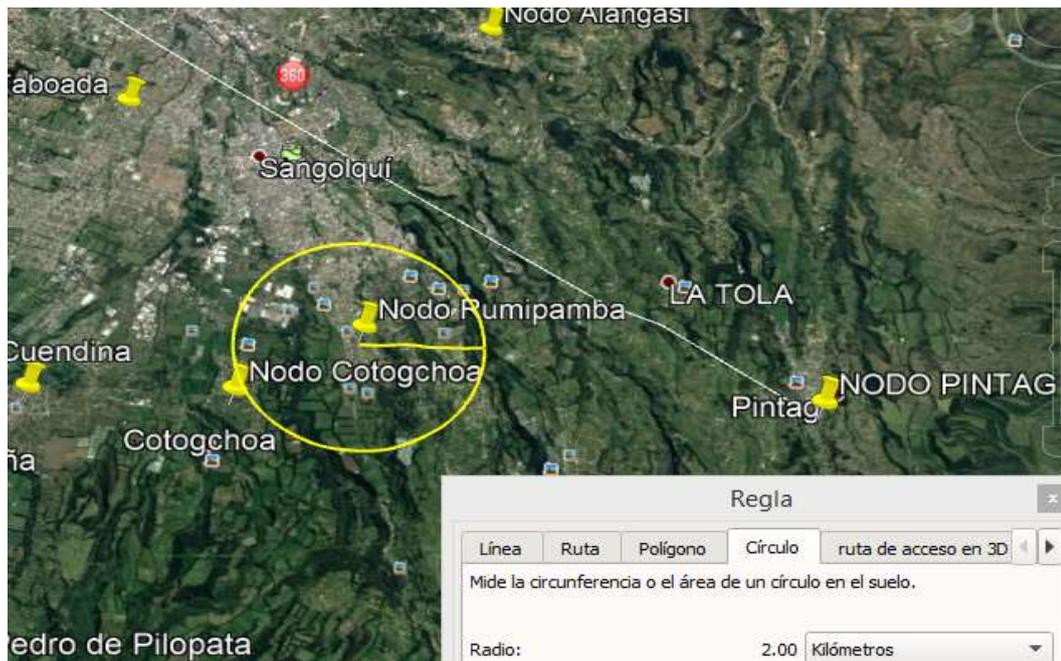


Figura 3. 21. Zona de cobertura del sitio Rumipamba del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.22 se presenta la zona de cobertura que conforma el marco de muestreo para este estudio en el sitio Amaguaña.

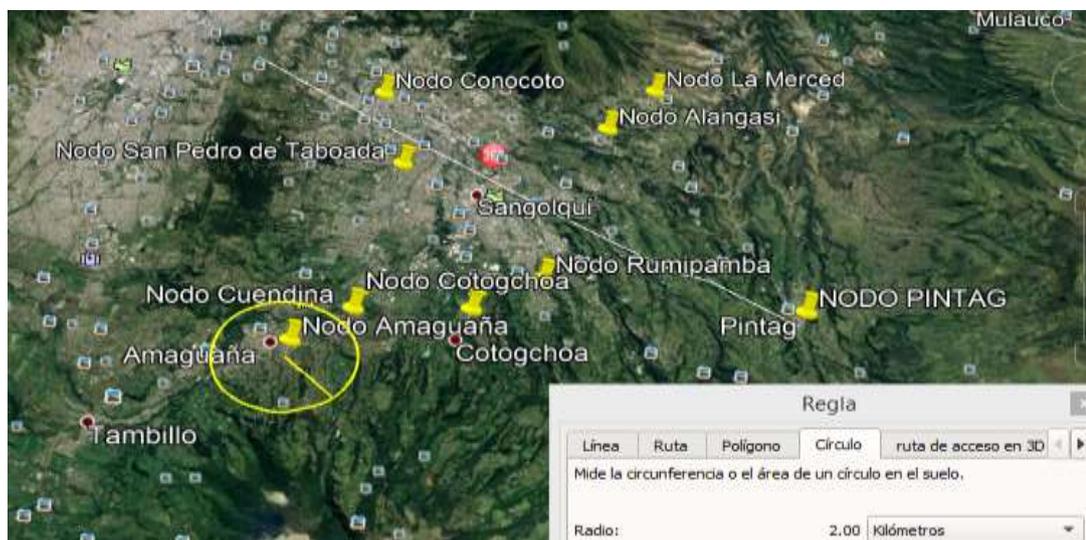


Figura 3. 22. Zona de cobertura del sitio Amaguaña del Valle de los Chillos.
Elaborado por: El Autor

Además, se define como unidad de muestreo del estudio a una familia de cada sector, por no ser necesario encuestar a cada uno de los integrantes de esta.

Capítulo 4: Resultados, presupuesto

4.1. Presentación y resultados de la encuesta

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas para el dimensionamiento del ISP.

En la tabla 4.1 se muestran los resultados referentes a la frecuencia con que se usa Internet entre los encuestados respectivamente.

Tabla 4. 1. Porcentaje de personas según la frecuencia de uso de Internet.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Una vez por semana	10	6,67
Diariamente	120	80,00
De 2 - 5 veces por semana	20	13,33
Total	150	100,00

Elaborado por: Autor

De acuerdo con los datos obtenidos se observa que hay gran uso de los servicios de Internet entre los habitantes de las parroquias rurales del Valle de los Chillos (80 %). Por lo tanto se estima de quien realizare la implementación del proyecto tendría una gran acogida.

En la tabla 4.2 se muestran los resultados referentes al lapso de tiempo que utilizan los usuarios el Internet por sesión respectivamente.

Tabla 4. 2. Porcentaje de personas según el tiempo de uso de Internet.

Opción	Respuestas	Por ciento %
0-15 min	25	16,67
15-60 min	115	76,67
Más de 60 min	10	6,67
Total	150	100,00

Elaborado por: Autor

Se observa que la mayor cantidad de la población (76,67 %) utiliza el Internet entre 15 y 60 minutos, interpretando que este porcentaje de población no cuenta con conexión en sus hogares, y debido a esto la limitación de tiempo.

En la tabla 4.3 se muestra los resultados referentes al lugar en el que suelen utilizar los servicios de Internet respectivamente.

Tabla 4. 3. Porcentaje de personas según el lugar al que acceden a Internet.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Hogar	25	15,53
Cibercafé	115	71,43
Trabajo	10	6,21
Lugar de estudio	11	6,83
Total	161	100,00

Elaborado por: Autor

Se observa en los resultados que la mayor cantidad de encuestados (71,43%) acceden al Internet en un cibercafé, indicando que el porcentaje para cada ítem calculado es con respecto al número total de respuestas y no al número de personas encuestadas.

En la tabla 4.4 se muestran los resultados referentes a los servicios frecuentemente usados de Internet respectivamente:

Tabla 4. 4. Servicios frecuentemente usados del Internet.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Chat	95	17,6
Correos	50	9,3
Redes sociales	115	21,3
Búsqueda de información	95	17,6
Descarga de archivos	60	11,1
Descarga de música	66	12,2
Ver videos	45	8,3
Video conferencia	14	2,6
Total	540	100,0

Elaborado por: Autor

Los resultados y el porcentaje para cada ítem calculado son con respecto al número total de respuestas y no al número de personas encuestadas. En este se demuestra que el mayor servicio visitado son los correspondientes al de las redes sociales, los cuales demandan poco ancho de banda, en cambio, los que demandan servicios de mayor ancho de banda en mucho menor en un 8,3 % y 2,6 %.

En la tabla 4.5 se muestra los resultados referentes a la disponibilidad de un computador personal entre los encuestados respectivamente.

Tabla 4. 5. Porcentaje de personas que disponen de un computador en el hogar.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Si	145	96,7
No	5	3,3
Total	150	100,0

Elaborado por: Autor

De los resultados se aprecia un alto porcentaje de disposición de un computador en el hogar, 96,7 %, debido a que estos serían los mayores candidatos a contratar una conexión de Internet para el hogar.

En la tabla 4.6 se muestran los resultados referentes a la disponibilidad de Internet en los hogares respectivamente.

Tabla 4. 6. Porcentaje de personas que disponen de Internet en el hogar.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Si	35	23,3
No	115	76,7
Total	150	100,0

Elaborado por: Autor

De acuerdo con los resultados la mayor cantidad de personas (76,7 %) no cuentan con el servicio de Internet en el hogar, esto hace que estas personas se conviertan en el mercado potencial de este servicio.

En la tabla 4.7 se muestran los resultados referentes al tipo de conexión a Internet que disponen los usuarios en los hogares respectivamente.

Tabla 4. 7. Porcentaje de personas según el tipo de conexión a Internet que disponen.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Dialup	27	77,1
Banda ancha	8	22,9
Total	35	100,0

Elaborado por: Autor

Estos porcentajes fueron contestados por las personas que tienen disponibilidad a Internet. El mayor porcentaje de los usuarios, 77,1 %, tienen una conexión de muy baja velocidad, por lo que se convierten en alto potencial del servicio a brindar.

En la tabla 4.8 se muestra los resultados referentes a la calidad del servicio de Internet brindados por otros proveedores respectivamente.

Tabla 4. 8. Calidad del servicio de Internet actual según encuestados.

Opción	Respuestas	Por ciento %
Excelente	2	5,71
Bueno	4	11,43
Regular	23	65,71
Malo	6	17,14
Total	35	100,0

Elaborado por: Autor

Se observa que el mayor porcentaje de Internet es regular, 65,71 %, razón por la cual estos se convierten en potenciales clientes al mejorar el servicio.

En la tabla 4.9 se muestra los resultados referentes al tipo de paquete de Internet que estarían dispuestos a contratar respectivamente.

Tabla 4. 9. Porcentaje de encuestados según el paquete de Internet ofrecido.

Opción	Respuestas	Por ciento %
20 USD/ 3 Mbps	50	33,33
25 USD/ 4 Mbps	30	20,00
35 USD/ 5 Mbps	20	13,33
50 USD/ 6 Mbps	20	13,33
No contrataría	30	20,00
Total	150	100,00

Elaborado por: Autor

En esta tabla se indican los paquetes de Internet que actualmente proveen los proveedores de Internet. La pregunta empleada para la confección de esta tabla es de mucha importancia debido a que ayuda a estimar la demanda inicial del servicio que tendría el ISP. Con los cálculos de la demanda inicial se realiza el dimensionamiento de la red, que tendrá el ISP previa proyección a 5 años.

Adicionalmente con los resultados obtenidos se indica que consumo de Internet, de la población de las parroquias rurales del Valle de los Chillos, va orientado a la educación y comunicación mediante redes sociales, por lo que se necesita un acceso a Internet con buena calidad de servicio, siendo imprescindible en la vida actual.

En la tabla 4.10 se determinan la cantidad de usuarios por tipo de servicios, en función de los datos revelados a partir de la encuesta. Este cálculo es en relación a los 2000 usuarios teóricos iniciales. Luego se determina en función de los 600 usuarios reales iniciales que se le podrán brindar el servicio de acuerdo con el equipamiento que inicialmente se podría adquirir y mostrado en la tabla 3.21.

Tabla 4. 10. Costo de operación anual de enlaces de radio.

TIPO SERVICIO	ENCUESTADOS		CANT. USUARIOS / 2000	CANT. USUARIOS - 600
3 Mbps	50	41,67%	833	250
4 Mbps	30	25,00%	500	150
5 Mbps	20	16,67%	333	100
6 Mbps	20	16,67%	333	100
	120	100,00%	2000	600

Elaborado por: Autor

4.2. Resultados de la modelación con radio Mobile

A continuación, se indican las simulaciones para los enlaces punto multipunto realizado con el software Radio Mobile. El mismo emplea el modelo Longley-Rice cuyos parámetros son: Banda de frecuencia, se especifican en la tabla de asignación de frecuencias; Polarización dual lineal; Modo de variabilidad Mobile; No se consideran pérdidas adicionales. Para simular el efecto de la superficie terrestre se configuraron los siguientes parámetros: Clima continental templado; 301 de Refractividad de la superficie; 15 de Permitividad; 0,005 S/m de Conductividad.

A partir de los parámetros de la interfaz de radio 802.11 AC se configura el sistema de la siguiente forma:

- Potencia de transmisión: se escoge el valor indicado en las características técnicas de la antena: 27 dBm.
- Sensibilidad del receptor: -84 dBm.
- Tipo de antena: corner.ant.
- Ganancia de la antena: 24 dBi
- Altura de la antena: 12 m.
- Pérdida adicional cable: 0.5 dB/m

En la figura 4.1 y figura 4.2 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Pintag, el cual no presenta obstrucciones en el trayecto y

presenta un nivel de recepción de la señal de $-59,6$ dBm por lo que existe la factibilidad para su implementación.

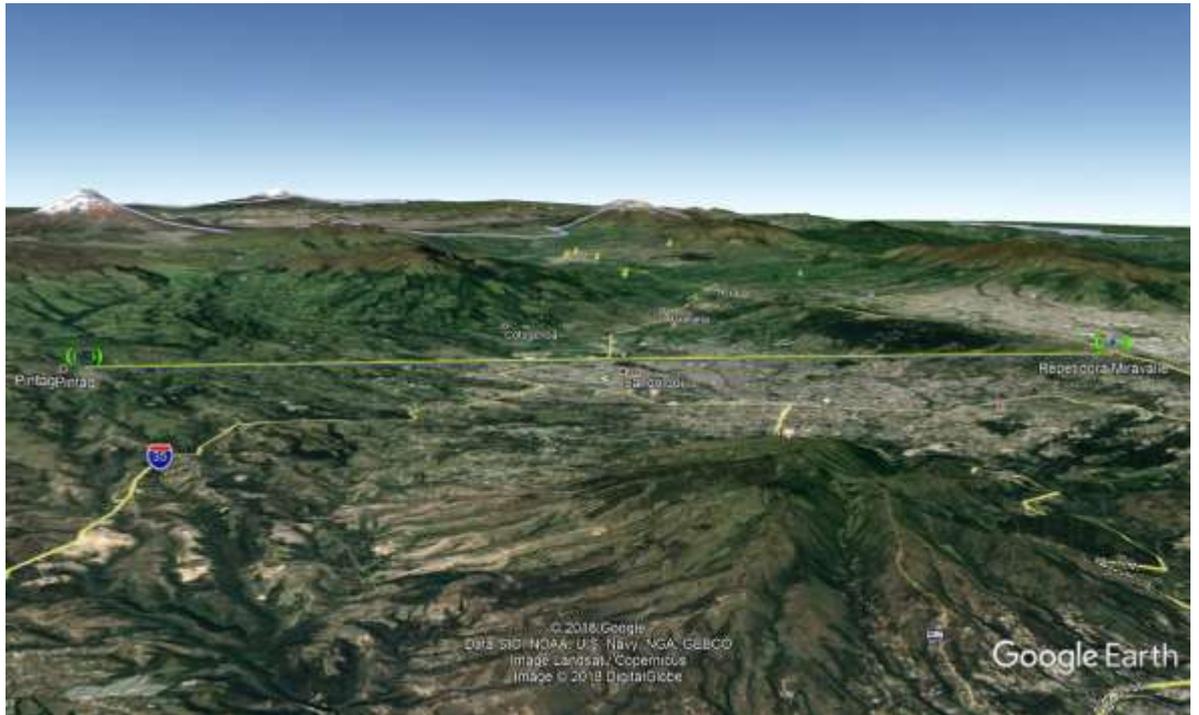


Figura 4. 1. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Pintag.
Elaborado por: El Autor

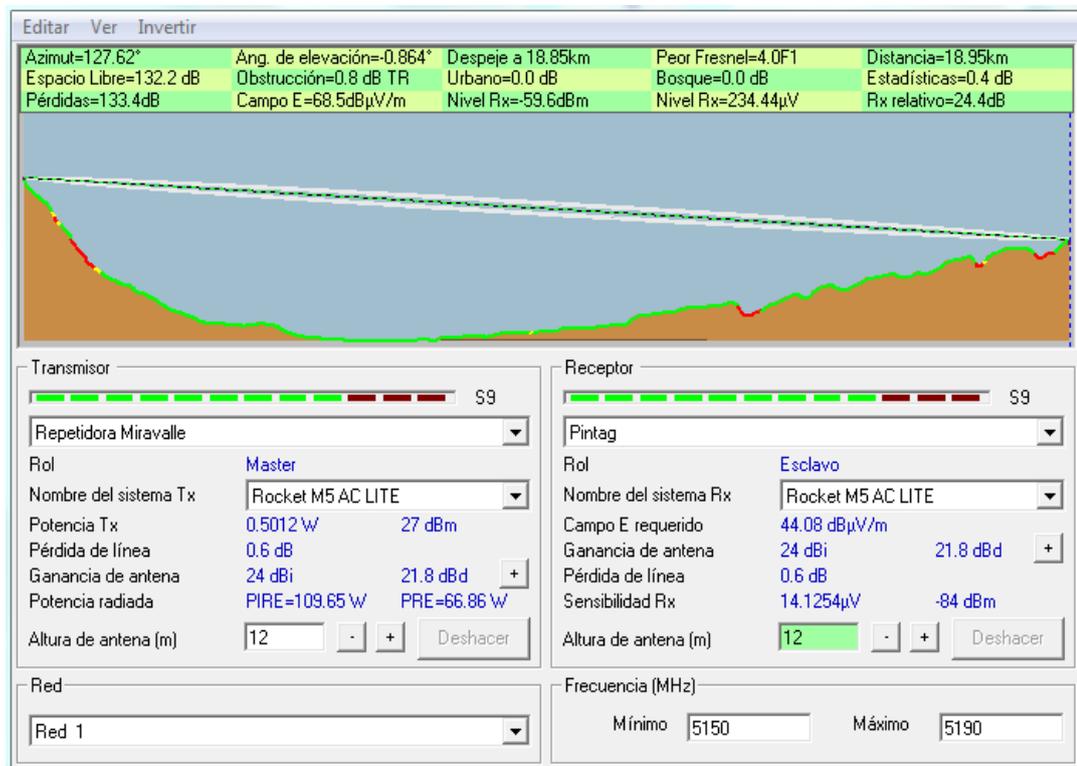


Figura 4. 2. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Pintag.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.3 y figura 4.4 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo La Merced, el cual no presenta obstrucciones en el trayecto

y presenta un nivel de recepción de la señal de $-56,9$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.



Figura 4. 3. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo La Merced.
Elaborado por: El Autor

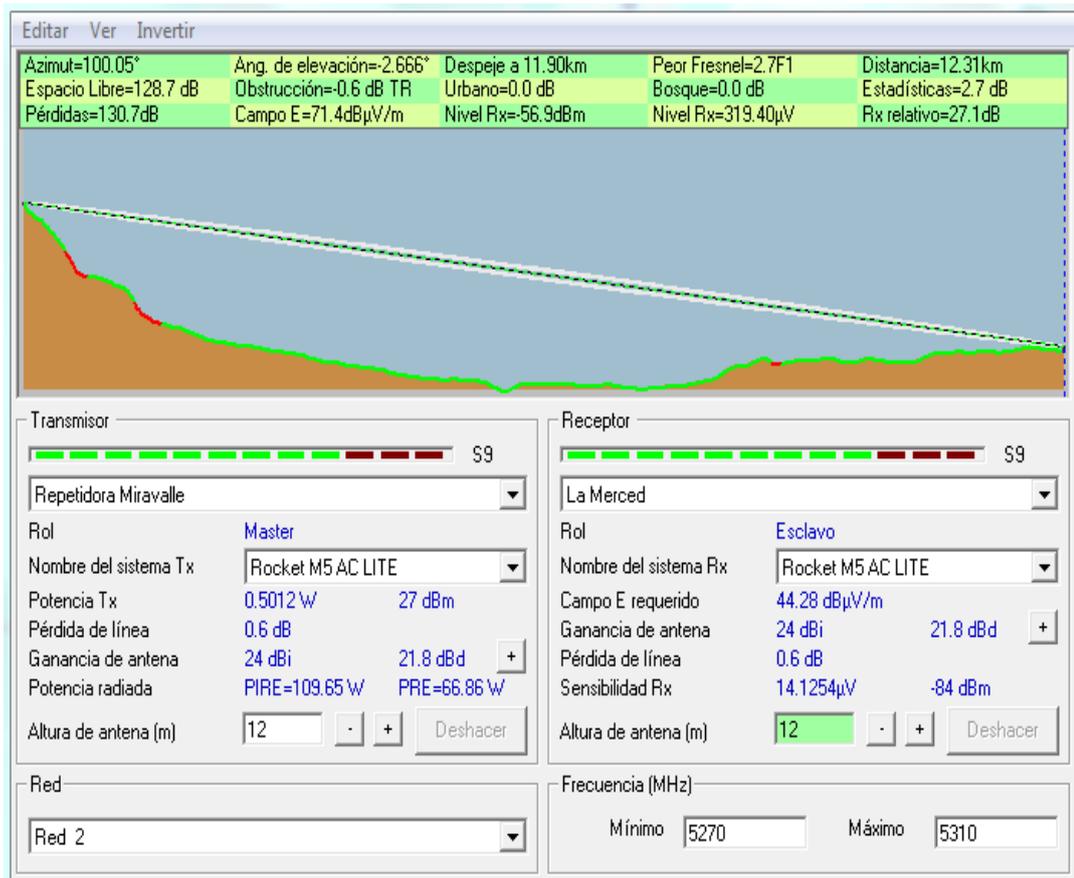


Figura 4. 4. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo La Merced.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.5 y figura 4.6 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Alangasi, el cual no presenta obstrucciones en el trayecto

y presenta un nivel de recepción de la señal de $-58,9$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.

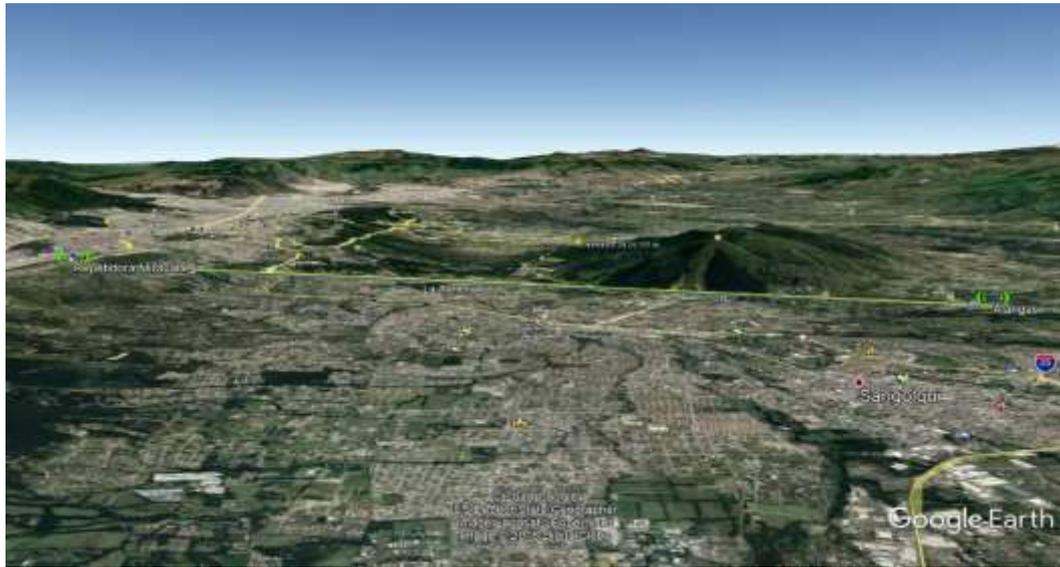


Figura 4. 5. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Alangasi.
Elaborado por: El Autor

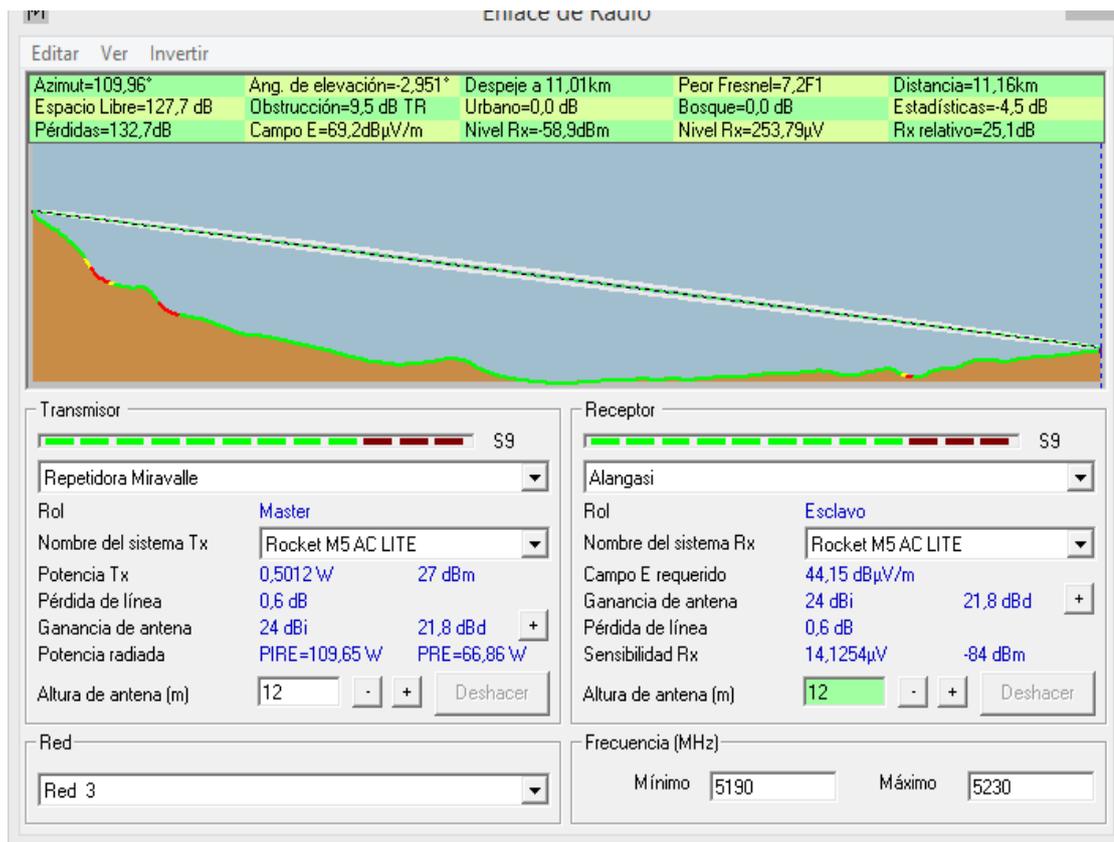


Figura 4. 6. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Alangasi.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.7 y figura 4.8 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Guangopolo, el cual no presenta obstrucciones en el

trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de -50,9 dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.



Figura 4. 7. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Guangopolo.
Elaborado por: El Autor

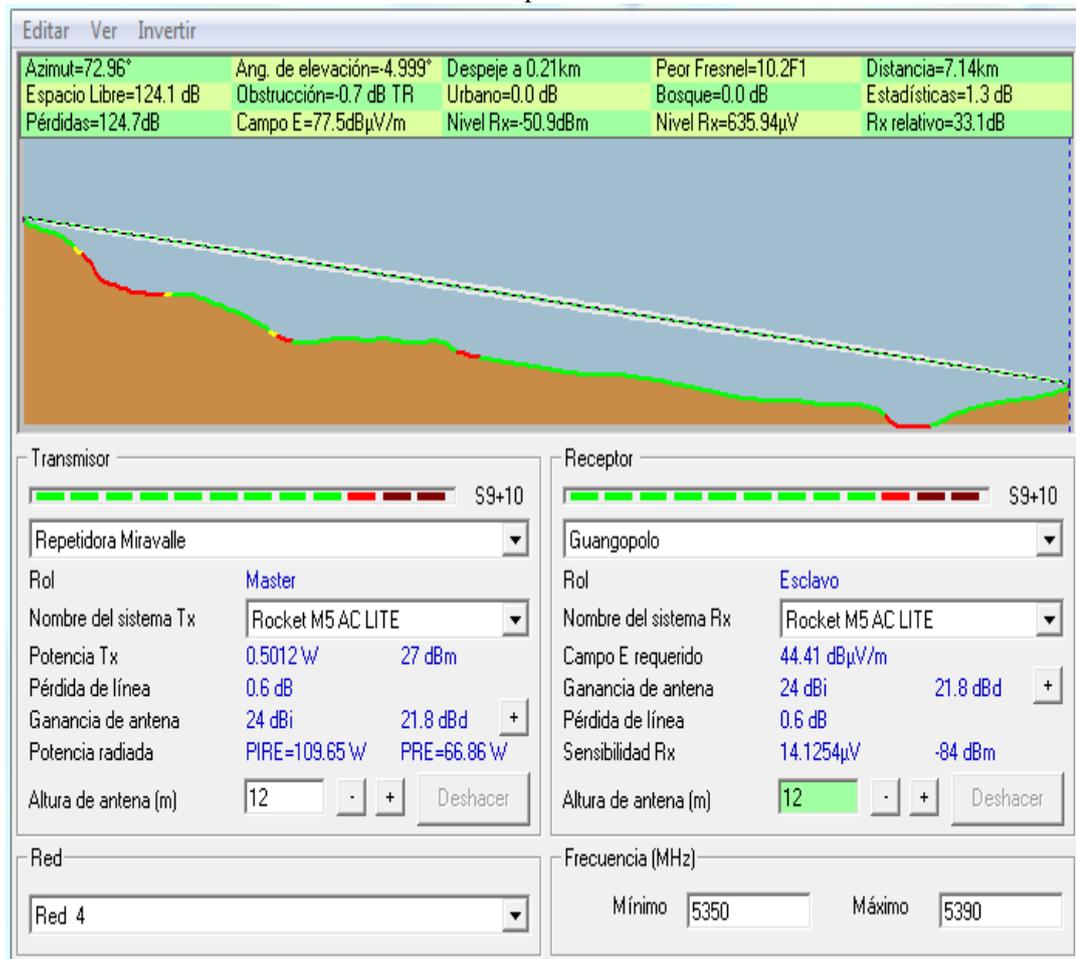


Figura 4. 8. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Guangopolo.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.9 y figura 4.10 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo San Pedro de Taboada, el cual no presenta obstrucciones

en el trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de $-47,3$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.



Figura 4. 9. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo San Pedro de Taboada.
Elaborado por: El Autor

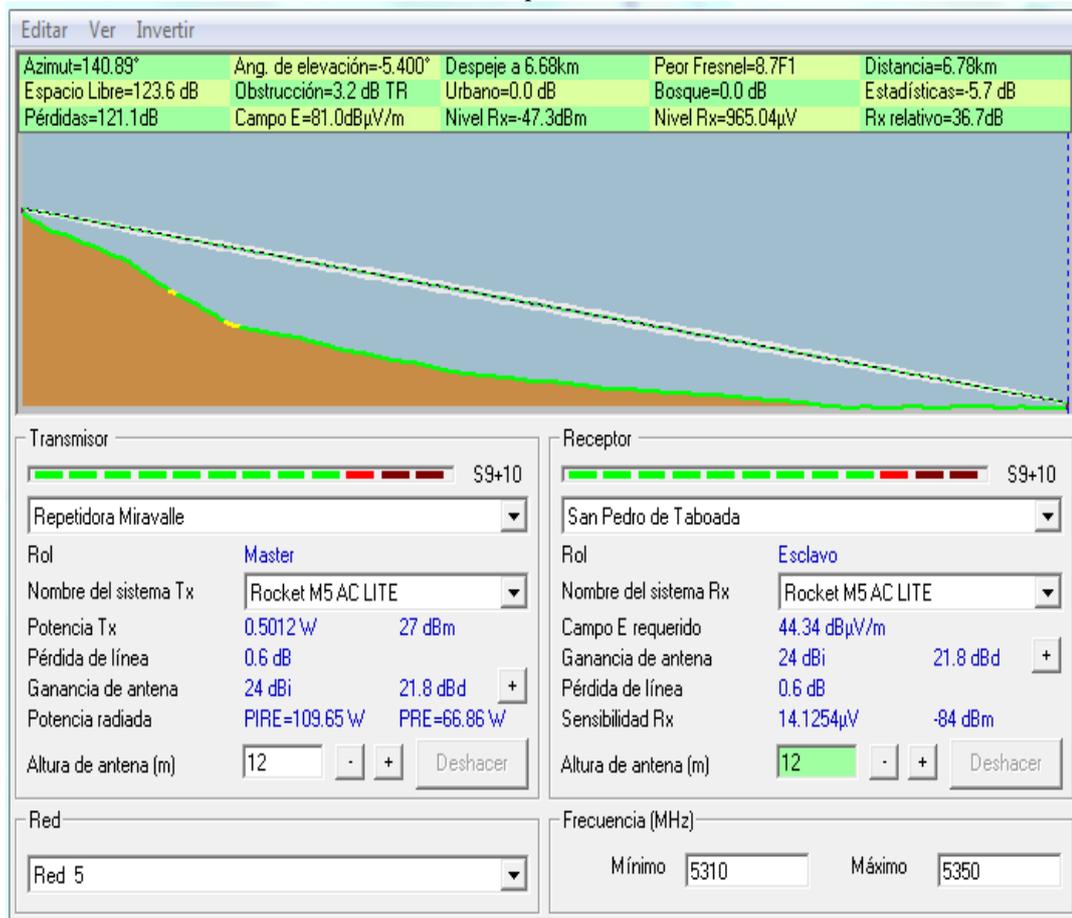


Figura 4. 10. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo San Pedro de Taboada.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.11 y figura 4.12 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Conocoto, el cual no presenta obstrucciones en

el trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de -43.0 dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.



Figura 4. 11. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Conocoto.
Elaborado por: El Autor

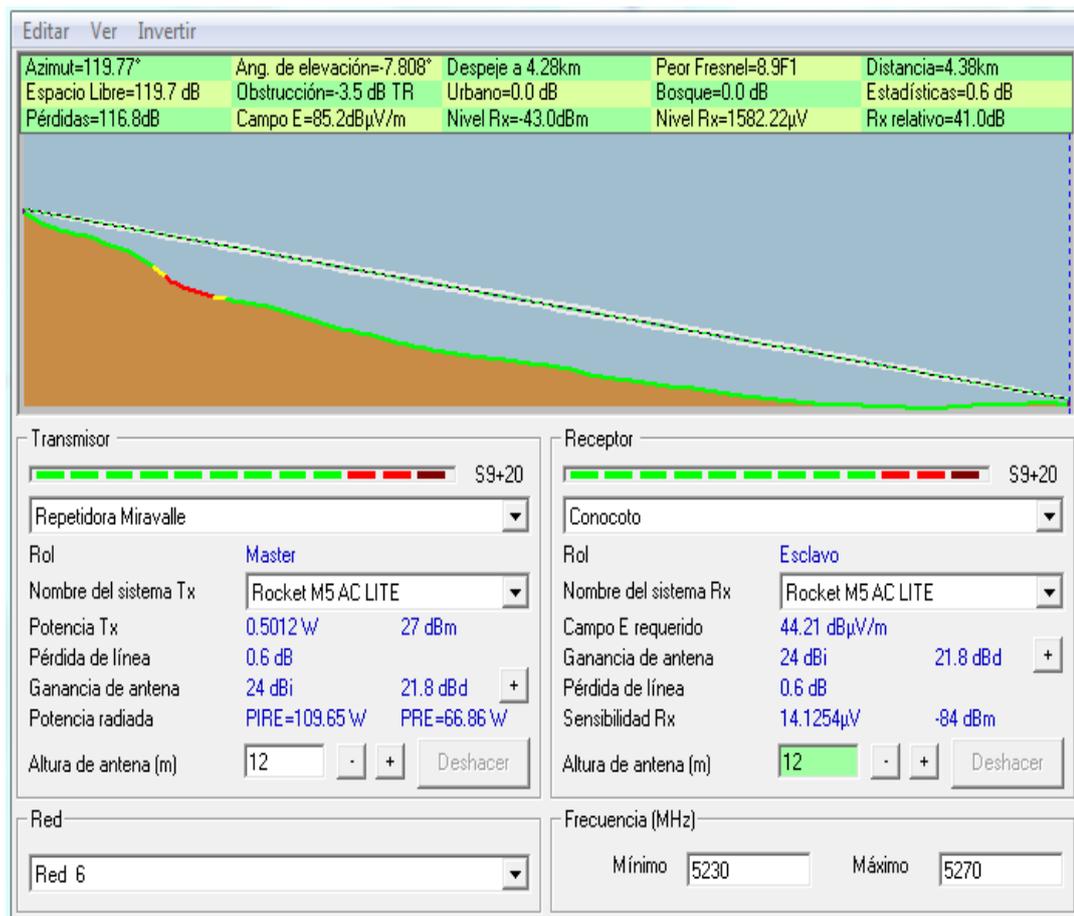


Figura 4. 12. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Conocoto.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.13 y figura 4.14 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Cuendina, el cual no presenta obstrucciones en

el trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de $-55,4$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.

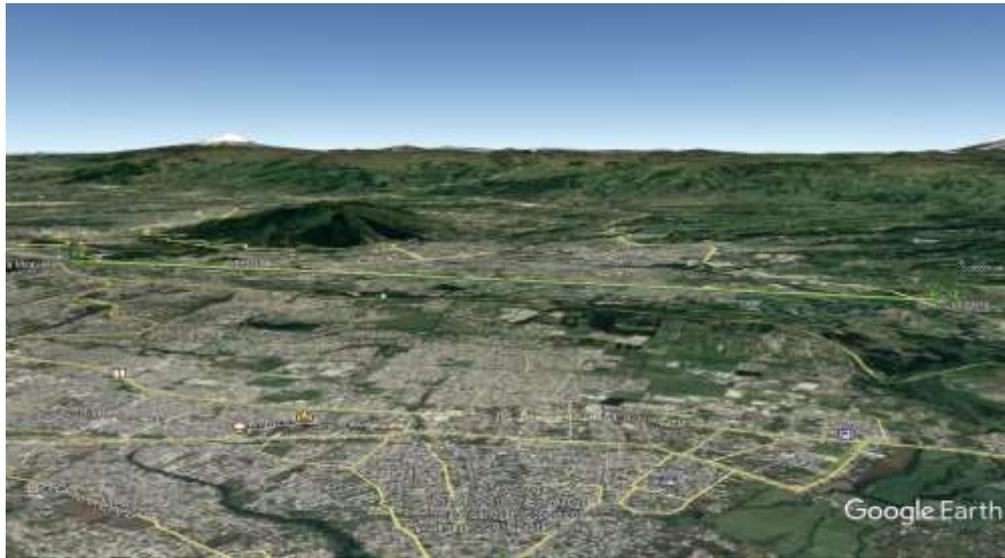


Figura 4. 13. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Cuendina.
Elaborado por: El Autor

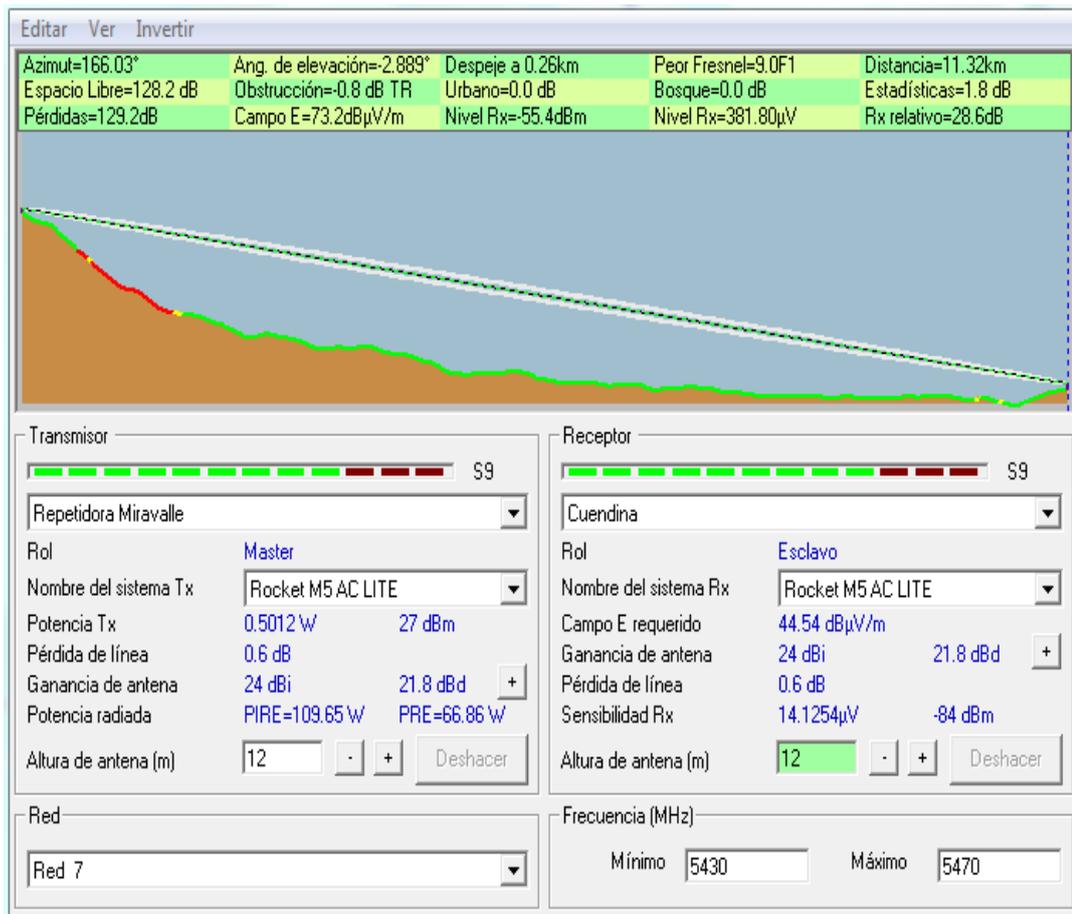


Figura 4. 14. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Cuendina.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.15 y figura 4.16 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Cotogchoa, el cual no presenta obstrucciones en

el trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de $-57,7$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.



Figura 4. 15. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Cotogchoa.
Elaborado por: El Autor

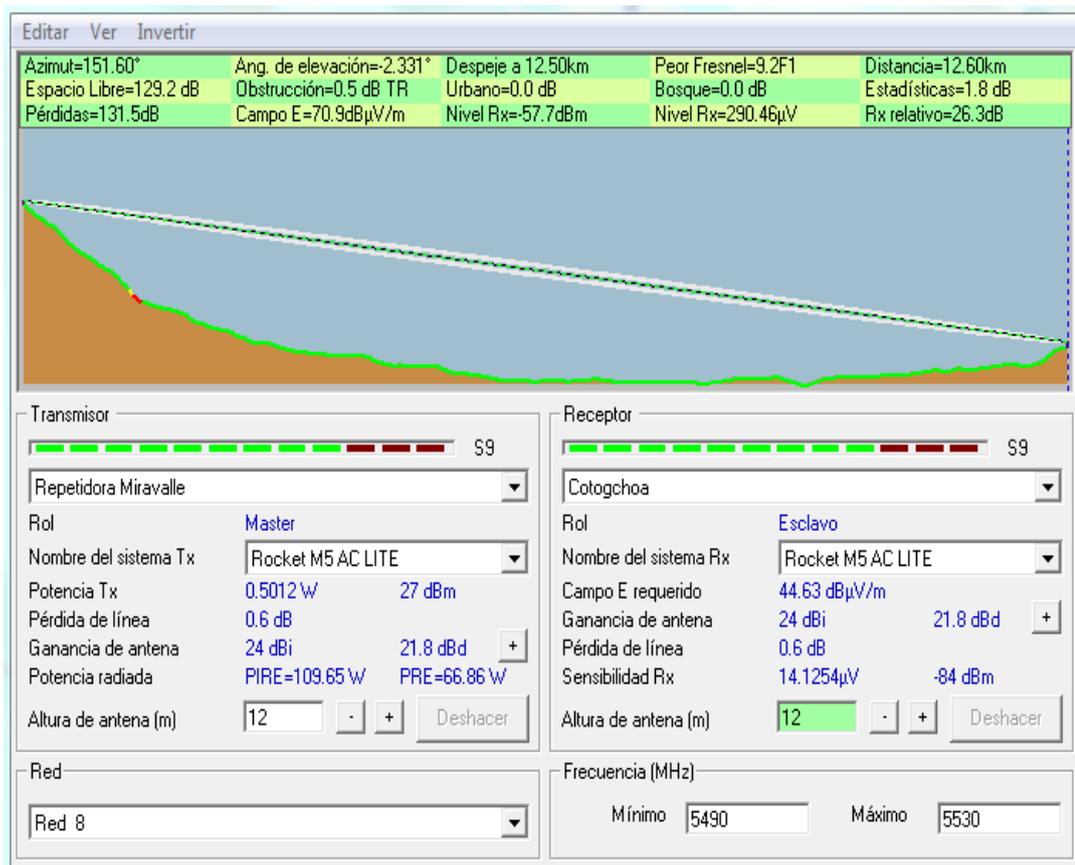


Figura 4. 16. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Cotogchoa.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.17 y figura 4.18 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Rumipamba, el cual no presenta obstrucciones

en el trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de $-57,8$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.

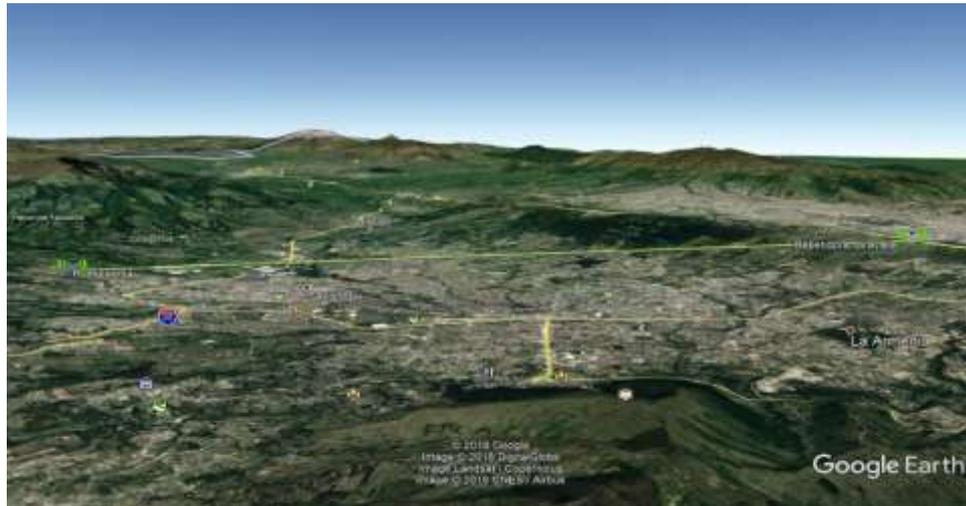


Figura 4. 17. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Rumipamba.
Elaborado por: El Autor

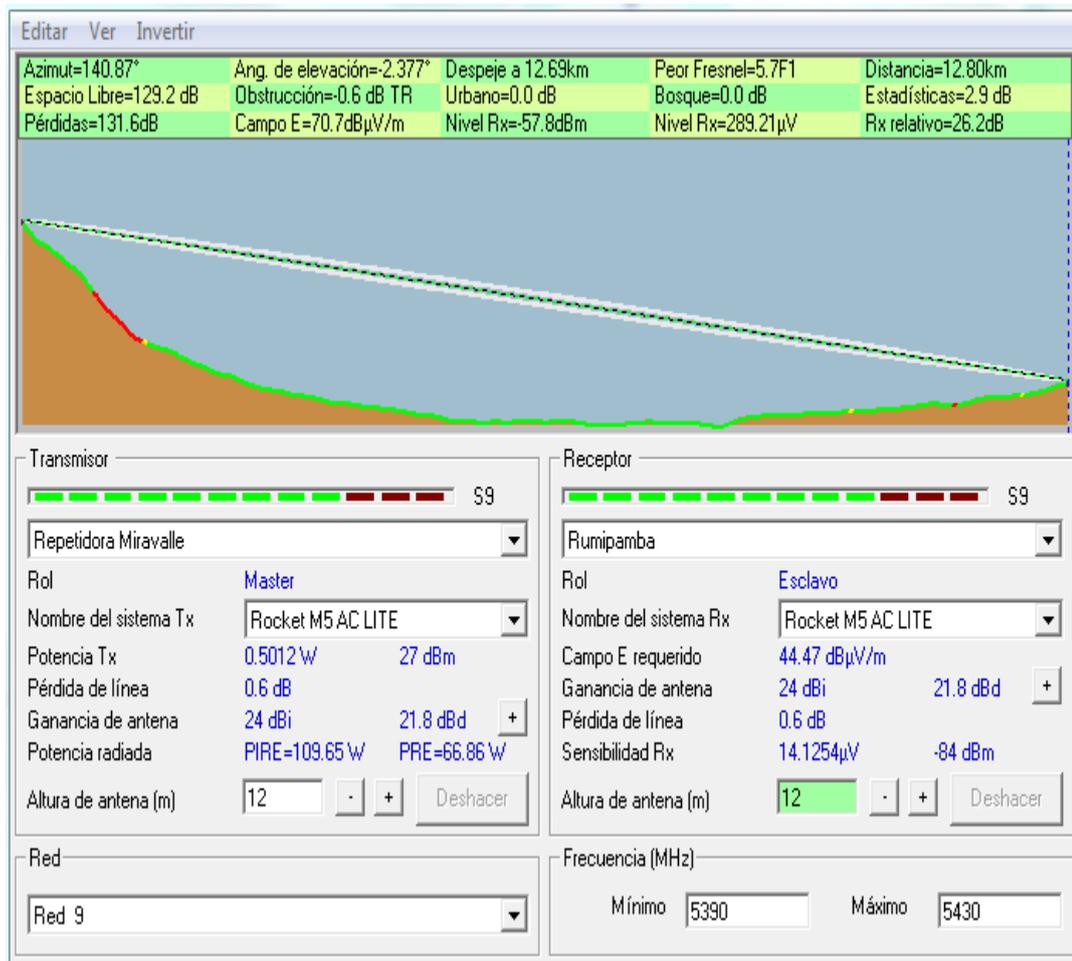


Figura 4. 18. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Rumipamba.
Elaborado por: El Autor

En la figura 4.19 y figura 4.20 se muestra el perfil del enlace desde la repetidora Miravalle hacia el nodo Amaguaña, el cual no presenta obstrucciones en

el trayecto y presenta un nivel de recepción de la señal de $-56,1$ dBm por lo que existe la factibilidad de implementarlo en futuro.

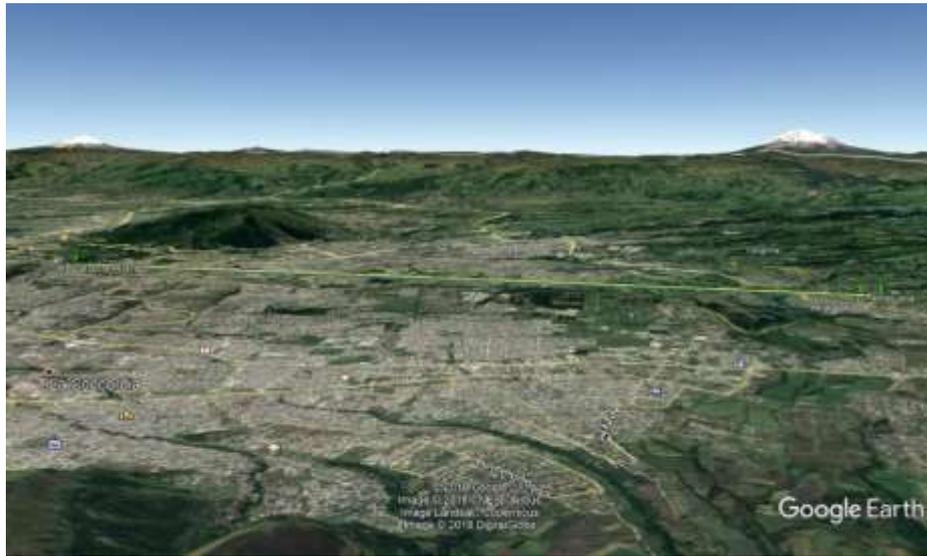


Figura 4. 19. Distancia entre Repetidora Miravalle y nodo Amaguaña.
Elaborado por: El Autor

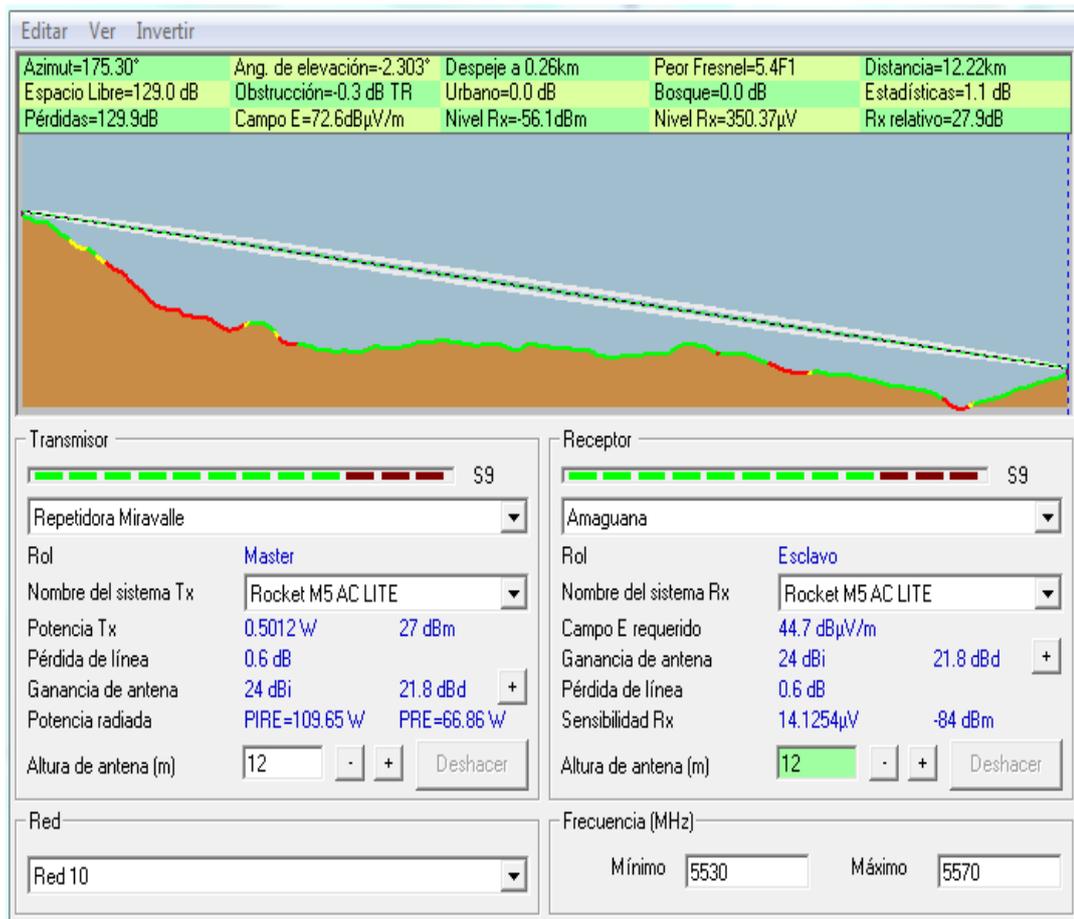


Figura 4. 20. Perfil del enlace Repetidora Miravalle y nodo Amaguaña.
Elaborado por: El Autor

Una vez terminadas las simulaciones en la tabla 4.11 se indica un resumen de los parámetros calculados con el software de radio enlaces, Radio Mobile para los enlaces punto a punto.

Tabla 4. 11. Enlaces de Radio Punto a Punto.

Enlace	Frecuencia MHz	Ángulo de elevación	Nivel de Rx dBm	Rx relativo dB	Peor Fresnel	Pérdidas totales dB
Repetidora Miravalle - Pintag	5 150	0,864°	-59,6	24,4	4,0 F1	133,4
Repetidora Miravalle - La Merced	5 270	2,666°	-56,9	27,1	2,7 F1	130,7
Repetidora Miravalle - Alangasi	5 190	2,951°	-58,9	25,1	7,2 F1	132,7
Repetidora Miravalle - Guangopolo	5 350	4,999°	-50,9	33,1	10,2 F1	124,7
Repetidora Miravalle - San Pedro de Taboada	5 310	5,400°	-47,3	36,7	8,7 F1	121,1
Repetidora Miravalle - Conocoto	5 230	7,808°	-43,0	41,0	8,9 F1	116,8
Repetidora Miravalle - Cuendina	5 430	2,889°	-55,4	28,6	9,0 F1	129,2
Repetidora Miravalle - Cotogchoa	5 490	2,331°	-57,7	26,3	9,2 F1	131,5
Repetidora Miravalle - Rumipamba	5390	2,377°	-57,8	26,2	5,7 F1	131,6
Repetidora Miravalle - Amaguaña	5530	2,303°	-56,1	27,9	5,4 F1	129,9

Elaborado por: Autor

En esta tabla se observa que la potencia de recepción en el peor de los casos es -59,6 dBm en el enlace Repetidora Miravalle – nodo Pintag, el cual garantiza la tasa de transferencia necesaria para brindar el servicio a los clientes del ISP, por esta razón se puede decir que los enlaces son factibles.

4.3. Determinación de costos.

4.3.1. Costos del equipamiento.

A continuación, se describen los costos aproximados de los equipos que se eligieron para la red del ISP. En dichos valores no están incluidos los impuestos, ni costos de transportación, ni costo del consumo eléctrico. Como objetivo de este capítulo no está determinar la rentabilidad del proyecto, por lo cual se indican los costos sin un análisis exhaustivo de los mismos.

En la tabla 4.12 se indican los costos de los equipos del núcleo de la red del ISP.

Tabla 4. 12. Valores equipos de red (Microtik, 2018) (Aire Ec., 2018).

Equipos de red				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
Encaminador de Borde	CCR1009-7G-1C-1S+PC.	1	495,00 USD	495,00 USD
Conmutador de Capa 3	CRS328-24P-4S+RM	3	379,00 USD	1137,00 USD
Conmutador de Acceso	CSS326-24G-2S+RM	10	139,00 USD	1 390, 00 USD
Servidores	HP Poliant DL380 G5	5	350,00 USD	1 750,00 USD
			TOTAL \$	4772,00 USD

Elaborado por: Autor

De manera similar se indican en la tabla 4.13 los precios de los equipos que formaran parte de la red inalámbrica del ISP.

Tabla 4. 13. Valores equipos de comunicación inalámbrica más antena (Ubiquiti Networks, 2018) (Aire Ec., 2018).

Equipos de comunicación inalámbrica				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
Backbone	Rocket R5AC-Lite + Antena Parabólica RD-5G31-AC	22	450 USD	9 900 USD
Radio Bases	Rocket M5 AC Lite+ Antena sectorial 120° 19 dBi AM-5G19-120	30	395 USD	11 850 USD
Estaciones	Nano Station NSM5	600	125 USD	75 000 USD
			TOTAL \$	96 750 USD

Elaborado por: Autor

En la tabla 4.14 se presentan los precios de los equipos que darán el respaldo eléctrico a los equipos de comunicación en caso de fallar la red eléctrica pública.

Tabla 4. 14. Valores equipos respaldo eléctrico (Mercado Libre, 2018).

Equipos de respaldo eléctrico				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
UPS	Ups Forza Atlas 3 kVA	16	949,00 USD	15 184,00 USD
Batería	Universal 12 V-12 Ah	16	48,50 USD	776,00 USD
			TOTAL \$	15 960,00 USD

Elaborado por: Autor

En la tabla 4.15 se presenta el precio de la consola KVM para el manejo de los servidores del ISP.

Tabla 4. 15. Costo equipo administrador de servidores (Amazon, 2018).

Administrador de servidores				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
Consola KVM	HP TFT7600 147064001	1	2 126,86 USD	2 126,86 USD
			TOTAL \$	2 126,86 USD

Elaborado por: Autor

En la tabla 4.16 se indican los costos totales de los equipos que formarán parte de la red del ISP y el total a invertir en ellos.

Tabla 4. 16. Costos totales de equipos.

Descripción	Valor
Equipos de red	4 772,00 USD
Equipos de comunicación inalámbrica	96 750,00 USD
Equipos de respaldo eléctrico	15 960,00 USD
Administrador de servidores	2 126,86 USD
TOTAL \$	119 608,86 USD

Elaborado por: Autor

4.3.2. Costos del enlace de fibra óptica

En la tabla 4.16 se indica los materiales que se utilizaran en la instalación del enlace de fibra óptica.

Tabla 4. 17. Materiales en enlace de fibra óptica.

Enlace de fibra óptica					
Material	Modelo	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Precio total
Fibra óptica ADSS 12 hilos	Fyberhome	10 000	m	2,47 USD	24 700,00 USD
Herrajes A		200	u	11,41 USD	22 82,00 USD
Preformados		400	u	12,09 USD	4 836,00 USD
				TOTAL \$	31 818,00 USD

Elaborado por: Autor

4.3.3. Costos de operación

Se considera que durante el funcionamiento del ISP se deberán pagar los costos de operación correspondiente a permisos de funcionamiento de los enlaces de radio y costo mensual del enlace troncal de internet del ISP.

4.3.4. Costos de funcionamiento

Según lo indicado por la ARCOTEL en la norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, se consideran los costos de permiso de funcionamiento, la misma que se calcula con la ecuación 4.1 para determinación de enlaces punto a punto (SENATEL, 2018).

$$TA (US) = K_a \cdot \alpha_6 \cdot \beta_6 \cdot B \cdot NTE \quad (4.1)$$

Donde:

TA (US): Tarifa anual en dólares de Estados Unidos de América.

Ka: Factor de ajuste por inflación.

α_6 : Coeficiente de valoración del espectro para los sistemas del espectro ensanchado.

β_6 : Coeficiente de corrección para los sistemas de espectro ensanchado.

B: Constante de servicio para los sistemas de modulación digital de banda ancha.

NTE: Es el número total de estaciones fijas, móviles, estaciones receptoras de triangulación, de acuerdo al sistema.

Para el cálculo del costo de los enlaces Punto a Punto (Nodo Principal – Repetidora – Nodos Secundarios) del ISP de este proyecto se tomarán en cuenta los siguientes valores: $Ka = 1$; $\alpha_6 = 6,40$; $\beta_6 = 1$; $B = 12$; $NTE = 11$; para lo cual $TA (US) = 844.8$.

Estos valores se consideran en el momento de operación del ISP, los mismos deberán ser ajustados conforme el número de usuarios aumente.

Ahora para los enlaces Punto Multipunto (Nodos Secundarios - Abonados), la norma considera la ecuación 4.2 para el cálculo de valor de operación de los Enlaces.

$$TA (US) = K_a \cdot \alpha_4 \cdot \beta_4 \cdot A \cdot D^2 \quad (4.2)$$

Dónde:

TA (US): Tarifa anual en dólares de Estados Unidos de América.

Ka: Factor de ajuste por inflación.

α_4 : Coeficiente de valoración del espectro para el servicio fijo y móvil (Multiacceso).

β_4 : Coeficiente de corrección para la tarifa por estación de base o estación central fija.

A: Ancho de banda del bloque de frecuencia en MHz concesionado en transmisión y recepción.

D: Radio de cobertura de la estación de base o estación central fija, en km.

Para el cálculo del costo de los enlaces Punto a Punto del ISP de este proyecto se tomarán en cuenta los siguientes valores: $Ka = 1$; $\alpha_4 = 0,0185687$; $\beta_4 = 5$; $A = 40$; $D = 5$; para lo cual $TA (US) = 92,84$.

El valor calculado corresponde al costo de operación de cada una de las estaciones base. En la tabla 4.18 se indica los costos totales de operación de los enlaces inalámbricos del ISP.

Tabla 4. 18. Costo de operación anual de enlaces de radio.

Tipo de enlace	Costo mensual	Costo anual
Punto a Punto	844,80 USD	10137,60 USD
Punto Multipunto	92.84 USD	1114.08 USD
	TOTAL \$	11 251,68 USD

Elaborado por: Autor

4.3.5. Costos de conexión troncal

Para la conexión troncal hacia el Internet se considera una conexión la misma que será provista por la empresa NEDETEL.

El ancho de banda cotizado para el primer año de funcionamiento del ISP es el mejor y más económico del mercado, este valor deberá ser ajustado conforme a los requerimientos posteriores del ISP. En la tabla 4.18 se indica el costo de los enlaces para la conexión al exterior.

Tabla 4. 19. Costo del enlace troncal para 2 000 usuarios.

Enlace	Cantidad	Precio por Mbps	Precio final mensual	Precio final anual
Enlace NEDETEL	1 775 Mbps	11,20 USD	19 880,00 USD	238 560,00 USD
			TOTAL \$	238 560,00 USD

Elaborado por: Autor

Para 600 usuarios iniciales previstos se requiere una velocidad inicial de 600 Mbps (600 usuarios x 4 Mbps / 4 de compartición). Para un costo mensual de 6 720 USD y 80 640 USD anuales. En la tabla 4.19 se indica.

Tabla 4. 20. Costo del enlace troncal para 600 usuarios.

Enlace	Cantidad	Precio por Mbps	Precio final mensual	Precio final anual
Enlace NEDETEL	600 Mbps	11,20 USD	6 720,00 USD	80 640,00 USD
			TOTAL \$	80 640,00 USD

Elaborado por: Autor

4.3.6. Costo total de la inversión

En la tabla 4.20 se indica el costo total que se tendría que invertir para la implementación del ISP del presente diseño. Además, se considera los costos de equipos, costo del enlace de fibra óptica, costos de permisos de operación y acceso a internet.

Pero en el caso de que se requiera implementar el proyecto, se tendría que añadir valores por concepto de salarios de trabajadores, arrendamiento de los lugares donde se ubicaran los mástiles nodos, cuadrillas para mantenimiento preventivo y correctivo.

Tabla 4. 21. Costos totales.

Concepto	Valor
Costo total de los equipos	119 608,86 USD
Enlace de fibra óptica	31 818,00 USD
Costo total anual de red troncal	80 640,00 USD
Costo total anual de enlaces de radio	11 251,68 USD
Total	243 318,54 USD

Elaborado por: Autor

El valor de 243 318,54 USD representa el valor total a invertir durante el primer año de funcionamiento del ISP. Estos valores deberán ajustarse durante el transcurso del tiempo y de acuerdo al crecimiento del número de clientes y por ende de la red.

CONCLUSIONES

- En el gráfico de la proyección de la demanda con datos reales, se realiza una interpolación, donde la mejor aproximación a la curva original se lo realiza con una función logarítmica, la misma que tiene menor error a las comparadas con funciones lineal, exponencial y polinómica.
- Una característica de MIMO es el conocido *Three-Stream*, que usa tres flujos de haces espaciales para incrementar de manera notable la velocidad inalámbrica. También es muy importante el ancho de canal, normalmente de 20 MHz, pero 802.11n permite anchos de canal de 40 MHz usando dos canales separados de 20 MHz (aunque contiguos) para conseguir mayor velocidad.
- Mediante los cálculos realizados se obtiene una velocidad de transferencia mínima 177.5 Mbps, la que debe tener cada enlace de radio para la transmisión de tráfico generado por los clientes en cada uno de los nodos en la etapa inicial de operación del ISP. Al ser mayor de 150 Mbps se necesita MIMO con 2 canales de 20MHz cada uno para una velocidad máxima de 300 MHz.
- Para alcanzar los 300 Mbps teóricos de velocidad en WiFi-N se debe tener como mínimo MIMO 2T2R, 40 MHz de ancho de canal y dos flujos de haces (two-stream).
- Con 20MHz de ancho de banda del canal se alcanza como máximo 150Mbps de velocidad de transmisión, independientemente de la banda de comunicación que se emplee, 2.4 GHz o 5GHz.
- Los resultados teóricos y prácticos obtenidos en la simulación de los radios enlaces se asemejan bastante existiendo un error mínimo.

RECOMENDACIONES

- Al diseñar un sistema inalámbrico es importante hacer un estudio de líneas de vista y frecuencias a fin de determinar qué sectores pueden trabajar sin problema. En nuestro caso, al trabajar en una banda libre, esto es aún más importante para evitar interferencias.
- Es recomendable que los equipos operen dentro de una frecuencia y no salgan de los parámetros de emisión de potencia, para evitar problemas y sanciones por organismos de control del espectro electromagnético. De esta forma también se aprovecharía de mejor manera los beneficios que un equipo y una tecnología puedan ofrecer.
- En el análisis de propagación, al determinar la existencia de la línea de vista, nos condujo a escoger un determinado equipo; sin embargo, existen equipos que trabajan en condiciones sin línea de vista, aumentando por tanto la penetración del servicio y reduciendo los costos de instalación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. (2018). *Radiopropagación*. España: <http://docplayer.es/53321362-Tema-3-radiopropagacion.html>.
- Aire Ec. (2018). Obtenido de Aire Ecuador: <https://www.aire.ec/producto/mikrotik/routeros/>
- Amazon. (2018). Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.com/TFT7600-KVM-Console-Us-Kit/dp/B0046M37JY>
- Asociación de empresas. (2015). *Topología*. España: <http://www.aeprovi.org.ec/es/napec/topologia>.
- Bernal, I. (2013). *Revisión de conceptos básicos de antenas y propagación*. Quito, Ecuador: http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/2008_Marzo_Sept/ComInalam/ClasesNuevas/AntenasTotal.pdf.
- Chimal, E. (2015). *Zona de Fresnel*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Zona de Fresnel: <http://emmanuelhoizonafresnel.blogspot.com/2015/06/zonade-fresnel-queelementos-se-deben.html>
- Coronado, T. (2015). *Conectividad móvil. Tecnologías 3G, 4G Wifi, y Bluetooth*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Conectividad móvil. Tecnologías 3G, 4G Wifi, y Bluetooth: <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/conectividad-movil.-tecnologias-3g-4g-wifi-y-bluetooth>
- D Link Corporation. (2018). Obtenido de IR611A1 Wireless N 300 Router User Manual Users Manual D Link Corporation: <https://fccid.io/KA2IR611A1/User-Manual/Users-Manual-3033755>
- Figuroa, D. (2015). *Arquitectura de redes, sistemas y servicios*. España: https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/arss/arss09_10/slides/31y32-CSMA-CA.pdf.

- Ger, J. (2015). *Wordpress*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Wordpress: <https://metododemuestreoestratificado.wordpress.com/2014/11/24/estadistica-ii-muestreo-estratificado/>
- Hernando Rábanos, J. M. (2015). *Transmisión por Radio* (Sexta ed.). Madrid, España: Centro de Estudios Ramón Areces, S. A.
- Huillcañahui, M. (2013). *Muestreo Aleatorio Simple*. Perú: <https://es.slideshare.net/milit/muestreo-aleatorio-simple>.
- IEEE Computer Society. (2013). *Std 802.11ac-2013. Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz*. New York, USA.
- IEEE Computer Society. (2014). *Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput*. New York, USA.
- Internacional Centre For Theoretical Phycis. (2013). *Antenas y líneas de transmisión*. Venezuela: http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/03-Antenas_y_Lineas_de_Transmision-es-v3.0-notes.pdf.
- Mercado Libre. (2018). Obtenido de Mercado Libre Ecuador: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-415520964-ups-forza-atlas-3kva-on-line-fdc-003k-de-3000va-2400w-6toma-_JM
- Microtik. (2018). Obtenido de <https://mikrotik.com/products>
- Ochoa, C. (2015). *Muestreo Probabilístico y no Probalístico*. España: <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-o-no-probabilistico-ii>.
- Palacios, H. (2017). *Econectia*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Econectia: <https://www.econectia.com/blog/tipos-de-conexiones-a-internet-cual-te-conviene-mas>
- Pchmayoreo. (2018). Obtenido de Ficha técnica del DIR-611: <http://fichastecnicas.pchmayoreo.com/RE-434513-1.pdf>

- Peña, & Gustavo. (2017). *Teoría de radiadores electromagnéticos*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Teoría de radiadores electromagnéticos: <http://heml970609.blogspot.com/2017/08/antenas-conceptos.html>
- Pérez, C., Sáinz de la Maza, J., & Casanueva, A. (2014). *Sistema de telecomunicación*. Universidad de Cantabria, Santander, Cantabria, Cantabria-España.
- Quintero, G., & Sarmiento, L. (2013). *Análisis del patrón de radiación de una atena tipo parche de arreglo matricial de parches rectangulares*. Bolivia, United Kingdom: Universidad Pontificia Bolivariana: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1762/digital_22742.pdf?sequence=1.
- Rivas, D. (2014). *Tipos de Antenas Satelitales- circulares - Eliptico - Rectang*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Tipos de Antenas Satelitales- circulares - Eliptico - Rectang: https://www.taringa.net/+info/tipos-de-antenas-satelitales-circular-eliptico-rectang_12vjmb
- Rivera, N. (2016). *Fuentes de información y técnicas de recopilación de datos*. Tiabaya, Perú: <https://slideplayer.es/slide/5624046/>.
- SENATEL. (2018). Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha, SENATEL.
- Tanenbaum, A. S. (2016). *Redes de computadoras* (Cuarta ed.). Amsterdam, Netherlands: Prentice Hall.
- Tapia, S. (2016). *Diseño de un enlace de Backup de alta capacidad en la red IP/MPLS de Telconet para la ciudad de Esmeraldas*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://docplayer.es/59498936-Pontificia-universidad-catolica-del-ecuador-facultad-de-ingenieria-maestria-en-redes-de-comunicacion.html>.
- Telecomunicaciones de Convergencia S.A. (2016). *airMAX UniFi air Vision*. México: <https://logismarketmx.cdnwm.com/ic/telecomunicaciones-de-convergencia-catalogo-de-productos-marca-ubiquiti-telecomunicaciones-de-convergencia-844271.pdf>.

- Tomasi, W. (2015). *Sistemas de comunicaciones electrónicas* (Cuarta edición ed.). México: Prentice Hall.
- Ubiquiti Networks. (2018). Obtenido de Ubnt: <https://www.ubnt.com/products/#default>
- Ubiquiti Networks. (2018). Datasheet Rocket ac, Powerful airMax ac BaseStation, Model: R5AC-PTP.
- Ubiquiti Networks. (2018). Datasheet Rocket M, Powerful 2x2 MIMO airMAX BaseStation, Model: M5.
- Ubiquiti Networks. (2018). Quick Start Guide: 5 GHz 2x2 MIMO BaseStation Sector Antenna Model: AM-5G19-120.
- Ubiquiti Networks. (2018). Quick Start Guide: RocketDish ac, airMAX Carrier Class, 2x2 PtP Bridge Dish Antenna, Model: RD-5G31-AC.
- Ubiquiti Networks. (2018). Quick Start Guide: Rocket AC 5G Carrier Class, AirMax ac BaseStation, Model R5AC-Lite.
- Universo Formúlas. (2019). *Universo Formúlas*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Universo Formúlas: <https://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-sistemico/>
- Valdivieso, C., Valdivieso, R., & Valdivieso, Ó. (2015). *Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión*. Bolivia: Universidad Privada Boliviana: <ftp://ftp.repec.org/opt/ReDIF/RePEc/iad/wpaper/0311.pdf>.
- Villalpando, J. (2015). *Antenas*. Recuperado el 24 de 01 de 2019, de Antenas: <http://www.iesromerovargas.es/recursos/elec/sol/est-antenas.htm>

GLOSARIO

A

Arcotel.- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.

AES- Advanced Encryption Standard.

ATM- (Asynchronous transfer mode) modo de transferencia asíncrona.

B

Backbone.-red troncal.

B- Factor climático.

BIND.- (Berkeley Internet Name Domain).

(BGPv4).-El protocolo de enrutamiento utilizado será el Gateway exterior versión cuatro

C

CNT.- Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

CDMA.-Acceso Múltiple por División en Código.

Cg.- Capacidad garantizada por usuario.

C. -Capacidad necesaria por cada nodo

CPE.- (*customer premise equipment*) local de cliente.

Conmutadores (switches).

Ce.- Capacidad efectiva de cada punto de acceso.

D

dBi . - Ganancia de antena en dB por encima de un radiador isotrópico.

DIY (*Do It Yourself*).-Conectores mal soldados.

DNS.- Servidor de nombres.

DNS.-Servidor de sistema nombres de dominio.

DHCP.- (*Dynamic Host Configuration Protocol*) protocolo de configuración dinámica de host.

DTED.- (Digital Terrain Elevation Data).

E

Enrutadores (routers)

F

FDD.- División por Duplexación en Frecuencia.

FM .-Margen de seguridad por desvanecimiento.

FSL.-Pérdidas de propagación del medio.

FDMA.-Acceso Múltiple por División en Frecuencia.

F.- Factor de simultaneidad.

FTP.-El Protocolo de transferencia de archivos

G

G.711, G.728 y G.729-Códec más usados para la digitalización de la voz.

GTOPO30.- (Global Topographic Data).

GCC (GNU Compiler Collection).

H

HD - Alta definición.

HTML5.- (HyperText Markup Language, versión 5).

I

IEEE 802.11n.- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

ISP.- Proveedor de servicios de Internet.

INEC.-Instituto Nacional de Estadísticas y Censo.

IXP (Internet eXchange Point) punto de intercambio de tráfico de Internet.

ISM – (*Industrial, Scientific and Medical band*)-industriales, científicas y médicas.

IPv4- Protocolo de Internet versión 4.

IPv6.- Protocolo de Internet versión 6.

K

KVM.- (*Keyboard, Video & Mouse*).

L

LAN.- Red de Área Local.

LOS.- línea de visión (*line of sight*)

Longley-Rice - Modelo de predicción troposférica.

M

MIMO.- Múltiple entrada múltiple salida.

MIMO NxM.- N antenas transmisoras y M antenas receptoras.

N

NAP- (Network Access Point).

NASA- Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.

N.- Número máximo de abonados potenciales por nodo.

O

OFDMA.-Acceso Múltiple por División en Frecuencias Ortogonales.

OSI.- (Open System Interconnection) interconexión de sistemas abiertos.

P

PtP - sistemas inalámbricos Punto a Punto.

PtMP- sistemas inalámbricos Punto Multipunto.

PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet o Protocolo Punto a Punto sobre Ethernet).

POP3.- (Post Office Protocol) Protocolo de Oficina Postal.

R

ROE.- Onda estacionaria.

R- Disponibilidad del sistema.

S

S (*scattering*).se relaciona mucho con el de reflexion.

SAR.- (*Specific Absorption Ratio*).Absorción específica de radio.

SNR.- Relación señal a ruido.

SNMP.-Protocolo simple de administración de red.

Streaming.- se refiere a todo contenido de internet transmitido en tiempo real.

SUPERTEL.-Superintendencia de Telecomunicaciones de Ecuador.

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

SMTP.- (*Simple Mail Transfer Protocol*.)Protocolo Simple de Transferencia de Correo.

SSL .- (Secure Sockets Layer).

SSH.- (*secure shell*).

T

TDMA.- Acceso múltiple por división de tiempo.

TCP/IP.- **Protocolo** de control de transmisión/**Protocolo** de Internet.

TDD.-División por Duplexación en Tiempo.

Three-way calling.-servicio de transferencia de llamadas; repetir llamada; devolver llamada: llamada de tres líneas.

U

UIT.- Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UDP.- (User Datagram Protocol) protocolo de datagramas de usuario.

V

VoIP.- Voz por protocolo de internet.

VLANs.- (virtual LAN) red de área local virtual.

W

WLANs.- red de área local inalámbrica.

Web.- Red, telaraña o malla.

WiFi.- (*Wireless Fidelity*) fidelidad inalámbrica).

WPA2- (Wi-Fi Protected Access 2) - Acceso Wi-Fi protegido 2.

3G.- Tercera generación de transmisión de voz y datos.

4G.- Cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil.

3T3R.- (3 antenas para transmisión, 3 antenas para recepción).

3T2R.- (3 antenas para transmisión, 2 antenas para recepción).

2D.- Dos dimensiones.

3D.- Tridimensional.

ANEXOS

ANEXOS 1. ENCUESTA SERVICIO DE INTERNET EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL VALLE DE LOS CHILLOS

Pregunta 1: ¿Con qué frecuencia utiliza usted Internet?

Opción

Una vez por semana

Diariamente

De 2 - 5 veces por semana

Pregunta 2: ¿Por cuánto tiempo suele utilizar Internet?

Opción

0-15 min

15-60 min

Más de 60 min

Pregunta 3: ¿Dónde utiliza Internet?

Opción

Hogar

Cibercafé

Trabajo

Lugar de estudio

Pregunta 4: ¿Qué servicios de Internet utiliza?

Opción

Chat

Correos

Redes sociales

Búsqueda de información

Descarga de archivos

Descarga de música

Ver videos

Video conferencia

Pregunta 5: ¿Dispone de un computador en su hogar?

Opción

Si

No

Pregunta 6: ¿Dispone usted de Internet en su casa?

Opción

Si

No

Pregunta 7: ¿Qué tecnología de acceso a Internet utiliza?

Opción

Dialup

Banda ancha

Pregunta 8: ¿El servicio de Internet con el que cuenta es?

Opción

Excelente

Bueno

Regular

Malo

Pregunta 9: ¿Contrataría un servicio de Internet de banda ancha en su hogar con un valor mensual fijo dependiendo de la velocidad de transmisión?

Opción

20 USD/ 3 Mbps

25 USD/ 4 Mbps

35 USD/ 5 Mbps

50 USD/ 6 Mbps

No contrataría



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Williams Patricio Mejía Paucar**, con C.C: # 1715119481 autor del trabajo de titulación: **Diseño de una red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer del servicio de internet en las parroquias rurales del Valle de Los Chillos**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de marzo del 2019

f. _____

Williams Patricio Mejía Paucar

C.C: 1715119481



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de una red inalámbrica con tecnología MIMO TDMA, para proveer del servicio de internet en las parroquias rurales del Valle de Los Chillos.		
AUTOR(ES)	Williams Patricio Mejía Paucar		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Msc Orlando Philco/MSc. Celso Bohórquez Escobar/MSc. Luis Córdova Rivadeneira		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Guayaquil, 6 de marzo de 2019	No. DE PÁGINAS:	147
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de comunicaciones Inalámbricas, Antenas.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Red Inalámbrica, Tecnología MIMO TDMA, Servicio de internet.		
RESUMEN: La evolución de la tecnología ha generado una mayor rivalidad competitiva entre los proveedores del servicio de Internet, por lo tanto, se planteó el objetivo de diseñar una red inalámbrica que permita proveer el servicio de Internet a zonas rurales del Valle de los Chillos y precios accesible, bajo la topología de acceso de última milla inalámbrica. Se aplicó la metodología documental, para realizar el estudio de mercado, técnico y económico de la propuesta, cuyos resultados evidenciaron que la proyección de la demanda con datos reales, bajo la interpolación de una función logarítmica dio como resultado una cantidad considerable de usuarios, siendo la principal característica de MIMO, el Three-Stream que usa tres flujos de haces espaciales para incrementar de manera notable la velocidad inalámbrica. También es muy importante el ancho de canal, normalmente de 20 MHz, pero 802.11n permite anchos de canal de 40 MHz usando dos canales separados de 20 MHz para aumentar velocidad de transferencia mínima 177.5 Mbps, necesitándose MIMO con 2 canales de 20MHz cada uno para velocidad máxima de 300 MHz y 300 Mbps teóricos de velocidad en WiFi-N se debe tener como mínimo MIMO 2T2R, 40 MHz de ancho de canal y dos flujos de haces (two-stream), con 20MHz de ancho de banda del canal, 2.4 GHz o 5GHz. En conclusión, la topología de acceso de última milla mejora la conectividad de la red inalámbrica propuesta.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0994080868	E-mail: proyectos_ingenieriacnt@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús		
	Teléfono: +593-994606932		
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			