



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA CREACIÓN DE
UN PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO
PARA LA PARROQUIA DE GUANGOPOLO, PERTENECIENTE AL
CANTÓN QUITO.”**

AUTOR: IZA SALAZAR DANNY PATRICIO

QUITO, 2021

INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades actuales de la parroquia de Guangopolo es ayudar al acceso al servicio de Internet a las familias es por ellos que se presenta el estudio de la factibilidad técnica para la creación de un proveedor de servicio de Internet inalámbrico como una alternativa para cubrir zonas de difícil acceso, se utilizó la metodología PPDIOO de cisco para definir las actividades a seguir en para un óptimo diseño de la red.

Para iniciar se desarrolla el marco teórico donde se definen conceptos de investigación, población de estudio, muestra, modelos de propagación y tecnologías inalámbricas, además temas de viabilidad económica.

A continuación, se desarrolla una comparación de la tecnología inalámbrica que mejor se adapte al sector y el estudio para la determinación de los requerimientos como el porcentaje de carencia de acceso al servicio de Internet fijo en la parroquia de Guangopolo.

En el siguiente capítulo se enfoca en el diseño basado en una preparación y planificación con la ubicación de las radios bases o nodos y la selección de equipos a utilizar tanto para la red jerárquica como para los enlaces inalámbricos.

Además, se tiene la simulación de la red propuesta por medio de radio Mobile y AirLink, garantizando así la viabilidad técnica, cumpliendo con rangos de sensibilidad de los equipos y cobertura permitiendo llegar al sector central de la parroquia de Guangopolo como a los sectores alejados de difícil acceso.

Por último, se efectúa un estudio económico para la determinación de la viabilidad para su ejecución con indicadores como el VAN, TIR y PRI

JUSTIFICACIÓN

La zona del Valle de los Chillos del Distrito Metropolitano de Quito cuenta con 6 parroquias Conocoto, Pintag, Amaguaña, Guangopolo, Alangasí y la Merced, una de ellas se encuentra en el estudio para la creación del proveedor de servicio de Internet inalámbrico.

Con el avance tecnológico a nivel mundial, en la actualidad es indispensable adaptarse y utilizar nuevos recursos tecnológicos con el objetivo de tener transformaciones aceleradas que permitan una penetración masiva de la tecnología con un mejoramiento en ámbitos, sociales, culturales, económicos y políticos, es por esta razón que el acceso a Internet es primordial en

la zonas no céntricas de la parroquia de Guangopolo, el presente estudio de factibilidad técnica para la creación de un proveedor de servicio de Internet enfocado en un ámbito social para las personas que viven en zonas alejadas debido a la carencia de acceso al servicio de Internet, ya sea por el costo de las redes cableadas o la dificultad del acceso, es por esto que se desea proporcionar el acceso al servicio de manera inalámbrica, eficientes y de calidad.

El estudio analizará las tecnologías con adaptabilidad al entorno de los sectores rurales, cambios tecnológicos a futuro y con un despliegue de la infraestructura tecnológica óptima, con el propósito de reducir costos financieros tanto a las empresas como a los usuarios.

El acceso al Internet no es un lujo sino una necesidad para todo el mundo es por esta razón, se realiza un estudio de factibilidad técnica que nos permita tener una clara idea acerca de todos los requerimientos para la puesta en marcha del proyecto que permita definir recursos necesarios para un funcionamiento idóneo como herramientas, radio enlaces óptimos, evaluación si los equipos y softwares están disponible, regulaciones, normativas vigentes por el ente regulador con la intención de no tener ningún tipo de impedimento en la parte legal para la funcionamiento de WISP. Adicionalmente poseer una guía idónea para las empresas para poder invertir en la implementación de servicio de Internet inalámbrico en las zonas rurales.

Uno de los principales problemas en la actualidad son los altos costos financieros que representan una instalación de una infraestructura tecnológica en un sector rural, es por esto el proyecto buscar un servicio de Internet con un costo de operación y despliegue de la infraestructura mínimo, con el fin de abaratar costos tanto de implementación como operación.

ANTECEDENTES

En el presente estudio se pretende ver la factibilidad técnica para la creación de un proveedor de servicio de Internet inalámbrico en la Parroquia de Guangopolo con tecnología que se adapte al entorno de los sectores rurales, con el propósito de reducir costos financieros tanto a las empresas como a los usuarios.

Por medio del documentos del “*Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador*” (INEC, 2018) aportan sustancialmente al proyecto, teniendo datos estadísticos acerca del reducido aumento de hogares con acceso a Intente en el Ecuador hasta el año 2018 lo cual

nos lleva a considerar de vital importancia la realización del estudio. Destacando que existe solo un aumento del 11,3 % de acceso a Internet en zonas rurales en el Ecuador con respecto al año 2012-2018, lo cual son cifras desfavorables. (INEC, 2018)

En el artículo cerca de “*La población de estudio*” (Arias-Gómez et al., 2016) servirá como guía para los conceptos investigativos, mismo que aportara en la parte teórica para el desarrollo de la disertación en la elección de la muestra o selección de población de estudio.

Al haber ya desarrollado el tema conceptual y la demanda en la parroquia de Guangopolo, se empezara con el diseño del proveedor en la parroquia, para lo cual nos ayudara como una guía el libro de “*Tecnologías de la Información y las Comunicación para zonas rurales*” (Rendón et al., 2011) enfocado en estudios de redes inalámbricas para zonas rurales, en la cual poseen estudios de la problemática del uso de Wi-Fi en largas distancias, mismas que aportaría a la disertación para tener en claro una tecnología inalámbrica para el desarrollo del proyecto.

En el documento científico de (Peñarrieta Bravo, 2019) posee un estudio de la utilización de Wi-Fi para comunicaciones de largo alcance con tecnología TDMA, el mismo aportaría a la disertación teórico aplicada por medio de diferentes comparaciones que posee entre sistemas de modulación y codificación del estándar IEEE 802.11. En el estudio se presentan investigaciones a gran escala por grupos Internacionales como “*Digital Gangetic Plains*” (DGP) en India o “*Technology and Infrastructure for Emerging Regions*” (TIER) de los Estados Unidos, en los cuales menciona que se puede realizar enlaces a varios kilómetros, pero se cambian el protocolo de censado CSMA/CA de la subcapa MAC por TDMA, la misma permite la trasmisión de señales digitales utilizando un canal común para las comunicaciones con varios usuarios.

Finalmente en el estudio de (Yacelga Cusín, 2017) acerca de un “*proveedor de servicio de internet en las comunidades rurales del Lago San Pablo*” en la cual detallan especificaciones técnica de equipos para enlace de larga distancia de la marca Ubiquiti y en la parte económica con evaluaciones por medio del VAN, TIRy el PRI para determinar la viabilidad del proyecto, lo cual aportaría en el estudio si es viable o no la ejecución del proyecto.

OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio de factibilidad técnica para la creación de un proveedor de servicio de internet inalámbrico para la Parroquia de Guangopolo perteneciente al cantón Quito.

OBJETIVO ESPECIFICO

1. Analizar los requerimientos de la Parroquia de Guangopolo con su respectiva ubicación y estudio de las tecnologías inalámbricas en base a criterios técnicos que se adapten al lugar de estudio, para la utilización en el diseño en los enlaces punto a punto y punto multipunto.
2. Diseñar el despliegue del proveer de servicio de Internet inalámbrico para la Parroquia de Guangopolo previo estudio de equipos y la tecnología.
3. Simular WISP diseñado por medio de un software especializado y la ejecución del estudio de factibilidad técnica del proveedor de servicio en la parroquia de Guangopolo.
4. Analizar la factibilidad económica de la implementación del proveedor de servicio de Internet inalámbrico propuesto, a través de la determinación de los rubros de los equipos utilizados para una futura implementación si es viable o no la ejecución.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	2
ANTECEDENTES.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVO ESPECIFICO	5
RESUMEN.....	14
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	15
1.1 Estudio de demanda.....	15
1.1.1 Metodología de investigación	15
1.1.2 Población de estudio.....	15
1.1.3 Técnicas de muestreo	16
1.1.4 Tamaño de muestra	19
1.1.5 Fuentes de recolección de información	20
1.2 Tecnologías inalámbricas	20
1.2.1 Tipos de redes inalámbricas	20
1.2.2 Wi-Fi	21
1.2.3 WiMAX.....	27
1.3 Propagación de ondas electromagnéticas	27
1.3.1 Pérdidas de propagación.....	28
1.3.2 Criterio de despegamiento del trayecto	30
1.3.3 Margen de Umbral	30
1.4 Topología de red.....	31
1.5 Modelo jerárquico.....	32
1.6 Software de simulación de radio enlaces.....	32
1.6.1 ICS Telecom.....	32
1.6.2 Radio Mobile.....	33

1.7	Estudio de factibilidad	33
1.7.1	Aspectos regulatorios	33
1.7.2	Aspectos financieros	34
CAPÍTULO 2: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA PARROQUIA Y ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS		36
2.1	Parroquia de estudio	36
2.2	Estudio de la situación actual	36
2.3	Población	37
2.4	Criterio de selección de la población.....	37
2.4.1	Selección de la población de la Parroquia.....	38
2.5	Muestra	38
2.6	Encuestas	39
2.7	Recolección de información	39
2.8	Selección de tecnología inalámbrica	40
2.8.1	Comparación Wi-Fi y WiMax.....	40
2.8.2	Selección del estándar IEEE 802.11	41
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO		42
3.1	Etapa de preparación y planificación.....	42
3.1.1	Estudio de demanda de clientes	43
3.2	Etapa de diseño del WISP en la parroquia de Guangopolo.....	47
3.2.1	Infraestructura del ISP.....	47
3.2.2	Selección del fabricante	48
3.2.3	Red troncal	52
3.2.4	Capa núcleo	59
3.2.5	Capa de distribución.....	61
3.2.6	Capa de acceso	63
3.2.7	Cuarto de telecomunicaciones.....	67

3.2.8	Enlace capa distribución – capa acceso (Nodo A y B)	68
3.2.9	Topología de conexión capa de distribución – capa de acceso (Nodo A y B) 80	
3.2.10	Red de distribución (enlaces inalámbricos).....	81
3.2.11	Red de acceso (abonado)	87
3.2.12	Estudio de presupuesto de radio enlaces	87
3.2.13	Equipamiento pasivo	91
3.2.14	Equipamiento eléctrico	92
CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DEL PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO DISEÑADO Y FACTIBILIDAD TÉCNICA.....		94
4.1	Modelación de los enlaces inalámbricos	94
4.1.1	Ubicación geográfica de los nodos y abonados	94
4.1.2	Ingreso de parámetros	94
4.1.3	Modelamiento Radio Mobile	96
4.1.4	Modelamiento AirLink.....	101
4.1.5	Margen de error de resultados	106
4.1.6	Cobertura inalámbrica en la parroquia de Guangopolo	106
4.2	Factibilidad técnica.....	106
4.2.1	Viabilidad del sector.....	107
4.2.2	Adquisición de equipamiento.....	108
4.2.3	Software de gestión (facturación)	108
4.2.4	Salida internacional	109
4.2.5	Robustez de la red	109
4.2.6	Topología diseñada del WISP	111
4.2.7	Aspectos regulatorios para los ISP.....	113
4.2.8	Resultados de la factibilidad técnica	115
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL WISP (PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO) EN GUANGOPOLO		117

5.1	Análisis de costos	117
5.1.1	Tendencia de demanda en la parroquia de Guangopolo	117
5.1.2	Proyección de ingresos	118
5.1.3	Costo de operación	119
5.1.4	Depreciación.....	120
5.1.5	Inversión.....	120
5.1.6	Flujo de caja	123
5.2	Cálculo del VAN, TIR y PRI.....	124
5.2.1	Tasa mínima aceptable (TMAR).....	124
5.2.2	Valor actual neto (VAN)	124
5.2.3	Tasa interna de retorno (TIR).....	125
5.2.4	Periodo de recuperación de la inversión PRI	125
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		126
6.1	Conclusiones.....	126
6.2	Recomendaciones	128
7	BIBLIOGRAFÍA	129
8	ANEXOS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestreo de tipo aleatorio simple, selección al azar la población para la obtención de la muestra de estudio.(Otzen & Manterola, 2017)	17
Figura 2. En el proceso se encarga de tomar una muestra de cada centro que componen la población para su representación. (Otzen & Manterola, 2017)	17
Figura 3. Muestreo aleatorio sistemático. (Otzen & Manterola, 2017)	18
Figura 4. Muestreo por conglomerados.(Otzen & Manterola, 2017).....	18
Figura 5. Arquitectura 802.11. (Regalado Jalca et al., 2018).....	24
Figura 6. Comparación modelo OSI con la capa Física del estándar IEEE 802.11.....	24
Figura 7. Comparación modelo OSI con la capa enlace de datos de IEEE 802.11.	26
Figura 8. Primera zona de Fresnel.(Monachesi et al., 2016).....	30
Figura 9. Topología de una red inalámbrica de larga distancia. (Araujo et al., 2011).....	32
Figura 10. Diseño jerárquico	32
Figura 11. Recolección de información habitantes de la parroquia de Guangopolo	39
Figura 12. Metodología PPDIOO. (El autor, 2020)	42
Figura 13. Métodos de proyección para el estudio de demanda de clientes	43
Figura 14. Característica de la tendencia de cuentas con su respectiva ecuación.....	44
Figura 15. Jerarquía de red del ISP inalámbrico para la parroquia de Guangopolo	48
Figura 16. Cuadrante mágico de gartner de infraestructura LAN y WLAN. (Gartner, 2019)	49
Figura 17. Topología lógica NAP.EC octubre 2020 (AEPROVI, 2020)	53
Figura 18. Topología jerárquica núcleo de la red del ISP.....	60
Figura 19. Topología jerárquica capa de distribución de la red del ISP	63
Figura 20. Topología jerárquica capa de acceso de la red del ISP.....	67
Figura 21. Infraestructura civil designada como nodo principal (Cuarto de telecomunicaciones).....	68
Figura 22. Puntos de localización TR y ubicación de la estación base para el nodo A	70
Figura 23. Puntos de localización TR y ubicación de la estación base para el nodo B	70
Figura 24. Conexión estación principal hacia nodo secundario A.....	75
Figura 25. Conexión estación principal hacia nodo secundario B	75
Figura 26. Simulación software AirLink Enlace nodo principal - Nodo A	79
Figura 27. Simulación software Airlink Enlace nodo principal - Nodo B.....	80

Figura 28. Topología de conexión del enlace principal y back up para la capa de distribución- capa de acceso	80
Figura 29. Instalación de la estación base Nodo A sector Rumiloma.....	84
Figura 30. Instalación de la estación base Nodo B sector Sorialoma	86
Figura 31. Planificación de frecuencias por antenas	90
Figura 32. Torre arriostrada para el nodo A. (Satelite Rover, n.d.)	92
Figura 33. Perfil del enlace entre nodo A hacia un abonado 1 del sector de Rumiloma	97
Figura 34. Perfil del enlace entre nodo A hacia un abonado 2 del sector de Rumiloma	98
Figura 35. Perfil del enlace entre nodo B hacia un abonado del sector de la Toglla	99
Figura 36. Perfil del enlace entre nodo B hacia un abonado del sector de Sorialoma	100
Figura 37. Ángulo de azimuth nodo A – Rumiloma con ancho de haz de 90°	102
Figura 38. Software AirLink encalce Nodo A - Abonado 1 Rumiloma	102
Figura 39. Ángulo de azimuth nodo A – Rumiloma con ancho de haz de 90°	103
Figura 40. Software AirLink encalce Nodo A - Abonado 2 Rumiloma	103
Figura 41. Ángulo de azimuth nodo B - Toglla con ancho de haz de 90°	104
Figura 42. Software AirLink encalce Nodo B - Abonado 1 Toglla	104
Figura 43. Ángulo de azimuth nodo B - Sorialoma con ancho de haz de 90°	105
Figura 44. Software AirLink encalce Nodo B - Abonado 1 Sorialoma	105
Figura 45. Topología de la red diseñada del WISP para la parroquia de Guangopolo	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. “ <i>Nivel de confianza</i> ”. (Aguilar, 2005).....	19
Tabla 2. Precisión absoluta (d). (Aguilar, 2005).....	19
Tabla 3. Diferencias entre estándares 802.11 n y 802.11 ac. (Goyena & Fallis, 2019).....	22
Tabla 4. Factores de rugosidad y clima.(Tomasi et al., 2003)	29
Tabla 5. Ubicación geográfica de la Parroquia	37
Tabla 6. Comparación entre Wi-Fi y WiMax	40
Tabla 7. Proyección de las cuentas de internet fijo de la Provincia de Pichincha	45
Tabla 8. Proyección de cuentas de internet para la Parroquia Guangopolo 2020-2025.....	46
Tabla 9. Comparación entre dos fabricantes para el equipo que cumpla la función de Access Point.....	50
Tabla 10. Comparación entre dos fabricantes para la selección de la antena sectorial.....	51
Tabla 11. Comparación entre dos fabricantes para la selección del equipo CPE	52
Tabla 12. Velocidades (Mbps) con actividades comunes en la navegación por Internet. (Federal Communications Commission, 2018)	54
Tabla 13 Planes de Internet para la parroquia de Guangopolo	58
Tabla 14. Capacidad del canal año 2021	58
Tabla 15. Comparación entre fabricantes para el equipo de núcleo de la red.....	60
Tabla 16. Comparación entre dos fabricantes para la selección del equipo que cumple la función de distribución en la red.....	62
Tabla 17. Comparación entre dos fabricantes para el equipo de la capa de acceso	64
Tabla 18. Segmentación de la red interna del ISP	64
Tabla 19. Comparación de las dos distribuciones más utilizadas de Linux	65
Tabla 20. Fibra óptica recomendación UIT-T G.652.(ITU-T, 2016).....	69
Tabla 21. Cantidad total en metros de fibra óptica G652.D exteriores.....	73
Tabla 22. Especificaciones técnicas de la interfaz óptica MikroTik S-31DLC20D	74
Tabla 23. Frecuencias asignadas para los enlaces principales para el ISP de la Parroquia de Guangopolo.....	77
Tabla 24. Características de equipamiento Backup AP y antena.....	77
Tabla 25. Presupuesto del enlace capa distribución- capa acceso.....	79
Tabla 26 Enlaces principales hacia los abonados	81
Tabla 27. Nodo A centro de operaciones ISP de la parroquia de Guangopolo.....	82
Tabla 28. Ubiquiti PS-5AC del fabricante Ubiquiti Networks	83

Tabla 29. Antena sectorial AM-5AG20-90° del fabricante Ubiquiti Networks	83
Tabla 30. Nodo B del ISP de la parroquia de Guangopolo	84
Tabla 31. Access Point nodo A comuna Rumiloma	85
Tabla 32. Antena sectorial Ubiquiti con ancho de haz 90°	85
Tabla 33. Equipos local del cliente LBE-5AC-Gen2 del fabricante Ubiquiti.....	86
Tabla 34. Comparativa de 3 fabricantes para el router Access Point del abonado	87
Tabla 35. Terminología para el presupuesto de propagación	88
Tabla 36. Límites de emisión para espectro UDBL. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2018).	89
Tabla 37. Asignación de frecuencias con canales de de 40 MHz en la banda de 5 GHz (PtMP).....	90
Tabla 38. Asignación de canales por cada nodo y el sector que da cobertura	90
Tabla 39. Presupuesto de enlace de los nodos A y B hacia 5 abonados	91
Tabla 40. Back-Ups Pro para misión crítica	92
Tabla 41. Coordenadas del nodo A comuna Rumiloma con sus respectivos abonados	94
Tabla 42. Coordenadas del nodo B comuna Sorialoma con sus respectivos abonados	94
Tabla 43. Enlaces de radio Punto multipunto nodo A y B.....	101
Tabla 44. Validación de resultados obtenidos de manera teórica con las simulaciones realizadas.....	106
Tabla 45. Empresas proveedoras de equipos en el Pais	108
Tabla 46. Regresión lineal simple cantidad de cuentas de Internet parroquia de Guangopolo.....	118
Tabla 47. Proyección de las cuentas de internet fijo en la parroquia de Guangopolo años 2021-2025	118
Tabla 48. Valor de ingresos anuales	119
Tabla 49. Valor económico del costo de operación para el WISP.....	120
Tabla 50. Depreciación anual.....	120
Tabla 51. Valor económico de la fibra óptica con su respectivo tendido	122
Tabla 52. Valor del despliegue de la fibra óptica tomando en cuenta el equipamiento....	122
Tabla 53. Valor de la inversión para el proveedor de servicio de Internet inalámbrico ...	122
Tabla 54. Flujo de caja del WISP en el periodo 2021-2025	123
Tabla 55. Flujo efectivo del proyecto e inversión.....	125

RESUMEN

El presente proyecto hace referencia al diseño de un proveedor de servicio de Internet inalámbrico para la parroquia de Guangopolo, el mismo pretende proveer el servicio a zonas rurales a un precio accesible con la topología de acceso de última milla inalámbrico, buscando de esta manera reducir el problema de acceso al Internet y la reducción de la brecha digital existe en el País.

A partir del análisis inicial se empleó una investigación descriptiva en base a cuestionarios a la muestra de la parroquia, obteniendo el porcentaje de la cantidad de nuevos usuarios, juntamente con la proyección de cuentas de internet fijo por medio de una regresión lineal de la tendencia para los siguiente 5 años.

El diseño propuesto se lo realizó con el estándar IEEE 802.11 ac en la franja del espectro no licenciado a 5 GHz con el protocolo del censado al medio TDMA con transmisiones MIMO con equipamiento MikroTik para la red jerárquica y para los enlaces inalámbricos a Ubiquiti garantizando la robustez de la red.

Se utilizó como instrumentos de evaluación del diseño a Radio Mobile y AirLink, para obtener la factibilidad técnica con niveles de potencia de recepción en el rango de sensibilidad permitido y tasa de trasferencias de +305 Mbps, además se cumplió la recomendación UIT-R P.530-13 acerca de trayecto entre el TX y Rx debe estar libre de obstáculos en la primera zona de Fresnel. Por lo tanto, se concluye que es viable el proyecto tanto en la parte técnica, legal y económica con un PRI de 1 año 8 meses para la recuperación de la inversión.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Estudio de demanda

1.1.1 Metodología de investigación

De manera conceptual existe diferentes tipos de metodologías de investigación con sus respectivas características, dependerá del tipo de estudio de lo que se va a realizar basado en el objetivo e hipótesis. A continuación, se detallan 3 tipos de metodologías para el desarrollo del estudio del proveedor de servicio de Internet Inalámbrico.

– Investigación descriptiva

Es la capacidad de seleccionar características fundamentales de la población que se está estudiando, detallando así su categoría y clase. Soporta técnicas como encuestas, entrevistas, observaciones entre otras técnicas.(Bernal, 2010)

– Investigación de campo

Es un método que no se apoya tanto en la teoría, si no en la recolección de los datos que detectan patrones para dar explicación al fenómeno de estudio. De manera general tiene como finalidad obtener y registrar información o datos relevantes del objeto de estudio, para esto se subdivide en dos tipos de técnicas que se detallan a continuación.(Baena Paz, 2017)

– Investigación según datos empleados

Investigación cuantitativa, analiza datos numéricos relacionadas a las variables y al estudio realizado, permite recopilar información cuantificable para los análisis estadísticos de la muestra de la población.

Investigación cualitativa: Se aplica en técnicas con análisis de discurso, entrevistas abiertas y observaciones del participante.(Baena Paz, 2017)

1.1.2 Población de estudio

Determinar un grupo de estudio es ideal en un ámbito de investigación para obtener resultado confiables, teniendo el concepto de población de estudio guiado en la elección de la muestra, esta no solo es para seres humanos o animales, sino también a muestras químicas, objetos entre otras, se realiza encuestas a una parte de la población sin necesidad de obtener toda la población con el beneficio de reducir tiempos y recursos.(Arias-Gómez et al., 2016)

– Selección de población de estudio

Para estudios de investigación se toman muestras en lugar de utilizar una población total reduciendo tiempo, recursos y aumentando la calidad del estudio, se debe considerar la homogeneidad la cual menciona que toda la población de estudio debe tener la misma característica con la identificación de la temporalidad para determinar el estudio este en el presente o pasado.(Arias-Gómez et al., 2016)

– Criterios de selección

El concepto es apropiado para que el investigador defina criterios de elegibilidad en la población de estudio, se manejan 3 tipos de criterios y se detallan a continuación.

- Criterio de Inclusión: Características particulares de las personas de estudio como ejemplo edad, sexo, nivel económico, enfermedad, estado civil.(Arias-Gómez et al., 2016)
- Criterio de Exclusión: Se enfoca a características que pueden alterar los resultados por ende estos no son elegibles para la selección de la población de estudio.
- Criterio de eliminación: Características que se presentan en el desarrollo de investigación, en si sucede después de iniciar y tener ya la población de estudio.(Arias-Gómez et al., 2016)

1.1.3 Técnicas de muestreo

Es una herramienta de investigación científica que permite extraer una parte de una representación. La muestra probabilística estudia a grupos pequeños de una población con métodos de selección aleatoria y toda la población tiene la misma oportunidad de ser seleccionada. Existen 4 tipos de muestreo probabilísticos para la obtención de una muestra significativa y 3 tipos de muestreo no probabilístico.(Otzen & Manterola, 2017)

– Aleatoria simple

Es un procedimiento en que los elementos de estudio pertenecientes al universo tengan la misma probabilidad para ser incluidos en el estudio (muestra), esto se observa en la Figura 1 con la selección al azar de cada persona sea hombre o mujer.(Otzen & Manterola, 2017)

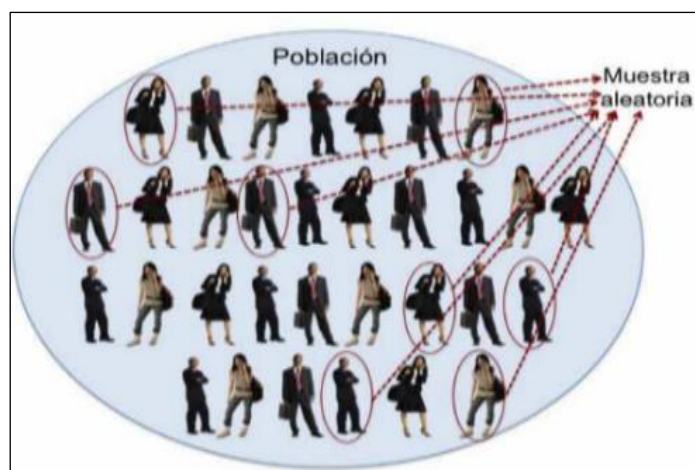


Figura 1. Muestreo de tipo aleatorio simple, selección al azar la población para la obtención de la muestra de estudio.(Otzen & Manterola, 2017)

– **Aleatoria estratificado**

Determinar los extractos que posee la población de estudio, el investigador divide la población en subgrupos como se observa en la Figura 2, con 4 subgrupos posteriormente selecciona y extrae aleatoriamente a los elementos de diferentes subgrupos o extractos de manera proporcional para ser analizadas.(Otzen & Manterola, 2017)

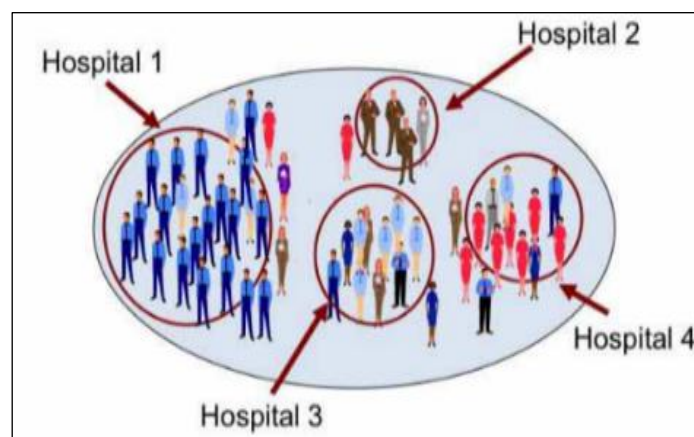


Figura 2. En el proceso se encarga de tomar una muestra de cada centro que componen la población para su representación. (Otzen & Manterola, 2017)

– **Aleatorio sistemático**

Es aplicable cuando la distribución de los elementos tiene características similares y está más cercanos u ordenados como se observa en la Figura 3, es un muestreo más preciso que el aleatorio simple, las muestras tomadas son de manera directa.(Otzen & Manterola, 2017)



Figura 3. Muestreo aleatorio sistemático. (Otzen & Manterola, 2017)

– Aleatorio conglomerado

“Técnica que elige de manera aleatoria ciertos grupos de una comunidad” o país que representan correctamente la población de estudio en función de las características que se desean medir, en la Figura 4 detallan la selección al azar de la muestra.(Otzen & Manterola, 2017)

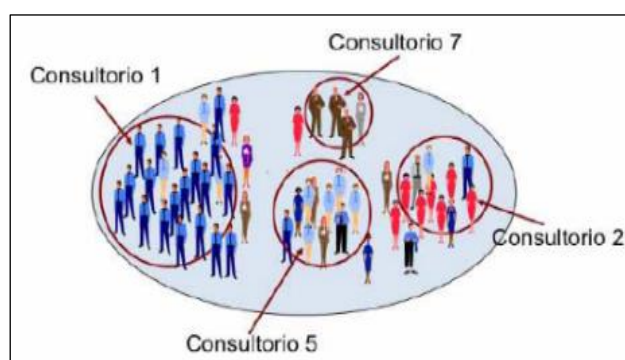


Figura 4. Muestreo por conglomerados.(Otzen & Manterola, 2017)

– Intencional

Se utiliza para casos característicos y la muestra del estudio está limitada solo a esos casos con la selección basado en conocimiento o credibilidad del investigador, generalmente se utiliza en poblaciones es variable.(Otzen & Manterola, 2017)

– Conveniencia

La muestra se selecciona debido a su disponibilidad, accesibilidad para el investigador y su selección es en base a su facilidad de incluirlos.(Otzen & Manterola, 2017)

– Accidental o consecutivo

La muestra adquirida es de tipo causal en la cual el investigador elige una muestra o un grupo de muestras hasta completar el tamaño de la muestra.(Otzen & Manterola, 2017)

1.1.4 Tamaño de muestra

El proceso para la obtención del tamaño de la muestra es por medio de procedimientos estadísticos utilizado en las fases de investigación con el objetivo de responderse distintas preguntas por parte del investigador, orientados a la cantidad de personas que se debe considerar para el caso de estudio del proveedor de servicio de Internet, teniendo un grado de confianza determinado. A continuación, se detalla en la Ecuación 1 la fórmula para la obtención de la muestra con su respectiva terminología de términos.(Aguilar, 2005)

$$n = \frac{N * Z^2 * P * Q}{d^2 (N-1) + Z^2 * P * Q} \quad (1)$$

Donde:

- n = “Tamaño de la muestra”. (Aguilar, 2005)
- N = “Tamaño de la población”. (Aguilar, 2005)
- Z = “Nivel de confianza”. (Aguilar, 2005)

Para lo cual se tiene un Z, entre más confianza tenga se deberá a un número más elevado de sujetos para el estudio, en la Tabla 1 se detallan los niveles de confianza más comunes.(Aguilar, 2005)

Tabla 1. “Nivel de confianza”. (Aguilar, 2005)

% Error	“Nivel de confianza”	“Valor de z”
1	99%	2.58
5	95%	1.96
10	90%	1.645

- d = “Precisión absoluta”. (Aguilar, 2005)

Es un intervalo de confianza cuanto más preciso se desee el estudio, más reducido será el intervalo por ende nos permitirá mayores sujetos en el estudio. A continuación, se detalla la Tabla 2 con sus respectivos valores de precisión absoluta característicos.(Aguilar, 2005)

Tabla 2. Precisión absoluta (d). (Aguilar, 2005)

%	Valor d
90	0.1
95	0.05
99	0.001

- P = Proporción de manera porcentual de la población que posee la característica de estudio que se está realizando. Estos datos no se conocen es por esta razón que se sugiere tomara valore de P y $Q = 0.5$
- Q = Proporción de individuos que no posee las características de estudio

1.1.5 Fuentes de recolección de información

Fuentes primarias: Es la información que se obtiene de manera directa de primera mano.

Fuentes secundarias: Todas aquellas fuentes que proporciona información acerca del objeto de estudio, pero no son fuentes directas estas sirven como referencia. (Bernal, 2010)

– Técnicas de recolección de investigación

Seguir una técnica es óptimo en la recolección de información durante la investigación, es por esta razón que se detallan las siguientes técnicas que se utilizaran.

Encuesta: Técnica enfocada en recolección de información, en algún caso pierde credibilidad por el sesgo de personas encuestas.(Bernal, 2010)

Observación directa: Debido a la obtención de información directa y confiable esta esta técnica posee cada día una mayor credibilidad.(Bernal, 2010)

Análisis de documentos: Datos obtenidos por documentos o información emitida por entidades pertinentes.(Bernal, 2010)

1.2 Tecnologías inalámbricas

1.2.1 Tipos de redes inalámbricas

Es un término referente a la tecnología sin la utilización de cables y es otra manera de acceder a un servicio de Internet sin la necesitada de tener un cable conectado a la red con el beneficio de tener movilidad el usuario final dentro de un área en específico.

- Redes de área personal inalámbricas (WPAN) No son usadas para acceder al servicio de internet, más bien son utilizadas para la transmisión de datos en distancias cortas como en impresoras, control remoto con rango de 10 m.

- Redes de área local inalámbrica (*WLAN*) Son redes privadas para el acceso a internet por medio de tablets, smartphone con aproximadamente 100 m de cobertura, el estándar es IEEE 802.11 en frecuencias licenciadas y no licenciadas.
- Redes de área metropolitana inalámbrica (*WMAN*) Posee un alcance más extenso que redes de área local con cobertura hasta decenas de kilómetros, basada en el estándar IEEE 802.16 con velocidades hasta de 70 Mbps.
- Redes de área ampliada inalámbrica (*WWAN*) Su radio de cobertura es a centenas de kilómetros, han tenido un impacto considerable en los países debido a su alcance. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2019)

1.2.2 Wi-Fi

1.2.2.1 Evolución del estándar IEEE 802.11

Las redes inalámbricas se basan en el estándar “*IEEE 802.11, aprobado por la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en 1997*”, pero sus dos primeras versiones nacieron en 1999, este estándar con respecto al modelo OSI define la Capa 1 como física y dentro de Capa 2 de enlace de datos están la “*subcapa MAC (control de acceso al medio) con la subcapa LLC*”, la última se mantiene como los protocolos de la IEEE 802.2 para la compatibilidad con el resto de redes IEEE para su conexión idónea.(Rendón et al., 2011)

– IEEE 802.11 b

Estándar con velocidades teóricas de 11 Mbps con 25 MHz de ancho de banda, trabaja en la banda “*ISM (Industrial, Scientific and Medical) a 2.4 GHz*”, sus capas principales son capa física (*PHY*) y la de control de acceso al medio (*MAC*). (Rendón et al., 2011)

– IEEE 802.11 a

Fue estandarizado en 1999 con velocidades 5 veces mayor a IEEE 802.11 b no logro una acogida, una de las razones es que trabaja en la banda de 5 GHz que fuera de Estados Unidos no era libre. IEEE 802.11 a cada canal tramite 52 subportadoras equiespaciadas con la técnica OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) esta tiene resistencia al multi trayecto con canales de 20 MHz a velocidades nominales de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps con una disminución de interferencia con canales sin solapamiento.(Rendón et al., 2011)

– **IEEE 802.11 g**

Aprobada en el año 2003 por la IEEE este estándar buscaba una compatibilidad con la versión anterior 802.11 b ofreciendo velocidades teóricas de hasta desde 20 - 54 Mbps, con la frecuencia de 2,4 GHz, se caracteriza por trabajar con dos técnicas de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), este remplazo 802.11 b al proporcionar mayor velocidad de transmisión y tener el mismo rango de frecuencias en la banda de 2.4 GHz.(Rendón et al., 2011)

– **IEEE 802.11 n**

Estándar IEEE 802.11 n aprobado en septiembre de 2009 introduciendo la técnica MIMO (Múltiples Entradas Múltiples Salidas) lo que implica tener varios transmisores y receptores para tener altas velocidades hasta 600 Mbps con rango de cobertura de 300 metros, así como la eficiencia espectral del sistema. El estándar IEEE 802.11 n, soporta configuración MIMO 4x4 a 40 MHz, además se utiliza OFDM.(Rendón et al., 2011)

– **IEEE 802.11 ac**

Una de las últimas evoluciones de 802.11 es IEEE 802.11 AC en diciembre de 2012 con mejoras sustanciales en la velocidad alcanzando 1.3 Gbps, a esta se le conoce como Wi-Fi 5 con un radio de cobertura de 100 metros, el estándar funciona en la banda de 5 GHz, este canal ofrece más canales con mayor ancho de banda y menor interferencia generando una mejor estabilidad en la conexión.(Meden, 2014)

Las técnicas utilizadas para aumentar la velocidad para la IEEE 802.11 ac es la agregación de las técnicas similares a las de 802.11 n como MIMO, pero estas son mejoradas, por lo cual en lugar de utilizar MIMO que permite aumentar el número de flujos de envío de datos para un solo cliente, IEEE 802.11 ac tiene la característica de una forma multiusuario MIMO que permite un acceso al AP a varios clientes al mismo tiempo.(Goyena & Fallis, 2019)

Tabla 3. Diferencias entre estándares 802.11 n y 802.11 ac. (Goyena & Fallis, 2019)

Característica	802.11 n	802.11 ac
Ancho de canal	20, 40 MHz	Canales 20,40,80 y 160 MHz
Modulación	64 QAM	256 QAM
MIMO	<i>SU - MIMO</i>	<i>SU - MIMO/MU -MIMO</i>
Banda de operación de frecuencia	2,4 y 5 GHz	5 GHz
Velocidad máxima de datos	450 Mbps	1.3/2.6 Gbps

– **Características principales del estar IEEE 802.11 AC**

Canales más anchos: Características innovadoras es los nuevos tamaños en su canal con 80 MHz y 160 MHz, las mismas son subdividas por Onda-1 y Onda-2, para el primero admiten canales de 20,40 y 80 MHz y los segundos mayor capacidad 20,40,80 y 160 MHz.(Goyena & Fallis, 2019)

- Modulación: Trabaja con una modulación más compleja 256 AM y permite enviar 8 bits por periodo de símbolo, teniendo mayores velocidades de datos.(Goyena & Fallis, 2019)
- Beamforming: En el estar IEEE 802.11 ac posee la tecnología de Beamforming esta permite ajustar las señales de radio frecuencia que se enviar y determinar el mejor camino a tomar para alcanzar a dispositivo final (cliente), siempre basado en la reducción de interferencia y mejorar la calidad de la señal Wi-Fi. Su característica es transmitir a direcciones específicas o lugares en vez de irradiar señal en varias direcciones por ende se logrará distancias más lejanas.(Goyena & Fallis, 2019)
- MIMO Multiusuario: La tecnología MU-MIMO garantiza más flujos especiales con hasta 8 flujos en comparación con los 4 flujos que posee 802.11 n, de manera genera permite al Access Point permite enviar tramas de información a múltiples clientes en el mismo instante de tiempo y frecuencia.(Goyena & Fallis, 2019)
- **IEEE 802.11 ax**

Grupo de investigación IEEE 802.11 aprobó el desarrollo de un nuevo estándar WLAN IEEE 802.11 ax, también conocido como Wi-Fi 6, tiene objetivo de mejorar eficiencia en escenarios con alta densidad de dispositivos y velocidades máximas de 4,8 Gbps, en las frecuencias de 2,4 y 5 GHz. IEEE 802.11 ax mejorará las implementaciones existentes de 802.11 a, g, n y ac. *“Su acceso al canal basado en OFDMA es totalmente compatible con versiones anteriores de EDCA / CSMA tradicional, finalmente posee modulación más densa usando 1024 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)”* .(Cisco, 2020)

1.2.2.2 Arquitectura IEEE 802.11

La arquitectura del protocolo IEEE 802 tiene una similitud en sus características, incluyendo tanto a 802.11(Wi-Fi) como Ethernet, En la Figura 5 se tiene la capa física que

corresponde a la capa física del modelo OSI, pero la capa de enlace de datos del protocolo IEEE 802 posee dos o más subcapas. (Regalado Jalca et al., 2018)

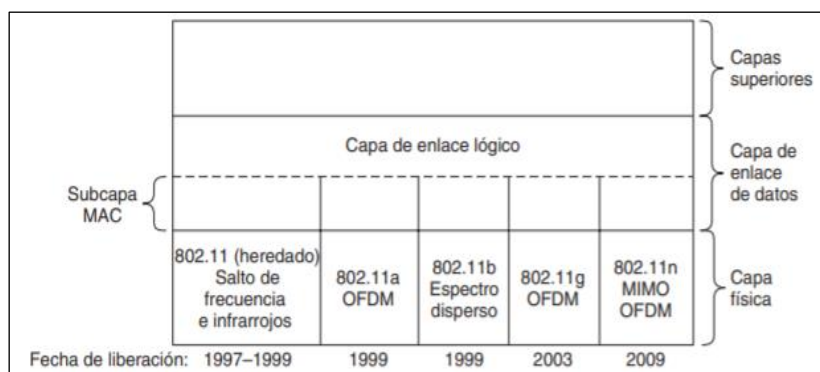


Figura 5. Arquitectura 802.11. (Regalado Jalca et al., 2018)

En la capa enlace de datos se encuentra la subcapa “MAC (*Control de acceso al medio*)”, su función es la asignación del canal para saber a quién le toca transmitir, la siguiente subcapa es LLC (*Control de enlace lógico*) para la identificación del protocolo que se está transportando dentro de la trama.

– Capa Física

“En la capa física del estándar IEEE 802.11 está compuesta por dos subcapas PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*) y PMD (*Physical Medium Dependent*”,) misma se encuentra detallada en la Figura 6, su característica es la detección de la portadora, transmisión y recepción de información, con 3 técnicas de transmisión con el concepto de espectro expandido. (Peñarrieta Bravo, 2019)

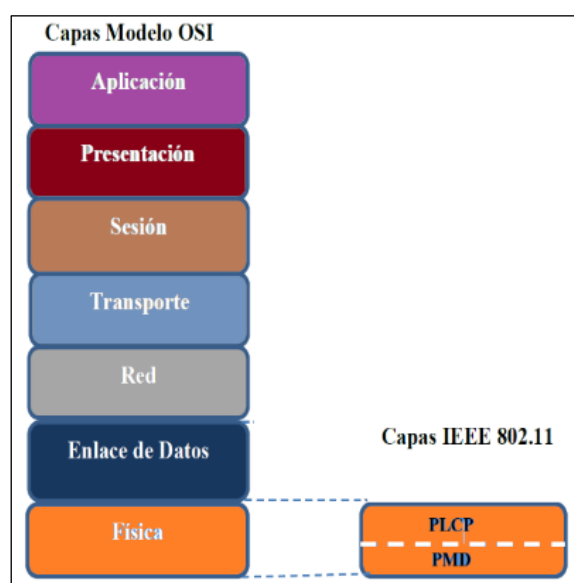


Figura 6. Comparación modelo OSI con la capa Física del estándar IEEE 802.11.

Tanto “*FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)* y *DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)*” trabajan en bandas no licenciadas de 2,4 GHz, en DSSS tiene un canal de 22 MHz, cada canal está centrado en la portadora con distancias de 5 MHz, comenzando del canal 1 (2.412 MHz) al tener una distancia corta entre canales estos sufren solapamiento debido a su proximidad, para canales sin solapamiento debe haber una separación mínimo de 5 canales para que no se interfieran entre ellos (canales sin interferencia 1,6,11). Para FHSS, iniciando en el canal 0 con frecuencia central de 2.4 GHz, canal 1 en 2.401 GHz, fue dividida en 79 canales de 1 MHz.(Peñarrieta Bravo, 2015)

Las tres técnicas de espectro expandido que se utilizan en el estándar 802.11 son:

- La técnica “*FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)*”, consiste en transmitir información en una determinada creencia durante un rango de tiempo, este tiempo debe ser inferior a 400 ms, al pasar este tiempo cambia la frecuencia que se envía y se sigue transmitiendo en otra nueva, por esta razón diferentes estaciones pueden transmitir al mismo tiempo sin que estas se interfieran debido a la secuencia de saltos ortogonales que realizan.(Rendón et al., 2011)
- La técnica “*DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)*” es una codificación de pseudoruido, la cual se combina con una secuencia de chipping esta es conocida tanto por el transmisor como receptor, su desventaja es que la señal llega atenuada, posee un canal de 22 MHz. (Rendón et al., 2011)
- La técnica “*OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*” encargada del mejoramiento del rendimiento de la transmisión de datos, con modulación digital, esta envía bits en paralelo sobre múltiples frecuencias contenidas en un solo canal de 20 MHz de ancho. De manera general cada canal está constituido por 64 subportadoras cada una posee espacio de 312.5 KHz.(Rendón et al., 2011)
- **Capa de enlace de datos**

Se encarga de transformar los bits de la capa física a tramas (*framing*) en la capa de enlace de datos, se utilizan técnica de control de acceso y detección de errores enfocado en tener una comunicación confiable. Cada trama que se encapsula posee un encabezado. La capa de enlace de datos tiene 2 subcapas las cuales se detallan a continuación y se observan en la Figura 7.

- Capa (LLC) Control de enlace lógico: Se encarga de colocar en la trama información que protocolo de capa de red se utiliza
- Capa MAC Control de acceso al medio: Enfocado en proceso de acceso al medio y posee las siguientes funcionalidades.

Entrega confiable de datos: El envío de datos inalámbricamente está expuesta a ruidos, interferencias entre otros efectos que ocasionan pérdidas de tramas, es por esta razón que el estándar tiene un control virtual de portadora basado en *RTS*, *CTS*, *DATOS*, *ACK*.

MAC evitando colisiones: Se caracteriza para generar una mayor confiabilidad, esta se encarga de intercambiar 4 tramas de control. (Peñarrieta Bravo, 2015)

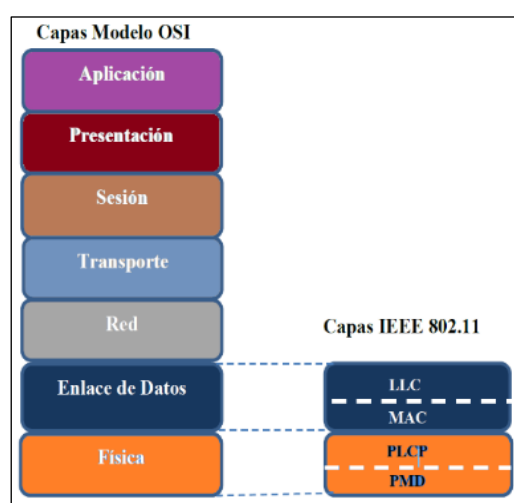


Figura 7. Comparación modelo OSI con la capa enlace de datos de IEEE 802.11.

1.2.2.3 Wi-Fi de Largo alcance

La tecnología inalámbrica proporciona innumerables beneficios, evolucionando las comunicaciones a largas distancias, con poca planificación y robustez contra algún accidente o pérdida del cable. IEEE 802.11 inicialmente no fue diseñada para ambientes exteriores debido a sus inconvenientes que posee como la velocidad, la misma dependerá de la potencia de recepción, es por esta razón que inicialmente si se deseaba tener enlaces de larga distancia se tenía velocidades muy bajas, logrando un enlace no óptimo.

A partir del año 2001 se registraron nuevos estudios tomando en consideración comunicaciones a largas distancias con Wi-Fi, teniendo grupos de investigaciones como el de *Digital Gangetic Plains (DGP)* y *Technology and Infrastructure for Emerging Regions (TIER)* en India y Estados Unidos respectivamente desarrollando estudio de enlaces punto a punto (*PtP*) de varios kilómetros con tecnología Wi-Fi. (Peñarrieta Bravo, 2015)

Los últimos estudios enfocados a redes Wi-Fi de larga distancia basadas en la utilización de “*TDMA (Time Division Multiple Access)*”, debido a las redes Wi-Fi tradicionales trabajan por defecto con el protocolo de censado al medio *CSMA/CA* de la subcapa MAC, las mismas no es adecuada para enlaces de larga distancia debido al desvanecimiento de la señal y la interferencia es por esta razón que se utiliza el protocolo TDMA como una alternativa.(Peñarrieta Bravo, 2019)

TDMA técnica de comunicación que permite a varios usuarios utilizar un canal común dividiendo en slot de tiempo, asegurando que no experimente interferencia por lo tanto son libres de colisiones.

1.2.3 WiMAX

“*Estándar IEEE 802.16 desarrollador por (Institute of Electrical and Electronics Engineers)*” y tomo el nombre comercial de WIMAX (*World Wide Interoperability for Microwave*), tiene características es su compatibilidad con WI-FI, creada en el año 2002 para alcanzar rango de distancias grandes con una velocidad de hasta 120 Mbps y bandas de frecuencia de 10, 66 GHz.(Araujo et al., 2011)

Este estándar es diseñado para redes metropolitanas sin línea de vista con soporte de calidad de servicio QoS, el estándar IEEE 802.16 tiene bandas licenciadas de 10 a 66 GHz y bandas por debajo de los 11 GHz, soporta escenarios con y sin línea de vista para entornos metropolitanos y de larga distancias con capacidades de hasta 120 Mbps.(Araujo et al., 2011)

La tecnología que utiliza para la transmisión es ODFM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), posee la capacidad de asignar distintos anchos de banda desde 1.5 MHz a 20 MHz con el objetivo de tener la posibilidad de reutilizar frecuencias con una mejor planificación y hace que el número de canales no interfieran entre sí.(Araujo et al., 2011)

1.3 Propagación de ondas electromagnéticas

“*La propagación de ondas electromagnéticas se las llama propagación de radiofrecuencia (RF)*”, son ondas que se propagan por el espacio interconectando terminales de telecomunicaciones y se ven afectados por los fenómenos reflexión, refracción, difracción, dispersión entre otros efectos.(Tomasi et al., 2003)

- Atenuación: Efecto que se da cuando “*se aleja el frente de onda, el campo eléctrico se dispersa*”. (Tomasi et al., 2003)
- Difracción: Efecto de desviación al encontrar un obstáculo y “*las ondas de radio se propaguen en torno a esquinas*”.(Tomasi et al., 2003)
- Reflexión: Efecto característicos de rebote que experimenta, se da cuando una onda choca entre dos medios y algo de la potencia que incide no penetra al otro medio.(Tomasi et al., 2003)
- Dispersión: Fenómeno de separación de ondas de distinta frecuencia cuando atraviesa otro medio. (Tomasi et al., 2003)

1.3.1 Pérdidas de propagación

Uno de los conceptos importante en un diseño inalámbrico es predecir el comportamiento de la transmisión de la señal entre el Tx y Rx con su respectiva pérdida de la señal con el objetivo de saber si el enlace es viable o no, esto es independiente del tipo de modulación o protocolos.(Monachesi et al., 2016)

- **Pérdidas en espacio libre (FSL)**

Es la potencia que se atenúa entre dos puntos, usado para predecir el nivel de potencia que se receipta cuando el Tx y Rx posee una línea de vista sin obstrucción. Esa atenuación no tiene relación con la lluvia o niebla más bien esta depende de la distancia, “*la pérdida en espacio libre es proporcional al cuadrado de la distancia y también al de frecuencia*”, en la Ecuación 2 se detalla la fórmula para la obtención de la pérdida de espacio libre en decibelios(dB).(Monachesi et al., 2016)

$FSL \text{ (dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + k$	(2)
--	-----

d: Distancia entre los puntos tanto de transmisor como recepción en kilómetros

f: Frecuencia en el orden de los GHz

k: Constante depende de las unidades d y f en este caso es de 92,4

- **Pérdidas por atenuación**

Es una pérdida que se da debido a los objetos como paredes, edificios, arboles ventanas, seres humanos por el cual debe atravesar la señal para llegar hacia el receptor, esta atenuación varia debido a que se debe por cada material que este compuesto, de manera experimental se

tiene que los árboles posee pérdidas entre 10 a 20 dB o paredes entre 10 a 15 dB.(Monachesi et al., 2016)

– **Multitrayectos**

Efecto conocido como fading (dispersión de señal), se debe a la potencia de radio frecuencia cuando se transmite se dispersa, parte de la potencia es receptada directamente mientras que otra parte se refleja en el suelo u otros obstáculos, esta última genera un retardo, debido que la señal tiene una trayectoria más extensa, las señales reflejadas se añaden causando problemas en el caso que se encuentren desfasadas y al momento de sumarles la señal transmitida se anula por la señal reflejada.(Monachesi et al., 2016)

– **Margen de desvanecimiento**

Se describe en la Ecuación 3 el margen de desvanecimiento (Fm) se caracteriza por ser pérdidas adicionales que sufren la señales como la sensibilidad del terreno o también las perturbaciones meteorológicas y efecto multitrayecto que se generan. *“El margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia de un sistema como una pérdida”*.(Tomasi et al., 2003)

$$Fm = 30 \log (d) + 10 \log (6 * A * B * f) - 10 \log (1 - R) - 70 \quad (3)$$

Donde:

Fm = Simboliza el margen de desvanecimiento valor en decibeles

d = Es la distancia en kilómetros entre el Tx y Rx

f = frecuencia en GHz

R = confiabilidad de la transmisión

En la Tabla 4 se detalla los factores de rugosidad y de clima A y B respectivamente.

Tabla 4. Factores de rugosidad y clima.(Tomasi et al., 2003)

Factor de rugosidad del terreno A	Factor	Factor climático B	Factor
Agua, ríos o sobre un terreno muy liso	4	Áreas marinas o condiciones de peor mes	1
Terreno normal	1	Áreas calientes y húmedas	0,5
Terreno muy áspero y montañoso	0,25	Áreas promedio (clima normal)	0,25
		Áreas muy secas o montañosas de clima seco	0,125

1.3.2 Criterio de despegamiento del trayecto

1.3.2.1 Zona de Fresnel

“El radio de la zona de Fresnel depende de la longitud de onda (λ) y de la distancia entre las antenas”, en la Ecuación 4 se describe la fórmula con las condiciones a tomar en cuenta, si la primera zona de Fresnel se encuentra parcialmente bloqueada por algún obstáculo la señal que se recibe tendrá una atenuación y en algunos casos la señal no llegara a su destino, es por esta razón que debemos asegurarnos que esta zona este libre, en redes inalámbricas se debe considerar que al menos el 60 % de la primer zona de Fresnel debe estar despejada.(Araujo et al., 2011)

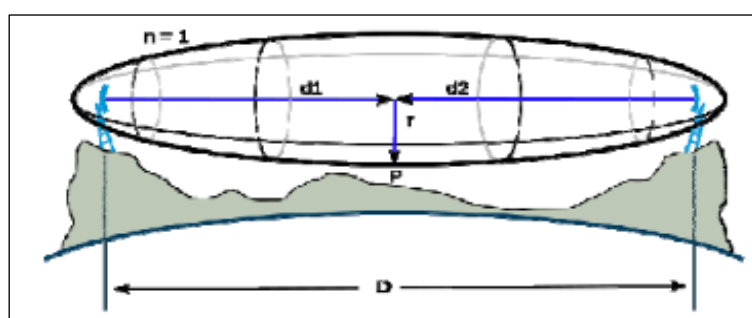


Figura 8. Primera zona de Fresnel.(Monachesi et al., 2016)

$$r = 17.31 \sqrt{\left(\frac{d_1 * d_2}{f * d}\right)} \quad (4)$$

- r = Simboliza el radio de la primera zona en metros.(Monachesi et al., 2016)
- d_1 y d_2 = Distancias desde el obstáculo a los extremos del enlace en metros.
- d = Es la distancia total del enlace en metros $d = d_1 + d_2$.(Monachesi et al., 2016)
- f = Valor de la frecuencia en MHz.(Monachesi et al., 2016)

1.3.3 Margen de Umbral

Concepto característico que permite determinar si el enlace funciona correctamente, el valor obtenido debe ser mayor o igual al margen de desvanecimiento con el objetivo de garantizar que el enlace en todo el tiempo y en casos desfavorables tiene un nivel de confiabilidad, en la Ecuación 5 se describe la fórmula que depende de la potencia de recepción y la sensibilidad.

$$\text{Urx-Sensibilidad} = \text{Prx} \quad (5)$$

1.4 Topología de red

– Topología punto - punto

Se encuentra conformada por dos nodos con característica para el acceso a Internet, en la cual el un nodo está conectado al Internet y el otro nodo cumple la función de permitir acceder a ella, este tipo de enlaces transmiten grandes cantidades de datos tanto audio, voz y datos.(Butler et al., 2013)

– Topología punto - multipunto

Permitir comunicar varios nodos a un punto central, un ejemplo claro es un punto de red inalámbrica que brinda acceso a diferentes dispositivos, de manera general existen tipos de conexiones punto multipunto como estrella, bus, anillo.(Butler et al., 2013)

– Topología de una red Wi-Fi larga distancia

La topología de red para largas distancias se trabaja en modo infraestructura con la característica de comunicación entre si a través de un punto de acceso, de manera que las estaciones que posee una distancia extensa una de la otra se comuniquen a través de él. *“La topología puede comprender enlaces tanto punto a punto (P2P) y enlaces punto a multipunto (P2MP) con alta ganancia debido a sus antenas directivas”*.(Araujo et al., 2011)

En la Figura 9 se observan los nodos involucrados y los enlaces, a continuación, se detallan cada uno de ellos:

- Enlace troncal: Este enlace forma la red principal para la conexión con los clientes, se encuentran entre los nodos repetidores con la característica de ser enlaces punto a punto.(Araujo et al., 2011)
- Enlace de distribución: Conexión entre clientes y la red troncal, se caracteriza por ser enlaces (P2P) o (P2MP) con distancias > 15 km.
- Repetidor: Estos dispositivos se unen formando la red troncal.(Araujo et al., 2011)
- Estación cliente: Punto de servicio para los usuarios finales.
- Estación Pasarela: Se caracteriza por tener la conectividad al internet, con el objetivo de permitir a toda la estación de la red acceder a través de ella a redes externas.(Araujo et al., 2011)

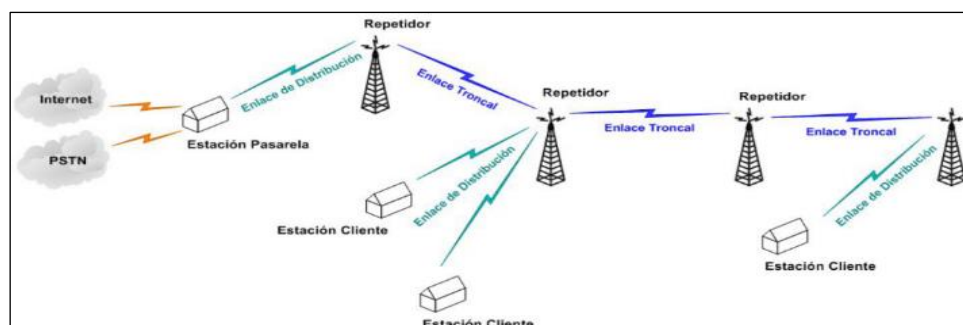


Figura 9. Topología de una red inalámbrica de larga distancia. (Araujo et al., 2011)

1.5 Modelo jerárquico

El diseño de red para el ISP en la parroquia seguirá el modelo de arquitectura propuesto por CISCO, modelo de diseño jerárquico en grupos modulares y cada capa cumple funciones específicas, consta de 3 (núcleo, distribución y de acceso). Al seguir este modelo permite optimizar y escoger hardware, software adecuado para cada capa, brindando así la escalabilidad, redundancia.(Cisco, 2014). En la Figura 10 se detalla la topología.



Figura 10. Diseño jerárquico

1.6 Software de simulación de radio enlaces

1.6.1 ICS Telecom

El software ICS Telecom es uno de los más completos para analizar todas las etapas de una red desde el diseño, compatibilidad con múltiples tecnologías, dimensionamiento, optimización, cálculo de cobertura de red y modelos de propagación con el objetivo de tener un completo análisis de cobertura.(Software solutions in Radiocommunications, 2015)

1.6.2 Radio Mobile

Radio Mobile es un software gratuito especializado en simulaciones de radio enlaces en lugares irregulares utilizado para pruebas de conceptos, utiliza perfiles geográficos y equipos con distintas configuraciones tanto de potencia, sensibilidad, pérdidas, parámetros de la antena, polarización altura entre otras características. Trabaja con el modelo Longley-Rice modelo troposférico para terrenos irregulares en enlaces de medio y larga distancia con frecuencias entre 20 MHz y 40 GHz con trayectos de 1 a 2000 km.(García Garrancho, 2016)

1.7 Estudio de factibilidad

Proceso de adquirir información para saber si es viable el desarrollo de un proyecto para la toma de una decisión idónea con el objetivo de tener una implementación, este estudio permite saber si es favorable o no y determinar estrategias que ayuden al éxito en el proyecto. A continuación, se detallan los tipos de factibilidad.(Economipedia, 2020)

- Factibilidad operativa: Se enfoca en los especialistas que efectuaran el proyecto, en si depende de los recursos humanos para cumplir con los objetivos propuestos.
- Factibilidad técnica: Evalúa la infraestructura técnica para un proyecto con su respectiva implementación, realizando un estudio de las tecnologías si existe en el mercado, equipos activos como pasivos, softwares entre otros, al hablar de la infraestructura esta engloba el equipamiento para la instalación. Adicionalmente en la geografía la factibilidad del acceso a los lugares, vías en buen estado y espacios para la creación de infraestructura tecnológica con el objetivo de llevar a cabo el proyecto.(Economipedia, 2020)
- Factibilidad económica: Enfocado al análisis del costo beneficio con el objetivo de disminuir el riesgo en la ejecución del proyecto.(Economipedia, 2020)
- Factibilidad política y legal: Análisis para cumplir con leyes, regulaciones o normativas tanto de país como de municipios.(Economipedia, 2020)
- Factibilidad de tiempo: Planificación del tiempo que llevara a cabo la realización del proyecto. (Economipedia, 2020)

1.7.1 Aspectos regulatorios

Valor por derechos de concesión de frecuencias: Una concesión de frecuencia se requiere una suscripción de “*un título habilitante para el uso de las frecuencias*”, es por un tiempo de

5 años el valor dependiente el servicio que se lo realice.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)

Tarifas por uso de frecuencia del espectro radiométrico: Es un valor que se lo cancela mensualmente.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)

1.7.2 Aspectos financieros

Para los diferentes estudios de factibilidad económica en casos de estudio es de vital importancia poseer herramienta para la evaluación entre los más utilizados son VAN, TIR, Flujo de efectivo y el PRI con el objetivo de determinar la viabilidad del proyecto.

– VAN “*Valuar actual neto*”

Es el valor presente de los flujos de efectivo dentro en una propuesta de algún estudio a efectuarse, consiste en los cobros y pagos con el fin de determinar cuánto se va a ganar o perder al realizar la inversión, hay que tener en claro cuando el VAN es mayor o igual a 0 refleja que el proyecto posee una factibilidad de realizarlo. (Mete, 2014).

En la Ecuación 6 se detalla la expresión para obtener el valor actual neto.

$$VAN = -C_0 + \frac{Fc_1}{(1+i)} + \frac{Fc_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_{n-1}}{(1+i)^{n-1}} + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Donde:

- C_0 = Inversión inicial
- Fc = Flujo de caja
- n = vida útil
- i = Tasa mínima aceptable.(Conexionesan, 2017)

Interpretación del valor actual neto

- Si $VAN > 0$
El proyecto del WISP en la parroquia es rentable. (Conexionesan, 2017)
- Si $VAN = 0$
El proyecto del WISP en la parroquia es indiferente.(Conexionesan, 2017)
- Si $VAN < 0$
El proyecto del WISP en la parroquia no es rentable.(Conexionesan, 2017)

– **TIR “Tasa interna de retorno”**

Permite tener una guía si el proyecto es viable para invertir o no, con el fin de poseer menor riesgo en la inversión, el TIR no ayuda a tener un criterio de aceptación, si el TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto recibirá ingresos al realizar la inversión con el fin de tener en claro la factibilidad del proyecto.(Mete, 2014)

En la Ecuación 7 se detalla la expresión para obtener el TIR

$$TIR = \left[\sqrt[n]{\frac{VAN}{I_0}} + 1 (1 + TMAR) \right] - 1 \quad (7)$$

Interpretación:

- Si $TIR > TMAR$ Si cumple la condición el rentable realizar el proyecto.(Mete, 2014)
- Si $TIR = TMAR$ Indiferente realizar el proyecto.(Mete, 2014)
- Si $TIR < TMAR$ No es rentable realizar el proyecto.(Mete, 2014)

– **Periodo de recuperación de la inversión PRI**

Indicador que permite estimar el tiempo de compensación de la inversión inicial del proyecto, detallando años, meses y días exactos, a su vez considerando los flujos de efecto traídos a valor presente.(Emprendedor Inteligente, 2019)

A continuación, se detalla en la Ecuación 8 la expresión para calcular el PRI.

$$PRI = A + \frac{B - C}{D} \quad (8)$$

Donde:

- A= Es el periodo anterior al que se recuperó la inversión.(Emprendedor Inteligente, 2019)
- B= Es la inversión inicial del proyecto del WISP.(Emprendedor Inteligente, 2019)
- C= Este valor es el flujo de caja acumulado del periodo inmediatamente anterior al que se recuperó la inversión.(Emprendedor Inteligente, 2019)
- D= Flujo de caja del periodo donde se recuperó la inversión.(Emprendedor Inteligente, 2019)

CAPÍTULO 2: LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA PARROQUIA Y ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

2.1 Parroquia de estudio

Guangopolo está conformada por 3 comunas (la Toglla, Sorialoma, Rumiloma) y el sector central de la Parroquia. En la actualidad debido al problema por la pandemia del Covid - 19 que ha obligado el cierre de escuelas, colegios a nivel mundial, han sido afectadas de gran manera las zonas alejadas de la Parroquia de Guangopolo al no poseer el servicio de Internet, el mismo es de vital importancia en un ámbito económico, social y educativo. Es por esta razón que se motivó con el estudio para la creación del proveedor de servicio de Internet.

El estudio se enfoca en las necesidades de la población en cuanto al servicio de Internet y el poder adquisitivo que podrían tener para contratar este servicio. El proceso se realizaría en base a encuestas a la población, teniendo en cuenta preguntas enfocadas a la calidad del servicio de Internet para el caso que las personas ya posean este servicio contratado y para las personas que no posee el servicio preguntas orientadas a las necesidades que tiene con el propósito de tener una guía en el estudio del proyecto.

2.2 Estudio de la situación actual

La metodología será mediante una investigación descriptiva para obtener información veraz y certera de la realidad de las familias de la Parroquia de Guangopolo con relación acceso al servicio de Internet. La técnica por realizarse es mediante la aplicación de un cuestionario a una muestra determinada de la Parroquia de Guangopolo para así conocer las opiniones, actitudes y necesidades de los ciudadanos.


La Parroquia de Guangopolo se encuentra ubicada al oeste con respecto a la ciudad de Quito como se observa en la Tabla 5, colinda al pie del cerro Ilalo con una extensión de 29,95 km² y altitud de aproximadamente 2400 msnm sus límites son:

- Norte: Parroquia de Tumbaco y Cumbayá
- Sur: Parroquia de Conocoto y Alangasí
- Este: Parroquia de Tumbaco y Alangasí

- Oeste: La ciudad de Quito

Tabla 5. Ubicación geográfica de la Parroquia

Área geografía de caso de estudio	
País	Ecuador
Provincia	Pichincha
Cantón	Quito
Parroquia	Guangopolo Latitud 0°15' 33,48" S y Longitud 78°27'8.04" W



Para conocer las necesidades de los pobladores en la Parroquia de Guangopolo se realizó un previo estudio de investigación de campo en las 3 comunas y el sector central de la Parroquia, determinado que en el sector central posee el servicio de Internet, por lo contrario, en las 3 comunas existen familias que carecen del servicio debido a la ubicación geográfica, es por esta razón que las Empresas de telecomunicaciones no realizan inversiones en el sector, hay que tener en cuenta no existe postes de hormigón en vías que recientemente son abiertas lo que dificulta el acceso a eso lugares. En el Anexo 1 se detalla la población que se encuentra en sectores alejados y la visita a las comunas en las fotografías del Anexo 2.

Con la investigación cuantitativa se determinará el rango de valor del pago del servicio de Internet que tienen actualmente las familias. Finalmente se buscó determinar si hay familias que posee equipos electrónicos para el acceso y las aplicaciones que utiliza comúnmente.

2.3 Población

El número de habitantes de la Parroquia de Guangopolo se estima en base a una proyección del censo 2010; para el 2015 con 3486 habitantes (Secretaría Técnica Planificación Ecuador, 2015) distribuidos en una extensión de 29,95 km².

2.4 Criterio de selección de la población

El criterio de selección es basado en una inclusión con características particulares de estructura familiar, determinado una subdivisión del mercado en función del número de

familias, debido a que el servicio de Internet se lo contrata por familias, teniendo en cuenta el tamaño promedio del hogar ecuatoriano de 3.9 personas según INEC.

2.4.1 Selección de la población de la Parroquia

Antes de realizar la investigación descriptiva en base a las encuestas se debe seleccionar la población de estudio, misma que se basara en la selección de una muestra en lugar de utilizar una población total con el objetivo de reducir tiempo, recursos y aumentar calidad de estudio realizando el siguiente proceso.

Para la muestra se utilizará el segmento por estructura familiar, ya que en la actualidad se considera que cada familia está compuesta por 4 personas y el servicio de internet es para las familias mas no para cada integrante. Se consideró 3486 habitantes de la Parroquia de Guangopolo según INEC que viven en la Parroquia, es por esta razón se dividió el número total de habitantes para 4 personas que integran una familia, detalle en la Ecuación 9.

$$\text{Número de familias} = \frac{\text{Habitantes}}{\# \text{ Integrantes en una familia}} \quad (9)$$

$$\text{Número de familias} = \frac{3486}{4}$$

$$\text{Número de familias} = 872$$

Existen alrededor de 872 familias en la Parroquia de Guangopolo.

2.5 Muestra

La técnica para el muestreo es aleatorio simple garantizando que todos los elementos de estudio que pertenecen al universo tengan la misma probabilidad de ser incluidos, se tomó la Ecuación 1 detallada en el ítem 1.1.4 perteneciente al tamaño de la muestra. Para el estudio se determinó los siguientes datos un nivel de confianza y precisión absoluta 90% teniendo un error del 10 % datos en base a las Tablas 1 y 2 pertenecientes a los conceptos de tamaño de la muestra.

- N = 872 Valor del tamaño de familias de Guangopolo
- Z = 1.645 Valor del nivel de confianza para el proyecto
- P = 0.5 Valor de probabilidad de éxito del estudio en la parroquia

- Q = 0.5 Valor de probabilidad de fracaso del estudio en la parroquia
- d = 0.1 Precisión absoluta del estudio en la parroquia

$$n = \frac{872 * 1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 (872 - 1) + 1.645^2 * 0.5 * 0.5}$$

n = 63 (La muestra deberá ser de 63 personas a encuesta).

2.6 Encuestas

Para el presente análisis se formuló un total de 10 preguntas teniendo en cuenta las siguientes temáticas que nos permite tener una idea clara acerca del estado conexión y la penetración del servicio de Internet fijo en la Parroquia. Además, se busca determinar con qué frecuencia utiliza el servicio de Internet y que empresa proporciona el servicio con su rango de conformidad. En el Anexo 3 se detalla cada una de las preguntas a realizar a la muestra de la Parroquia de Guangopolo.

2.7 Recolección de información

Para la recopilación de la información de las encuestas realizadas a una muestra de las familias en la Parroquia de Guangopolo se siguió los siguientes pasos estructurados en el organigrama de la Figura 11.

La encuesta fue realizada en un periodo de 30 días, se realizó el envío de manera online la encuesta por medios digitales debido al temor de las personas tenía al momento de responder las encuestas presenciales por el Covid -19 que se tenía en la actualidad, además a lugares alejados se realizó una visita para realizar la encuesta.

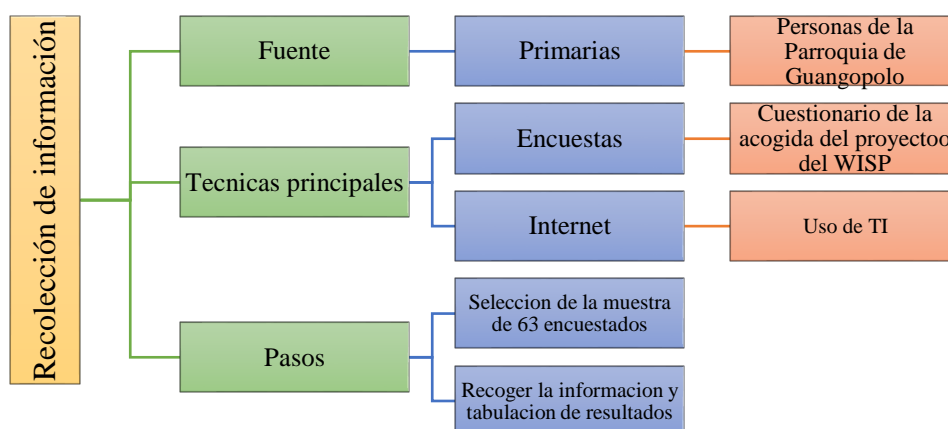


Figura 11. Recolección de información habitantes de la parroquia de Guangopolo

Mediante la recolección información se procederá a ser analizada con el propósito de la toma de decisiones idóneas de la utilización del servicio de Internet. En el Anexo 4 se detallan las tabulaciones de cada una de las preguntas.

2.8 Selección de tecnología inalámbrica

Para la selección de la tecnología a usarse, se tomó en cuenta que existen viviendas en zonas alejadas y es costoso para un proveedor de servicio implementar una red cableada con toda la infraestructura tecnología que amerita, es por esta razón que una opción estudiar la tecnología inalámbrica para proveer servicio a estos sectores.

2.8.1 Comparación Wi-Fi y WiMax

Wi-Fi como WiMax son tecnologías inalámbricas que permiten proporcionar servicio de internet a sectores alejados en países en desarrollo. “La IEEE 802.11 (Wi-Fi)” inicialmente se creó para redes LAN interiores, pero debido a sus múltiples beneficios se tienen estudios para que se adapten a una cobertura de grandes distancias. Para la selección se realizó una comparación en base a las siguientes características, adaptabilidad a la parroquia de Guangopolo, la velocidad de transmisión, radio de cobertura y costos de implementación.

En la Tabla 6 se compara las dos tecnologías inalámbricas obteniendo el siguiente resultado y seleccionando a la tecnología Wi-Fi como la óptima para la ejecución del proyecto.

Tabla 6. Comparación entre Wi-Fi y WiMax

Características	Wi-Fi	WiMax
Estándares desarrollados	802.11 a, b, g, n, ac, ax (continuo desarrollo)	802.16 d, e, m
Tecnología de transmisión	OFDM modulación 256 QAM-1024 QAM	OFDM-256
Método de acceso	CSMA/CA cortas distancias TDMA largas distancias	TDMA
Bandas de frecuencia	No licenciadas	Con y sin licencias
Cobertura	802.11 ac 200 m a 300 m cortas distancias	NLOS 4.5 km
	802.11 ac largas distancias 11-13 km	LOS 50-70 km
Tecnología	Constante desarrollo	Mínimo desarrollo
Bandas de frecuencia	2.4 GHz y 5 GHz (bandas libres)	2.5.3.5 y 5.8 GHz

Wi-Fi maneja un espectro sin licencia teniendo varios avances tecnológicos, uno de ellos es Wi-Fi 5 (802.11 ac) y el equipamiento activo es de bajo costo permitiendo que sea económicamente mejor que WiMax. Rangos de cobertura de 5 km adaptables a la parroquia. Además, se seleccionó Wi-Fi debido a que en la actualidad estudios enfocados a larga distancia teniendo como objetivo proporcionar Internet en zonas rurales, esta utiliza *TDMA* (*Time Division Multiple Access*) como método de censado al medio y para la transmisión trabajan con MIMO o MU-MIMO teniendo comunicaciones de alto rendimiento.

2.8.2 Selección del estándar IEEE 802.11

En la actualidad se ha tenido muchos avances tecnológicos uno de sus principales es el Wi-Fi 5, esta es una versión de evolución del estándar IEEE 802.11 n, es por esta razón la tecnología con el estándar seleccionado es 802.11 ac y soporte estándares anteriores que trabaje en una banda no licenciada 5 GHz. A continuación, se detallan los aspectos que nos llevan a utilizar esta tecnología

- No se requiere un permiso para a utilización del espectro radio eléctrico en la frecuencia de 5 GHz y costo menor de implementación
- Se puede agregar tantas redes cableadas por fibra óptica para una integración con la tecnología inalámbrica
- Canales más anchos 20,40,80 MHz
- Tecnología: MIMO y Beamforming.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO

En el siguiente capítulo se desarrolla el diseño del proveedor de servicio de Internet inalámbrico para las zonas alejadas de la Parroquia de Guangopolo basada en la metodología PPDIOO) de Cisco (preparar, planear, diseñar, implementar, operar, optimizar) como referencia para desarrollar actividades requeridas en el diseño con fases que cumplen funciones específicas con una relación antecesora y predecesora.

El proyecto contempla las 3 fases iniciales: Preparar, Planificar, Diseñar y en la fase de implementación hace relación a simulación del proveedor de servicio con su factibilidad técnica, la metodología se detalla en la Figura 12 permitiendo realizar actividades en orden para un diseño óptimo.



Figura 12. Metodología PPDIOO. (El autor, 2020)

3.1 Etapa de preparación y planificación

En base a la metodología del ciclo de vida de una red en el apartado de la preparación, desarrollada en el capítulo 2 englobando la fase de visualización por medio de la visita técnica y el levantamiento de información obteniendo la ubicación de la parroquia con sus límites, el perímetro y viabilidad para el uso de la tecnología inalámbrica en la parroquia de Guangopolo.

Uno de los temas fundamentales fue en la planificación con la identificación de la demanda de los abonados que se desarrollará a continuación, identificando los requerimientos de que aplicaciones utilizan diariamente. Se realizó una encuesta prevista de 10 preguntas y su respectiva recolección de los datos realizada en el ítem 2.7 de la presente disertación, en base a esto se realizará una estimación de demanda del servicio en la parroquia de

Guangopolo con una proyección a 5 años, garantizando así una escalabilidad que pueda tener a futuro el ISP inalámbrico.

El estudio de demanda permitirá tener una proyección de la cantidad de usuarios o familias para proporcionar una buena experiencia al usuario en la red. Previamente se realizó la selección del tamaño de la muestra

3.1.1 Estudio de demanda de clientes

3.1.1.1 Método de proyección

El estudio de demanda de clientes en la Parroquia de Guangopolo se utilizará la técnica de proyección con un modelo causal detallado en la Figura 13, en base a esto permite evaluar si en el sector existe un mercado potencial que podrían adquirir el servicio de Internet.

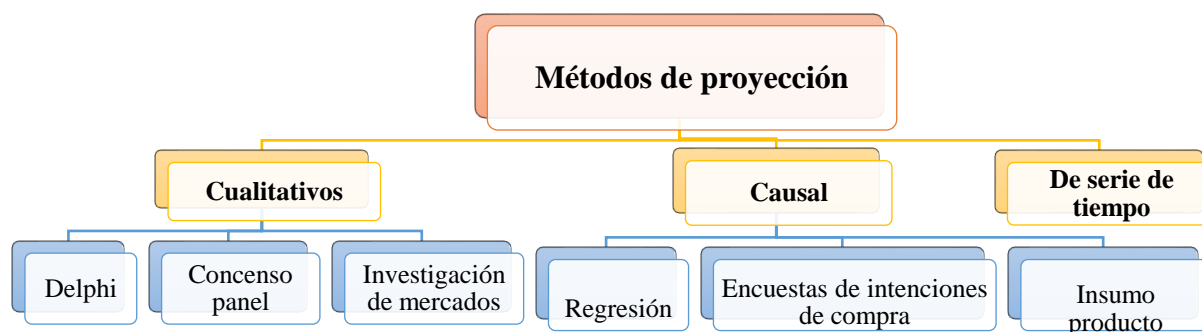


Figura 13. Métodos de proyección para el estudio de demanda de clientes

El método causal se expresa matemáticamente para proyectar el estudio de mercado en datos cuantitativos históricos, para lo cual se utilizará un modelo de regresión simple para tener una predicción a futuro en base a una variable independiente y dependiente. La expresión matemática para la regresión lineal esta descrita en la Ecuación 10, teniendo en cuenta que Y es la variable dependiente y X la variable independiente.

$$Y = A + BX \quad (10)$$

La obtención de los valores de cada variable "A" y "B" se encuentra en el Anexo 5, para posteriormente remplazarlos en la Ecuación 5 para la obtención de la recta característica.

3.1.1.2 Proyección de cuentas de Internet fijo

El estudio de proyección de la demanda en la parroquia de Guangopolo se basa en las posibles familias que puedan acceder al servicio debido a su insatisfacción y familias que no tengan cuentas de internet fijo. Para ello se tomó los datos tabulados de las encuestas realizadas a una muestra de la población y con las estadísticas emitidos del número de cuentas de internet fijo en la provincia de Pichincha por ARCOTEL.

Los datos se escogieron del tercer y cuarto trimestre entre los años 2015-2020, información obtenida del Anexo 6 acerca del número de cuentas de Internet fijo en la provincia de Pichincha. Se tomó las cuentas de internet fijo debido a que no existen estadísticas de la parroquia, con esto permitió tener una tendencia del crecimiento de cuentas de internet fijo en los últimos 5 años en la provincia.

La proyección se realiza con una regresión lineal con el método de mínimos cuadrados por medio del software Microsoft Exel, obteniendo la ecuación que se ajuste a la recta de tendencia de la relación entre la variable independiente (tercer y cuarto trimestre de cada año) y dependiente (cuentas de internet fijo).

En la Figura 14 se observa la recta característica con su respectiva ecuación que describe la tendencia del número de cuentas de internet fijo, el proceso de la obtención en detalle de los parámetros de la regresión lineal por mínimos cuadrado se encuentra en el Anexo 7.

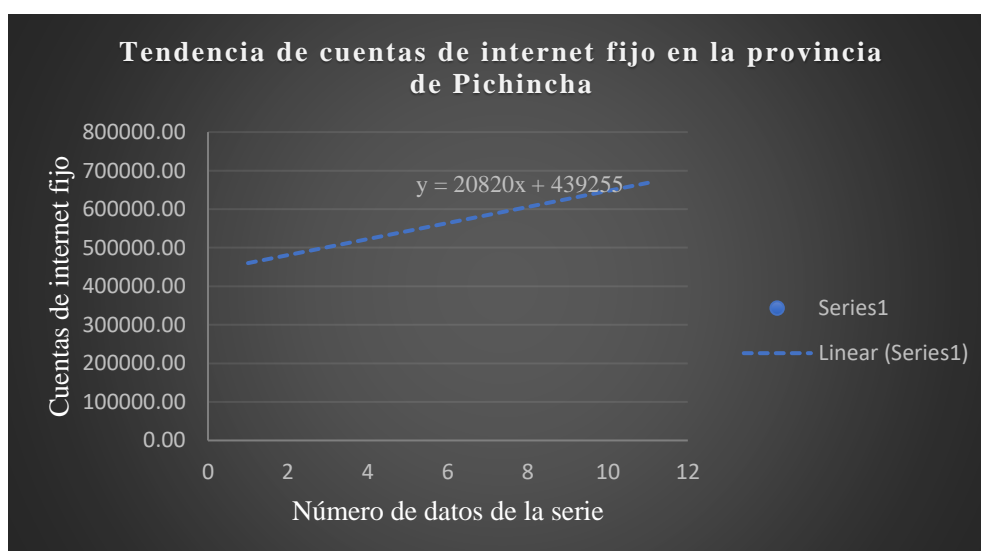


Figura 14. Característica de la tendencia de cuentas con su respectiva ecuación

La Ecuación 11 describe el comportamiento de la tendencia del internet fijo en la provincia de Pichincha.

$$Y = 20820 X + 439255 \quad (11)$$

Donde:

- Y= Número de cuentas de internet fijo
- X= Tercer y cuarto trimestre de cada año

Finalmente se aplica la Ecuación 11 para estimar el crecimiento de las cuentas de Internet fijo para los 5 años siguientes (2020-2025), teniendo la proyección en detalle en la Tabla 7.

Tabla 7. Proyección de las cuentas de internet fijo de la Provincia de Pichincha

Proyección			
Tercer y cuarto trimestre de cada año	Fecha		Cuentas
12	2020	Diciembre	689090,56
13	2021	Septiembre	709910,17
14	2021	Diciembre	730729,78
15	2022	Septiembre	751549,39
16	2022	Diciembre	772369,00
17	2023	Septiembre	793188,61
18	2023	Diciembre	814008,22
19	2024	Septiembre	834827,83
20	2024	Diciembre	855647,44
21	2025	Septiembre	876467,05
22	2025	Diciembre	897286,65

3.1.1.3 Tasa de crecimiento de cuentas de Internet

Se utiliza la Ecuación 12 acerca del crecimiento poblacional para hallar el porcentaje de crecimiento de las cuentas de internet fijo en los 5 años siguientes.

$P_t = P_0 (1 + r)^t$	(12)
-----------------------	------

Donde:

- P_t = Población final de la parroquia de Guangopolo 2025
- P_0 = Población inicial de la parroquia de Guangopolo
- r = Valor de la tasa de crecimiento de la población en la parroquia
- t = Periodo en años entre P_t y P_0

A continuación, se tiene la resolución matemática para despejar la tasa de crecimiento anual de la población “r” obteniendo la Ecuación 13, este proceso se lo realiza en el Anexo 8. Para la obtención del crecimiento población de la parroquia de Guangopolo se lo realiza mediante la Ecuación 13 reemplazando los valores de la cantidad de cuentas de internet fijo entre el año 2020 - 2025

$$r = (Pt/P0)^{1/t} - 1 \tag{13}$$

Resolución

- $r = (Pt/P0)^{1/t} - 1$
- $r = (897287/689091)^{1/5} - 1$
- $r = 0.0542$

Se determinó el porcentaje de crecimiento de cuentas de internet fijo con un 5,42%, el mismo se utilizará para calcular el crecimiento número de abonados que podría tener el proveedor de servicio de internet en la parroquia de Guangopolo hasta el año 2025.

3.1.1.4 Cantidad inicial de posibles usuarios

La parroquia de Guangopolo posee un total de 3486 habitantes con 872 familias de clase media y baja, se asume por medio de las tabulaciones de las encuestas detalladas en el Anexo 4, pregunta 6 y 10 que el ISP de la parroquia de Guangopolo podría adquirir a los usuarios que califican a su servicio actual como malo con un 9 % y familias que no tienen el servicio contratado con un 3%. Finalmente, en base a los dos porcentajes de posibles usuarios, se tiene que el 12 % del total de familias en la parroquia podrían ser nuestros abonados para contratar nuestros servicios.

3.1.1.5 Proyección de mercado

El ISP cumple como los parámetros de escalabilidad con una proyección de demanda a 5 años en cada año se aplica un el crecimiento de 5,42 % obtenido en el ítem anterior. En la Tabla 8 se muestra la proyección de cuentas de Internet para los próximos 5 años en la Parroquia de Guangopolo teniendo mayor énfasis en las personas que no posee el servicio de Internet, debido a que son familias que se encuentran alejadas de la parte central de la parroquia y es de vital importancia darles a conocer este proyecto que ayudara a que accedan a servicios digitales.

Tabla 8. Proyección de cuentas de internet para la Parroquia Guangopolo 2020-2025

Crecimiento anual de cuentas de internet fijo						
Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Familias con insatisfacción del Internet	79	82	86	89	93	97
Familias que no posee Internet	26	27	29	30	31	32

3.2 Etapa de diseño del WISP en la parroquia de Guangopolo

El presente estudio analizara los parámetros técnicos para un funcionamiento correcto del WISP (*Wireless Internet Service Provide*) para la parroquia de Guangopolo, se enfoca en los distintos requerimientos que poseen, es por esta razón se tomara en cuenta los siguientes servicios: video conferencia que actualmente es muy necesario debido a la educación online a causa de la pandemia, VoIP y aplicaciones de streaming que posee retardos mínimos.

El diseño de la red posera las siguientes características que aseguren un diseño optimo y se detallan a continuación:

- Escalable: La red diseñada tenga la adaptación a un crecimiento progresivo de tráfico (datos) y usuarios con un estimado de estudio a 5 años.
- Resiliente: Enfocada en garantizar la disponibilidad del servicio de Internet hacia los abonados durante todos los días las 24 horas del día con una capacidad de resistir a efectos negativos en la red
- Deben ser seguras: Seguridad física en los equipos para que no exista ninguna manipulación de personas ajenas a la red y una seguridad de la información.
- En el WISP la información tanto transmitida como recibida por parte del usuario se manejará protocolos fuertes de seguridad *WPA2 AES*
- Calidad de servicio: Proporcionar una buena experiencia al usuario en tiempo de carga y descarga de información con tiempos de respuesta tolerables.

3.2.1 Infraestructura del ISP

El diseño de la infraestructura de red para el ISP de la parroquia se observa en la Figura 15 teniendo una serie de niveles jerárquicos con una funcionalidad específica que permita adaptarse a cambios tecnológicos y de infraestructura teniendo las siguientes capas.

- Red troncal
- Red del ISP (modelo jerárquico)
 - Capa núcleo
 - Capa distribución
 - Capa de acceso
- Red de distribución (enlaces inalámbricos)
- Red de acceso (abonado)

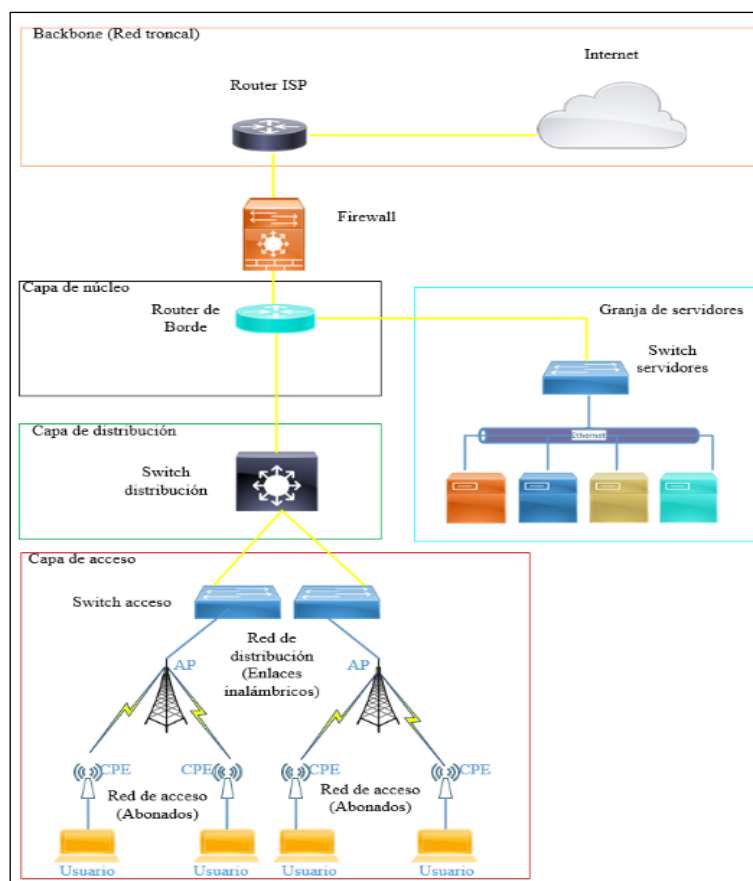


Figura 15. Jerarquía de red del ISP inalámbrico para la parroquia de Guangopolo

3.2.2 Selección del fabricante

3.2.2.1 Red del ISP (modelo jerárquico)

Para la selección del fabricante del equipamiento de la red jerárquica (núcleo, distribución y acceso) se consideró la empresa Gartner por medio de su cuadrante mágico, la misma se dedicada a la investigación y análisis de tendencias en el mercado en el ámbito de la tecnología, las empresas que se encuentran dentro del cuadrante pasan una selección rigurosa de la calidad del servicio y del tipo de material tecnológico. La selección del cuadrante de Gartner se determinó en base a fabricantes con estándares de calidad en el ámbito tecnológico que cumplan características de ser equipos con una adaptación a cambios de tecnología, se tomó a Cisco que se encuentra como líderes en el mercado Figura 16.

Se considera la viabilidad económica como una consideración principal al momento de escoger el fabricante, es por esta razón que se considera un fabricante de baja costo pero que cumplan con las características tecnológicas idóneas para la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta que el ISP es para personas de bajos recursos económicos y a su vez se logre tener una competitividad con empresas grandes del sector.



Figura 16. Cuadrante mágico de gartner de infraestructura LAN y WLAN. (Gartner, 2019)

El fabricante seleccionado de menor valor que Cisco es MikroTik, empresa que desarrolla productos de hardware y software para soluciones de redes a precios competitivos, adicionalmente en el Ecuador existen distribuidores directos del equipamiento.

3.2.2.2 Red distribución (radio enlaces)

En la actualidad existen una gran variedad de marcas para la adquisición de equipos para la implementación de WISP (*Wireless Internet Service Provider*), pero una manera idónea es que dichos fabricantes se encuentren en el cuadrante de gartner para dar una valía y seguridad del producto, es por esta razón que se analizará dos fabricantes Ubiquiti Networks y TP link que se encuentran en el cuadrante de gartner y son especialistas en el desarrollo de tecnología inalámbrica de larga distancia, teniendo un gran rendimiento con bajo costo.

– Selección del equipo Access Point para los radios enlaces

Para la selección del equipo que cumpla la función Access Point se basó en el cuadrante de gartner ajustándonos a opciones con costos accesibles, realizando un análisis comparativo de sus características principales de los fabricantes Ubiquiti Networks y TP-Link.

Los dos fabricantes son especializados en despliegue de redes para WISP, es por esta razón en la Tabla 9 se determinó las siguientes diferencias, determinando así que se utilizara el fabricante Ubiquiti para los Access Point en la parroquia de Guangopolo.

El AP Ubiquiti posee un rendimiento con mayores velocidades de alrededor de + 500 Mbps y soporta el estándar IEEE 802.11 ac, el otro fabricante trabaja con el IEEE 802.11 a/n. Adicionalmente el fabricante Ubiquiti de la serie RP - 5AC - Gen2 permite tener un mayor ancho de banda hasta 80 MHz para enlaces PtP y puertos gigabit Ethernet, lo que no sucede con TP-Link. Finalmente, el valor en el mercado es similar en los dos casos teniendo mayores ventajas al escoger al Access Point RP - 5AC - Gen2 para el despliegue de la red en la Parroquia.

El Access Point RP - 5AC - Gen2 Ubiquiti escogido cuenta con las siguientes ventajas que ayudan a sustentar la selección de este equipo.

- AirView ayuda en el análisis del espectro en tiempo real para la identificación de zonas de ruido.
- AirMAX utiliza TDMA para permitir a cada cliente recibir y enviar información en rangos de tiempo para eliminar colisiones.
- Carcasa de aluminio para protección contra interferencias electromagnéticas
- Protección contra eventos descarga electrostática.
- Tiene característica de altas velocidades con modulación densa 256 QAM
- Mejor SNR creando una alta relación señal a ruido, esta integra un silicio personalizado que logra un aislamiento de señales rechazando las interferencias.(Ubiquiti Networks, 2017)

Tabla 9. Comparación entre dos fabricantes para el equipo que cumpla la función de Access Point

Access Point de la Estación base		
Serie	RP - 5AC - Gen2	WBS510
Frecuencia	5150 - 5875 MHz	5.15 - 5.85 GHz
Rendimiento	500+ Mbps (máx. 80 MHz)	300 Mbps
Interfaces	1 puerto Ethernet 10, 100 y 1000 POE	1 puerto Ethernet Blindado 10, 100 Mbps POE
	2 RP-SMA	1 puerto Ethernet Blindado 10, 100 Mbps
	1 puerto GPS	2 RP-SMA Hembra
Anchos de banda	PtP: 10/20/30/40/50/60/80 MHz.	5,10,20 y 40 MHz
	PtMP: 10/20/30/40 MHz.	
Potencia transmisión	28 dBm/ 630 mw	27 dBm/ 5 00 mW
Algoritmos de seguridad	WPA2-AES	Encriptación WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK

– **Selección de la antena sectorial**

Los dos fabricantes TP-Link y Ubiquiti son especializados en despliegue de redes para WISP, es por esta razón en la Tabla 10 se determinó las siguientes diferencias. Adicionalmente se sigue la recomendación trabajar con un mismo fabricante para el despliegue de toda la red inalámbrica generando así un 100% de compatibilidad en el equipamiento. La antena sectorial Ubiquiti escogida cuenta con las siguientes ventajas que ayudan a sustentar la selección del equipo.

- Antena sectorial Ubiquiti debido a su amplia gama de antenas sectoriales de 30° 45° 60° 90° y 120° en función del área donde se desea proporcionar cobertura, en base a esto nos lleva a escoger la antena de la serie AM-5G20-90 del fabricante Ubiquiti
- Posee doble polarización al mismo instante para comunicar con abonados que estén tanto en polarización vertical como horizontal solucionando congestiones que se pueden generar.
- Finalmente, los dos fabricantes ocupan la tecnología MIMO y características similares de ganancia.
- Las antenas AirMax fabricadas con un alto índice de resistencia a la interferencia por co-ubicación de antenas en una misma torre, debido a su diseño innovador de deflector con los lóbulos laterales y posteriores reducidos que irradian. Tiene modulación de orden superior con 256 QAM en lugar de 16 QAM.

Tabla 10. Comparación entre dos fabricantes para la selección de la antena sectorial

Antena Sectorial		
Serie	AM-5G20-90	TL-ANT5819MS
Frecuencia	5.10 - 5.85 GHz	5.0 - 6.0 GHz
Ganancia	19.4 - 20.3 dBi	19dBi
Polarización	Dual-Linear	Vertical & Horizontal
HPOL Ancho de haz	91° (6 dB)	120° (6dB) - 90° (3dB)
VPOL Ancho de haz	85° (6 dB)	120° (6dB) - 90° (3dB)
Electrical Ancho de haz	4°	4°

– **Equipo local del cliente CPE**

Finalmente, el análisis se enfoca en el abonado teniendo al equipo local del cliente que recibe los datos y envía hacia la estación base teniendo los dos fabricantes Ubiquiti y Tp-

Link para la comparación, teniendo la siguiente diferencia detalladas en la Tabla 11, en base a esto se escogió el equipo CPE Ubiquiti para instalar en cada vivienda por las siguientes ventajas.

- De manera general posee características similares los dos fabricantes
- Ubiquiti tiene puertos Gigabit Ethernet mientras que Tp-Link solo Fast Ethernet.
- En el costo en el mercado tiene una diferencia mínima, de igual manera que los análisis anteriores se sugieres tener un mismo fabricante para el despliegue de la red inalámbrica para una correcta compatibilidad. Por esta razón Ubiquiti es escogido y cuenta con las siguientes ventajas que ayudan a sustentar la selección de este equipo.

Posee tecnología AirMax orientada a la última milla basadas en IEEE 802.11 ac con TDMA, permitiendo velocidades TCP/IP para exteriores de hasta 450 Mbps con antenas MIMO 1 x 1 y 2 x 2. Admite tener escenarios punto multipunto (*PtMP*) utiliza una estación base y múltiples dispositivos conectados a ella. Entre las cosas más importantes de utilizar este equipamiento con la tecnología *AirMax* es el costo-beneficio que proporciona con un alto rendimiento para implementar redes inalámbricas de banda ancha en exteriores a un costo relativamente bajo, esta solución es idónea para proyectos a pequeñas escala brindando una resultado óptimo.(Ubiquiti Networks, 2020)

Tabla 11. Comparación entre dos fabricantes para la selección del equipo CPE

Modelo de la antena	LBE-5AC-Gen2	CPE 610
Rango de Frecuencia	5.150 - 5.850 GHz	5.15-5.85 GHz
Ganancia	23 dBi	23 dBi
Rendimiento	450 + Mbps	300 Mbps
Anchos de banda	PtP: 10/20/30/40/50/60/80 MHz	10/20/30/40 MHz
	PtMP: 10/20/30/40 MHz	
Antena	2x2 MIMO	2X2 MIMO
Potencia	25 dBm	27 dBm/ 500 m W
Interfaces	(1) Puerto Ethernet 10/100/1000 PoE	1 10, 100 Mbps PoE
		1 10, 100 Mbps

3.2.3 Red troncal

Para proporcionar el servicio de Internet debe el ISP de la parroquia de Guangopolo conectarse a Internet (red troncal o backbone), teniendo en cuenta que se debe tener mínimo uno o varios enlaces WAN. Los enlaces WAN tiene como característica ser de fibra óptica,

satelital o enlaces ATM (enlaces de alta velocidad con transferencia asincrónica), para esta conexión tiene una particularidad se realiza mediante un ruteador principal de la red.

Para el caso de estudio del ISP de la parroquia de Guangopolo el enlace entre el ISP y la red troncal se usará fibra óptica por sus múltiples beneficios como medio.

– Conexión NAP Ecuador

Infraestructura tecnológica que es parte del Internet y se la denomina punto de intercambio de tráfico (*IXP*), encargada de intercambiar de manera local todo el tráfico de Internet que se origina y se termina en el Ecuador utilizando canales locales o nacionales. Al estar conectado a esta infraestructura de red permite el uso óptimo de la red de país disminuyendo tiempos de respuesta para páginas internacionales que usan de manera local. “*El NAP.EC tiene su infraestructura en la ciudad de Quito y Guayaquil*” como se observa en la Figura 17, los proveedores se conectan a un dispositivo de red perteneciente a la infraestructura tecnológica de las dos ciudades, configurando el protocolo de enrutamiento entre el router de borde con las rutas de intercambio de tráfico.(AEPROVI, 2020)

Además de la conexión externa a la red troncal se debe considerar la conexión la NAP del ecuador (NAP.EC) *Network Access point of Ecuador*.

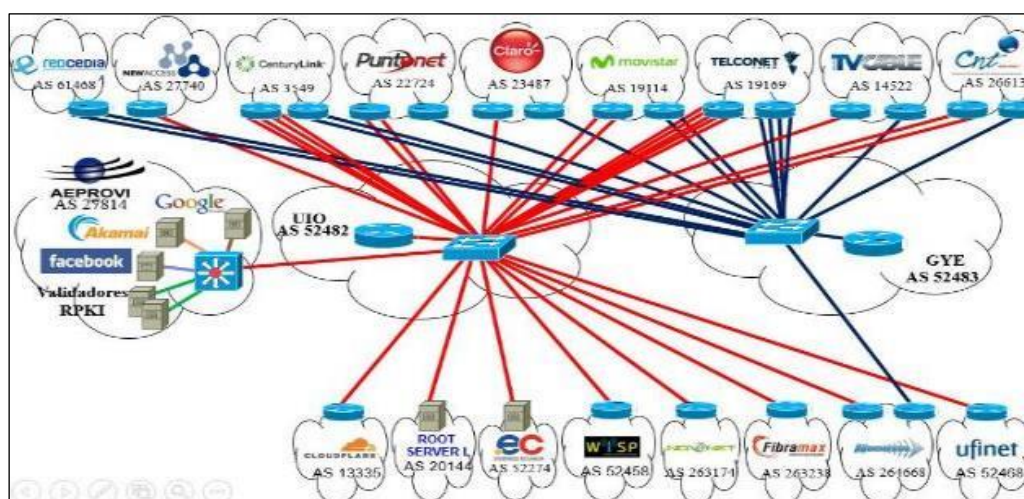


Figura 17. Topología lógica NAP.EC octubre 2020 (AEPROVI, 2020)

– Empresa encargada de brindar la salida local e internacional al ISP

Para el presente estudio se considera la mejor opción para el acceso al Internet (conexión a la red troncal o backbone) sea con un enlace WAN de alta velocidad que sea por parte de la empresa privada por medio de una licitación en función de precios competitivos con ofertas

calificadas que aseguren una conexión óptima. La empresa se conecta tanto al NAP.EC como al NAP Internacional en Miami con redundancia de interconexión internacional y local para garantizar estándares a los abonados de alta disponibilidad.

3.2.3.1 Estudio de la capacidad de la red troncal

Para el estudio de la capacidad de la red troncal se realizó las siguientes consideraciones, la demanda de usuarios desarrollada en el ítem 3.1.1 conjuntamente con la encuesta realizada con los distintos requerimientos que las personas poseen, teniendo prioridades la video conferencia para las clases online, páginas web y redes sociales, este orden se obtuvo de las tabulaciones obtenidas de la encuesta en el Anexo 4.

– Ancho de banda para diferentes servicios

Para el cálculo se tiene en cuenta los anchos de banda de los diferentes servicios que las personas de la Parroquia de Guangopolo necesitan en la actualidad, el estudio engloba su respectiva proyección de ancho de banda hasta el 2025.

El ancho de banda en si es la velocidad de transferencia de datos y se mide en bits por segundo (bps), conceptualmente es la cantidad de datos que se puede transmitir en un tiempo específico

Para tener una guía de ancho de banda se tomó los datos del cuerpo regulatorio "Federal Communications Commission" encargada de la regulación de RF, canales y potencias de transmisión en los Estados Unidos. En la Tabla 12 se describe actividades típicas con su ancho de banda digital (Mbps) que se necesita para una operación idónea en cada aplicación.

Tabla 12. Velocidades (Mbps) con actividades comunes en la navegación por Internet. (Federal Communications Commission, 2018)

Uso general	Velocidad mínima (Mbps)
Navegación general y correo electrónico	1
Llamadas por Internet (VoIP)	0,5
Redes sociales	1
Video conferencias HD	1,5
Mirar videos HD	5-8

– Ancho de banda de navegación general

En base a la pregunta 4 acerca del tipo de servicio que utilizan diariamente las personas en la parroquia Anexo 4 se determinó la navegación web es utilizado comúnmente por parte de

las personas. Por esta razón se analizó del tamaño de una página web por medio de la consola de desarrollo de Chrome, obteniendo el tamaño total de los datos de las 4 páginas web escogidas aleatoriamente, con un valor promedio de 1371175 bytes obtenido del Anexo 9-10, se estima el tiempo promedio de carga es de 5 segundos.

$$\text{Tráfico} = \frac{1371175 \text{ Byte} * 1 \text{ página} * 8 \text{ bits}}{\text{página} \quad 5 \quad 1 \text{ Byte}}$$

$$\text{Tráfico} = 1.87 \text{ Mbps}$$

En base al estudio matemático del tráfico se corrobora con los datos de la Tabla 12 emitidas por la FCC del ancho de banda en Mbps para acceder a una navegación web, garantizando así un dimensionamiento óptimo.

– Ancho de banda para VoIP

En la actualidad el uso de aplicaciones como WhatsApp permite realizar llamadas VoIP (voz sobre el protocolo de internet), es muy utilizado por parte de las personas, es por esta razón que se incluyó en el estudio.

En base a las siguientes ecuaciones se obtiene el cálculo del ancho de banda.

$$\text{Tamaño total del paquete} = (\text{encabezado L2}) + (\text{encabezado IP/UDP/RTP}) + (\text{tamaño de carga útil de voz}) \quad (14)$$

$$\text{Tramas por segundo} = \frac{(\text{tasa de bits del codec})}{(\text{tamaño de la carga útil de voz})} \quad (15)$$

$$\text{Ancho de banda digital} = \text{tamaño de paquete total} * \text{tramas por segundo} \quad (16)$$

Para el cálculo tráfico por VoIP se realiza el estudio en base a los códec más usados G.711, G.722, G.728 y G.729, es por esta razón que se tomará a estos para el cálculo del ancho de banda.

Se detalla en el Anexo 11 la obtención del ancho de banda para la VoIP por medio de las Ecuaciones 14,15 y 16, obteniendo un valor de 87,2 kbps, además se tiene en cuenta que el servicio es en tiempo real, por ende, se necesita un mayor ancho de banda para lo cual se toma en cuenta el ancho de banda recomendado por la FCC detallado en la Tabla 12 con el valor de 0.5 Mbps.

– **Ancho de banda de video conferencia**

En la actualidad el uso de plataformas de video conferencias es muy utilizado para impartir clases virtuales debido al confinamiento a causa de la pandemia de Covid – 19, en zonas rurales o alejadas de centros poblados carecen de estas herramientas y acceso a Internet generando así una decadencia en la educación.

Por este motivo una de las prioridades en el estudio es tomar en cuenta el ancho de banda de la video conferencia, teniendo un ancho de banda mínimo de 1.5 Mbps tomado por la FCC en la Tabla 12. Además, estos datos corroboran a los sugeridos por la plataforma Zoom en los requisitos de ancho de banda para video llamadas grupales detallando los siguientes ítems.

800 kbps/1,0 Mbps (*uplink/downlink*) en vídeo de alta calidad

1,5 Mbps/1,5 Mbps (*uplink/downlink*) galería o vídeo HD 720p. (Zoom, 2020)

– **Ancho de banda para navegación en redes sociales**

El correcto uso de las redes sociales nos permite una comunicación instantánea y este parámetro se midió en la encuesta, aunque no tuvo mayor prioridad entre las personas de la parroquia teniendo un valor de 1 Mbps de ancho de banda utilizado.

– **Ancho de banda para observar video en HD**

En la actualidad hay diversas plataformas de reproducción de videos, los más populares son YouTube o Facebook, con distintas resoluciones en pixeles 480 p, 720 p y 1080 p.

La FCC sugiere tener ancho de bandas de al menos 5-8 Mbps para acceder a la plataforma y observa videos en HD, este valor se afirma con el análisis del tráfico por medio del software Wireshark, generando un ancho de banda digital de 4- 8 Mbps que varía en función del tiempo este análisis se detalla en el Anexo 12, el video fue analizado sitio web dedicado a compartir video como YouTube a una resolución de 720 p.

3.2.3.2 Cálculo total de ancho de banda por cada usuario en la Parroquia

Para obtener el ancho de banda en Mbps que cada usuario se obtiene en base a la Ecuación 17 teniendo como requerimientos mínimos voz, datos y video

$$BW_{(total / usuario)} = BW_{min-datos} + BW_{min-Voz} + BW_{min-video} \quad (17)$$

Donde:

BW: Ancho de banda en Mbps

Se plantea tres planes de Internet distintos denominados servicio básico, medio y alto, garantizando que cada uno de los 3 servicios sea superior al ancho de banda mínimo obtenido en base al estudio realizado.

– **Plan básico**

$$BW_{(total / usuario)} = BW_{nav_general} + BW_{voz_IP} + BW_{vid-conf}$$

$$BW_{(total / usuario)} = 1.87 \text{ Mbps} + 0.5 \text{ Mbps} + 1.5 \text{ Mbps}$$

$$BW_{(total / usuario)} = 3.87 \text{ Mbps}$$

Simultaneidad

Se toman en cuenta 4 integrantes promedio en una familia en el Ecuador, para los cuales dos personas son las que utilizan el servicio de internet de manera simultánea debido a que cumplen el rol de estudiantes por ende utilizan tanto voz, video y datos es por esta razón que el ancho de banda se analiza para dos usuarios o dispositivos

$$BW_{(total / 2 \text{ usuarios})} = 7.74 \text{ Mbps}$$

– **Plan medio**

$$BW_{(total / usuario)} = BW_{nav_general} + BW_{voz_IP} + BW_{vid-conf}$$

$$BW_{(total / usuario)} = 1.87 \text{ Mbps} + 0.5 \text{ Mbps} + 1.5 \text{ Mbps}$$

$$BW_{(total / usuario)} = 3.87 \text{ Mbps}$$

Simultaneidad

Se toma en cuenta los 4 integrantes de la familia que accedan a las funciones básicas de voz, datos y videos estimando un ancho de banda para 4 dispositivos o usuarios a la vez

$$BW_{(total / 4 \text{ usuarios})} = 15.48 \text{ Mbps}$$

– **Plan alto**

$$BW_{(total / usuario)} = BW_{nav_gen} + BW_{voz_IP} + BW_{vid-conf} + BW_{vid_HD} + BW_{red_social}$$

$$BW_{(total / usuario)} = 1.87 \text{ Mbps} + 0.5 \text{ Mbps} + 1.5 \text{ Mbps} + 6 \text{ Mbps} + 1 \text{ Mbps}$$

$$BW_{(total / usuario)} = 10.87 \text{ Mbps}$$

Simultaneidad

Se plantea dos personas que utilizan el servicio de internet de manera simultánea debido a que cumplen el rol de estudiantes, por ende, utilizan funciones básicas más aplicaciones de alta demandando al mismo tiempo.

$$BW_{(total / 2 \text{ usuarios})} = 21.74 \text{ Mbps}$$

De manera general al haber realizado un análisis para cada uno de los planes se concluye en la Tabla 13 teniendo los siguientes planes de servicio.

Tabla 13. Planes de Internet para la parroquia de Guangopolo

Servicio	Ancho de banda digital
Básico	10 Mbps
Medio	15 Mbps
Alto	25 Mbps

Otro aspecto importante de proporcionar el servicio de Internet es la compartición de ancho de banda, para lo cual se analizó en base a los proveedores de servicio de Internet que se encuentran en la parroquia, determinado una compartición 2:1, teniendo en consideración que no todos los usuarios se conectan al mismo instante al servicio de Internet.

En base al estudio se determinó que el proyecto tendrá 2 nodos, para aproximadamente 109 familias obtenidas previo estudio de la Tabla 8 Proyección de cuentas de usuario para la Parroquia de Guangopolo año 2021. Adicionalmente en la Tabla 14 se tiene el ancho de banda con compartición 2:1 para proveer el servicio a los abonados en el año 2021 en la parroquia.

Tabla 14. Capacidad del canal año 2021

Número de abonados	Ancho de banda digital	Compartición	Ancho de banda requerida
27	10 Mbps	2:01	135
82	15 Mbps	2:01	615
Ancho de banda total [Mbps]			750

El diseño de ISP inalámbrico para la parroquia se basa en soportar una demanda de 750 Mbps requerida por los 109 abonados estimados, considerando a 27 abonados como un grupo familiar que no poseen el servicio de Internet, en las cuales tendremos mayores posibilidades que contraten nuestro servicio. En el Anexo 13 se detalla el ancho de banda digital para los abonados con su respectiva proyección hasta el año 2025.

3.2.4 Capa núcleo

Es la capa central encargada de transportar grandes cantidades de tráfico de manera óptima e instantánea hacia la red exterior del ISP, es por ello no realiza funciones que aumenten la latencia como enrutamiento interVLAN, filtrado de paquetes o ACL, entre sus características es proporcionar conectividad con la capa de distribución.

Se ubica un dispositivo activo que cumpla la función de borde, está en el límite tanto de la red del ISP como la red externa, tiene la función de enviar y recibir el tráfico de Internet. En el equipo se configura *BGP (Borde Gateway protocol)*, como protocolo de enrutamiento para la comunicación entre la red interna del ISP de la parroquia con la red externa (Internet) y viceversa. A continuación, se detalla funciones principales que debe tener el equipo seleccionado teniendo interfaces de alta velocidad con puertos SFP o SFP+ para conexiones a la salida internacional de Internet (WAN) y para la red interna.

– Selección del router de borde

Para la selección del equipo que cumpla la función de borde se tiene a Cisco por medio del cuadrante de gartner y el otro fabricante es una opción de menor costo como MikroTik.

- Teniendo a Cisco un fabricante especializado en el despliegue de redes con un elevado costo la serie cisco N-520 equipo especializado para proveedores de servicio con QoS y seguridad, con un módulo Trust Anchor ayuda a verificar que el hardware de Cisco es auténtico y proporciona servicios de seguridad, Seguridad AAA.
- MikroTik un enrutador de conectividad con interfaces con puertos de 1,10 y 25 Gbps en un solo dispositivo con un rendimiento de un solo núcleo de (hasta 3.4 Gbps) y procesamiento *BGP*, con la fuente de alimentación doble redundante.

En la Tabla 15 se detalla un análisis general de características principales teniendo un diferenciados la parte económica ya que cisco cuadruplicado el valor teniendo la consideración que se busca reducir costos en equipamiento para ser competitivos no sería una opción ideal escoger a Cisco. Otro parámetro importante es la cantidad de interfaces de alta velocidad (puertos ópticos) MikroTik cuenta con 12 interfaces SFP o SFP+ lo que cisco solo posee 6.

Tabla 15. Comparación entre fabricantes para el equipo de núcleo de la red

Equipo	Marca	MikroTik	Cisco
Características	Modelo del equipo	CCR2004-1G-12S+2XS	N 520-X-4G4Z-D
	Tamaño de la RAM	4 GB	4 GB
	Puertos Ethernet	1 puerto de 10/100/1000	2 puerto gigabit ethernet
	Puertos ópticos SFP o SFP+	SFP + 12	SFP 2
		SFP 25 G 2	SFP+ 4
	Memoria Flash	16 MB	5 GB
	Sistema operativo instalado	RouterOS	Cisco IOS XE Polaris Software
	Soporta direccionamiento	IPv4 / IPv6	IPv4 / IPv6
	Protocolos de enrutamiento	OSPF / ISIS / BGP	OSPF / ISIS/ BGP
	Valor en el mercado	\$ 515,00	2,000,00

– Conexión hacia el backbone o red troncal

La conexión hacia el backbone por parte del ISP es la interconexión internacional que se realiza con una empresa Nacional, para el proyecto se escogió una empresa que este cercana a la parroquia con un tendido de fibra óptica. En la Figura 18 se observa la red troncal que está constituida de un nodo de distribución de la Empresa privada que se conecta al router ISP provisto por el proveedor el servicio a contratar para cumplir el modelo de reventa del servicio, teniendo como medio de transporte fibra óptica, esta permitirá la conexión hacia el equipo de borde (router ISP de la parroquia de Guangopolo).

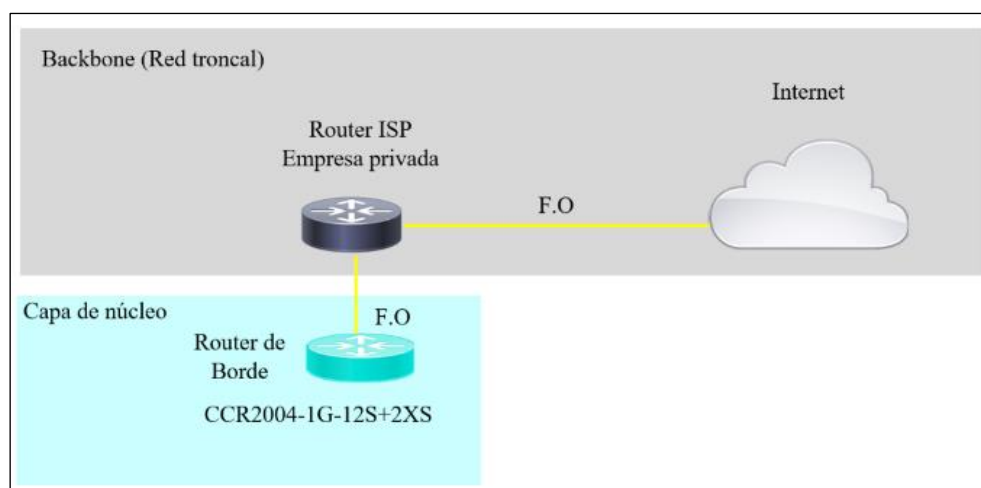


Figura 18. Topología jerárquica núcleo de la red del ISP

– Configuración del equipo

La configuración de la interfaz WAN se lo realiza por medio de la aplicación de administración que posee MikroTik RouterOS por medio de una interfaz gráfica. La

dirección para el router es público otorgado por el proveedor de servicio y se configura a una interfaz del equipo de la siguiente manera:

Dirección IP Pública

Máscara

Gateway

DNS

– **Control de ancho de banda**

Control de ancho de banda se lo hará en el equipo MikroTik que permite utilizar un árbol de colas simple QUEUE aplicando límites de ancho de banda a cada usuario garantizando una cierta cantidad de ancho de banda en función de cada plan de Internet que sea contratado. Se utiliza Simple QUEUE que permite controlar de manera amigable por medio de una interfaz gráfica donde se coloca la siguiente configuración.

- Nombre de QUEUE
- Posterior se ubica la dirección IP a controlar,
- Se coloca el ancho de banda dependiendo del usuario.

Adicionalmente se puede asignar el ancho de banda a varios usuarios para la compartición de ancho de banda esto dependerá del servicio que haya escogido el abonado.

3.2.5 Capa de distribución

Su función es comunicar la capa de acceso y núcleo de la red proporcionando enrutamiento del tráfico, filtrado, seguridad y enrutamiento entre VLAN, QoS para las subredes de la red LAN perteneciente al ISP de la parroquia. Se manejan grandes flujos de datos y se recomienda trabajar con equipos de capa 3 y 2 (switch y router al mismo tiempo) del modelo OSI, es por esta razón que se sugiere ubicar un equipo multicapa teniendo a un switch de capa 3 como un dispositivo idóneo en esta

– **Selección del equipo de distribución**

Para la selección del equipo que cumpla la función de distribución se tiene a Cisco por medio del cuadrante de Gartner y el otro fabricante es una opción de menor costo como MikroTik. Para la selección se consideró tener un switch multicapa (conmutador) teniendo,

mayor cantidad de interfaces, menor costo, alta capacidad de conmutación examina la dirección MAC de destino para enviar las tramas solo al destino.

El equipo seleccionado debe contar con la característica de Dual stack para lograr la coexistencia debido a la escasez de direcciones IPv4 y la transición a IPv6, teniendo en cuenta que los ISP deben soportar IPv4 e IPv6.

- Teniendo a Cisco un fabricante especializado en el despliegue de redes con un elevado costo la serie cisco SG 350 equipo de capa 3 con tipos de autenticación Secure Shell, radius, TACACS+, gestión remota y 28 puertos gigabit ethernet y 2 puertos ópticos
- MikroTik cuenta con 4 interfaz Gigabit Ethernet PoE pasivo y con 20 puestos ópticos SFP y 4 SFP+ 10 G bps, tiene la característica de trabajar con el sistema operativos RouterOS o SwOS con almacenamiento Flash, admite hasta 4000 VLAN, IGMP snooping, compatibilidad de tramas hasta 10218 bytes, ACL, control de tormentas de broadcast

En la Tabla 16 se detalla un análisis general de características principales teniendo un diferenciados la parte económica ya que cisco duplica el valor teniendo la consideración que se busca reducir costos en equipamiento para ser competitivos no sería una opción ideal escoger a Cisco. Adicionalmente MikroTik cuenta con idéntica cantidad de interfaces ethernet, pero más puertos ópticos lo cual nos ayudara a reducir costo.

Tabla 16. Comparación entre dos fabricantes para la selección del equipo que cumple la función de distribución en la red.

Equipo	Marca	MikroTik	Cisco
Características	Modelo del equipo	CRS328-4C-20S-4S+RM	Gigabit Cisco SG350-28-k9-na
	Tamaño de la RAM	512GB	512 MB
	Puertos Ethernet	1 10/100/1000	28 gigabit Ethernet
	Puertos ópticos SFP o SFP+	20 SFP 4 SFP +	2 ranuras SFP
			2 gigabit Ethernet combinados
	Memoria Flash	16 MB	32 MB
	Sistema operativo instalado	SwOS / RouterOS (Dual boot)	IOS
Valor en el mercado	\$ 400,00	\$ 999,00	

– **Configuración del equipo**

La configuración es idéntica por medio de la aplicación Winbox el servicio DHCP y el enrutamiento para interconectar las redes.

– **Conexión de la capa de distribución**

En la Figura 19 se observa la conexión de la capa distribución con el equipo MikroTik de la serie CRS328-4C-20S-4S+RM hacia la capa de núcleo por medio de enlaces ópticos para generar una mayor tasa de transmisión de información.

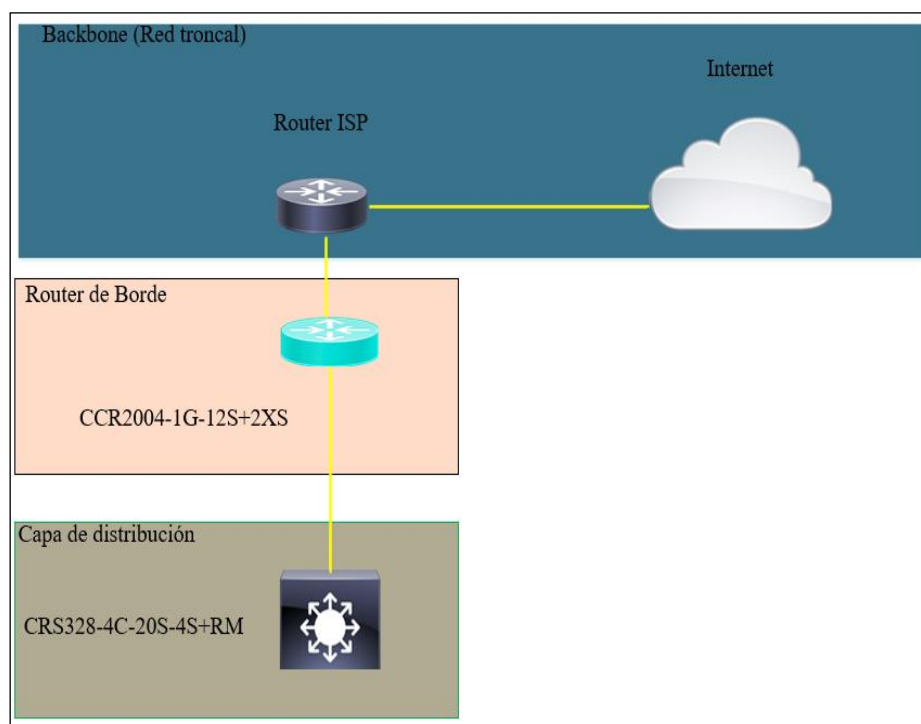


Figura 19. Topología jerárquica capa de distribución de la red del ISP

3.2.6 Capa de acceso

En la capa de acceso del modelo jerárquico se maneja el tráfico de los radio enlaces que son generados por los equipos local del cliente (CPE), generando un control de acceso a los usuarios a la red. Entre las funciones esta la conmutación de paquetes.

– **Selección del equipo de acceso**

Para la selección del equipo que cumpla la función de acceso se tomó previo estudio del cuadrante de gartner y un fabricante con una viabilidad económica buena teniendo a Cisco y MikroTik para el análisis. Se consideró tener un switch capa, con una buena cantidad de

interfaces, menor costo, alta capacidad de conmutación, soporta IPv4 e IPv6 considerando que la mayor parte de Internet aun maneja IPv4.

En la Tabla 17 se detalla un análisis general de características principales teniendo un diferenciados la parte económica ya que cisco duplica el valor teniendo la consideración que se busca reducir costos en equipamiento para ser competitivos no sería una opción ideal, pero de manera general los dos fabricantes cumplen con los requerimientos mínimos manejos de VLAN puertos ethernet y puertos ópticos y funcionalidades de QoS, MikroTik cuenta con conmutación de 56 Gbps y restricciones de ancho de banda y filtrado MAC.

Tabla 17. Comparación entre dos fabricantes para el equipo de la capa de acceso

Equipo	Marca	MikroTik	Cisco
Características	Modelo	CSS610-8G-2S + IN	Gigabit Cisco SG350-28-k9-na
	Puertos Ethernet	8 10/100/1000	24 puertos de 10/100/1000
	Puertos ópticos	2 SFP +	2 puertos Gigabit 10/100/1000 SFP
	Sistema operativo instalado	SwOS	IOS
	Precio	\$ 99,00	\$ 360,00

– Segmentación de la red

Para la segmentación de la red interna del ISP de la Parroquia se manejan las siguientes VLANs para una óptima administración y funcionamiento, generando VLANs en función de los roles que cumplen dentro del ISP. En la Tabla 18 se detalla las 4 VLANs que nos son redes segmentadas lógicamente independientes con propio dominio de broadcast.

Tabla 18. Segmentación de la red interna del ISP

Segmentación	Característica
VLAN administración	Para asignar a los servidores de monitoreo del ISP.
VLAN aplicaciones	Para asignar a los servicios correo electrónico, FTP, DNS y servidor web.
VLAN conectividad externa	Para asignación de todos los dispositivos que van hacia el exterior, tanto el router de borde, servidor cache entre otros.
VLAN acceso	Para asignación a los dispositivos (switch) que tiene el tráfico de los dispositivos de los clientes del ISP

– Servicios en la red

Los servicios como DHCP, DNS, control de ancho de banda, control de acceso se lo implementa en los equipos MikroTik para garantizar un funcionamiento correcto de la red.

– Servidores

Tomando en cuenta que el proyecto del ISP es a pequeña escala los equipos no deben ser costosos, pero poseer requisitos básicos para una ejecución óptima. Los servidores cumplen roles específicos dentro de una red para la ejecución de cada uno de los servicios por parte del ISP, para lo cual se realiza una elección del software como hardware idóneo.

El software escogido para los servidores es GNU/Linux debido a que posee un sistema operativo gratuito, Linux tiene una gran cantidad de distribuciones como por ejemplo las más conocidas Ubuntu, Debian, CentOS entre otros. Una de las ventajas de utilizar Linux para los servidores del ISP es las siguientes.

- Reducción de costos con soluciones que están disponibles de manera gratuita
- Capacidad de ejecutar muchos procesos al mismo tiempo
- Versiones de Linux manejan un entorno grafico
- Linux posee menor peligro de ser infectado por virus como sucede en Windows
- Gran gama de versiones que son adaptables según los requerimientos empresariales o domésticos.

– Selección de la distribución Linux

Las distribuciones Linux más utilizadas son CentOS y Ubuntu, cada una son excelentes para el uso en servidores, pero CentOS es más utilizada para entornos empresariales, además contiene un diseño con entorno gráfico. Adicionalmente en la Tabla 19 se compara las dos distribuciones escogiendo a CentOS por su estabilidad, seguridad y enfocada a entornos empresariales lo cual es idóneo al momento de implementar servicios dentro del ISP.

Tabla 19. Comparación de las dos distribuciones más utilizadas de Linux

Características	Ubuntu	CentOs
General	Actualizaciones frecuentes	Más seguro y estable con menor frecuencia en las actualizaciones
	Arquitectura Debian	Red Hat Enterprise Linux
	Licencia Libre	Licencia libre
Seguridad	Tiene más funcionalidades con más posibilidad de riesgos en seguridad	Prioriza la seguridad y estabilidad

Para el presente diseño se utiliza la distribución CentOS 7.0 debido a que tiene sus actualizaciones completas en el año 2020, lo que no sucede con la versión 8 que fue publicada en el 2019 con una fecha de actualizaciones completas 2024.

Para la implementación de los servidores se utilizará un servidor HP Proliant DL120 9Gen en el sistema operativo CentOS

Catching

Squid funcionara como servidor web proxy - cache, programa de software libre con la función de proxy de la red y cache de almacenamiento de páginas web, permitiendo tener protección separando las redes cliente con servidor, permite acelerar el acceso a páginas web o simplemente para restringir acceso por medio de la cache

Servidor de administración NAGIOS

En el diseño se utilizará el sistema de monitoreo en la red, para el caso Nagios es de código abierto y se encarga de administración, monitoreo de la red del ISP encargado de vigilar hardware y software (servicios) con el objetivo de ver en tiempo real el comportamiento de la red. Permite gestionar los servicios de red como *SMT*, *POP3*, *HTTP*, *SNMP*, *DNS* y obtener graficas de componentes de red, alarmas reportes de tráfico y uso de la red

– Servicios adicionales para clientes corporativos

Se determina para el caso de que existan clientes corporativos tener seleccionado posibles servicios a proporcionar como correo electrónico o servicio web. El servidor de correo es indispensable como un canal de comunicación de empresas o pequeños negocios se tiene soluciones como Zimbra, Gmail y Outlook, para el proyecto se eligió el software Zimbra debido a que es una solución sencilla y económica de software libre es decir código abierto para modificarlo y personalizarlo, esta cumplirá las funciones de servidor de correo electrónico y se implementará en CentOS

– Conexión capa de acceso

En la Figura 20 se observa la Red del ISP el modelo jerárquico diseñado teniendo las conexiones de las capas (núcleo, distribución y acceso) cada uno con funcionalidades específicas, además se agrega los servidores para los servicios que se puedan proporcionar por parte del ISP.

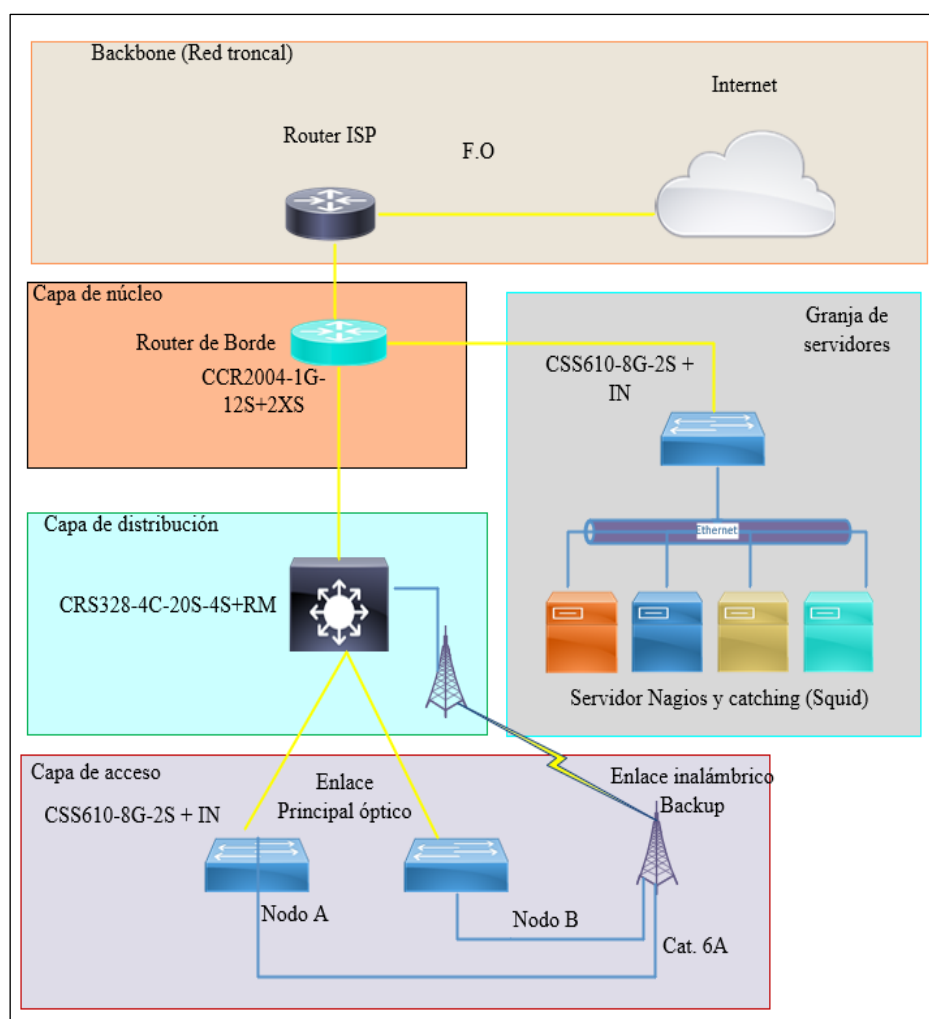


Figura 20. Topología jerárquica capa de acceso de la red del ISP

3.2.7 Cuarto de telecomunicaciones

Se escoge una infraestructura civil propia para evitar tener el egreso económico mensual de un arriendo, además está ubicado en un sector donde existe un proveedor cercano que pueda proporcionar el servicio de Internet para la reventa el servicio.

El lugar cumplirá la función de Estación Principal donde se ubique el cuarto de telecomunicaciones para la ubicación de equipos de la red troncal, red del ISP, servidores y finalmente dos antenas para enlaces punto a punto como enlace redúndate del despliegue de fibra óptica de distribución hacia el nodo A y B, ver Figura 21 el lugar seleccionado.



Figura 21. Infraestructura civil designada como nodo principal (Cuarto de telecomunicaciones)

3.2.8 Enlace capa distribución – capa acceso (Nodo A y B)

3.2.8.1 Enlace troncal principal de fibra óptica

– Medio de transmisión Óptico

El medio por utilizar es Fibra óptica debido a sus diferentes prestaciones como un mayor ancho de banda, permitiendo garantizar la escalabilidad a mayor cantidad de usuarios, además permite soportar enlaces de larga distancia a altas velocidades. El diseño contempla un estudio de campo (survey) hacia el sector y las turas a tomar en base a esto se realizó el siguiente proceso en el diseño óptico.

1. Se determinó el tipo de fibra óptica idónea, esta debe estar bajo recomendación ITU.

– Ambiente de despliegue de la fibra óptica

El ambiente es de tipo exterior, debido a que va a ser desplegada por la infraestructura de alumbrado público de la Empresa Eléctrica Quito.

– Tipo de fibra óptica

Para el diseño se escogió trabajar con una fibra óptica monomodo, debido a que permite desplegar en aplicaciones mayores a 1 km con menor atenuación en comparación con la fibra multimodo y la fibra monomodo permite propagar en un solo modo de luz y alcanzar distancias de hasta de 400 km, transmite a tasas de información elevadas.

– **Tipo de cable para el tendido aéreo**

El tipo de cable escogido es para exteriores ADSS (*all dielectric self supported*) cable totalmente dieléctrico auto soportado, que posee las siguientes ventajas inmunidad al ruido, instalación simple, costo bajo y de alta confiabilidad. Para el diseño se utilizará la fibra óptica G.652 D, diseñada para trabajar en longitudes de onda entre 1310-1530, posee un núcleo de 8–10 micrómetros para aplicaciones de redes LAN, MAN, de acceso y transmisión, además se encuentra bajo la recomendación ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) encarga de tener estudios de características de las fibras ópticas para distintas aplicaciones, las especificaciones se detallan en la Tabla 20.(ITU-T, 2016)

Tabla 20. Fibra óptica recomendación UIT-T G.652.(ITU-T, 2016)

Atributos fibra óptica G. 652. D		
Características generales	Longitud de onda de transmisión	1310, 1360, 1550, 1625
	Atenuación a 1383 nm por OH-	No, fibra ZWP (Zero Water Peak) Coeficiente de atenuación (dB/km)
Pendiente Dispersión cromática	λ min 1300 nm	0.073 pps/nm ² x km
	λ max 1324 nm	0.092 pps/nm ² x km
Coeficiente de atenuación	1310 nm -1625 nm	Atenuación 0,4 dB/Km
	1383 nm +- 3 nm	Atenuación 0,4 dB/Km
	1530-1565	Atenuación 0,30 dB/km
El coeficiente PMD	Máxima PMD (ps/√km)	0,2

2. La ruta por seguir con la distancia respectiva para el despliegue del medio óptico.

– **Cálculo de la distancia de la fibra óptica**

Para determinar este valor se realizó una inspección de campo del recorrido que se va a tomar y por medio del software Bing Maps se obtuvo la distancia de 1 km para el despliegue de fibra óptica desde el cuarto de telecomunicaciones donde estará ubicado el switch de distribución hacia la estación base del nodo A donde estará ubicado un switch de acceso, el recorrido se detalla en la Figura 22.

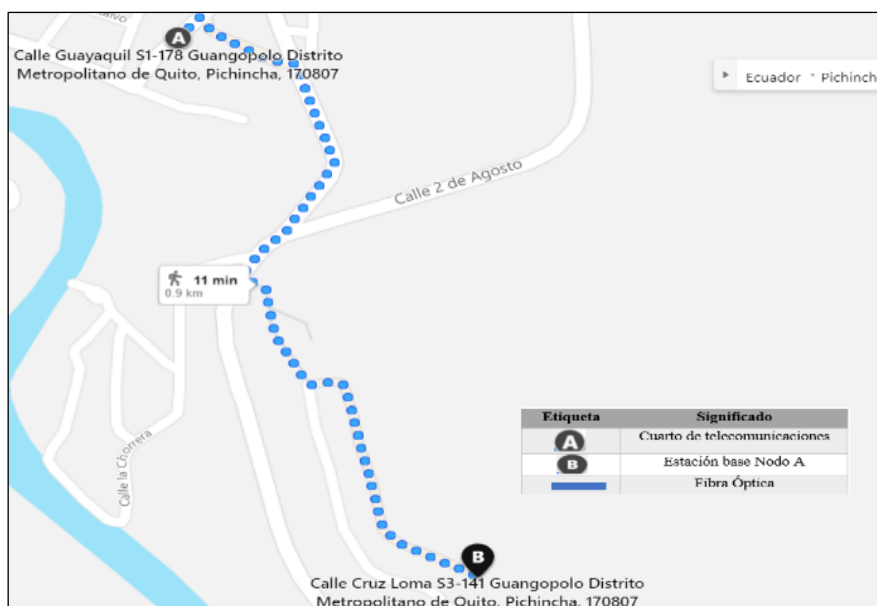


Figura 22. Puntos de localización TR y ubicación de la estación base para el nodo A

Se obtuvo la distancia de 6 km para el despliegue de fibra óptica desde el cuarto de telecomunicaciones donde estará ubicado el switch de distribución hacia la estación base del nodo B donde estará ubicado un switch de acceso, el recorrido se detalla en la Figura 23.

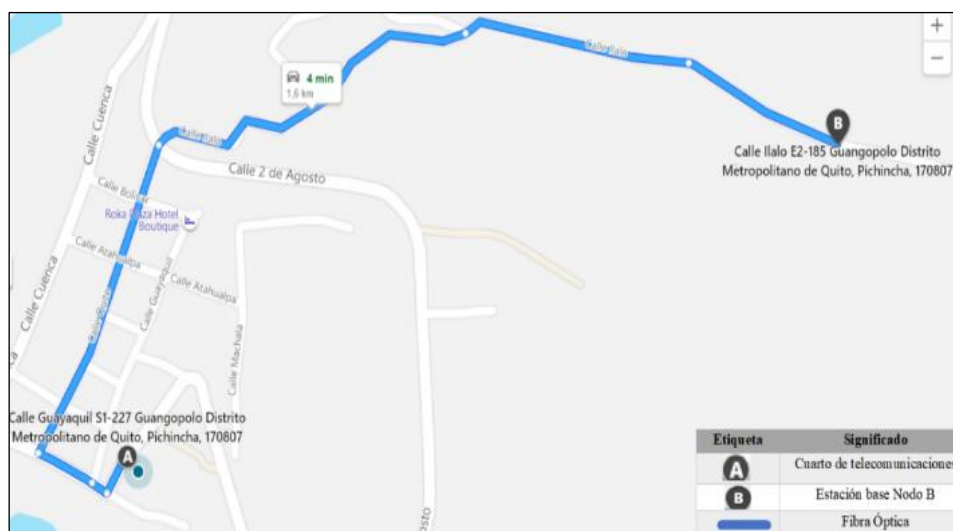


Figura 23. Puntos de localización TR y ubicación de la estación base para el nodo B

- Estudio de medidas correspondientes de cantidad de fibra óptica para el despliegue desde el switch de distribución hacia los nodos secundarios nodo A y B

– **Reserva de fibra óptica**

En el despliegue de la F.O se estima una reserva, mismo que sigue la CNT EP de un 10 % de reserva de la distancia total de la ruta para trayectos largos, esta reserva es del 5 % es debido a la generación de catenarias (curva generada por la fibra óptica por la suspensión en

los dos extremos de cada poste de la Empresa eléctrica), el espacio de poste a poste se lo considera vano y un 5% de reserva del cable por algún daño que pueda tener. Es por esto por lo que se describe en la Ecuación 18 la manera de obtener la reserva de F.O en metros.

$$\text{Cálculo de reserva de F.O} = \text{Distancia de fibra óptica} * 10 \% \quad (18)$$

Nodo A

$$\text{Cálculo de reserva de F.O} = 1000 \text{ metros} * 0.10$$

$$\text{Cálculo de reserva de F.O} = 100 \text{ metros}$$

Nodo B

$$\text{Cálculo de reserva de F.O} = 1600 \text{ metros} * 0.10$$

$$\text{Cálculo de reserva de F.O} = 160 \text{ metros}$$

Para la ubicación de la reserva de 160 m se lo realizara donde se proyecte una derivación a futuro para desplegar otra Nodo o cuando se vaya a hacer un empalme de continuidad.

– Pandeo en postes

En el tendido aéreo de F.O se lo realiza por medio de postes de la red eléctrica, estos sufren flexiones por fuerzas horizontales, en algunos casos se da por los mismos cables eléctricos o elementos que se encuentren desplegados en cada vano, es por esta razón que se toma en cuenta un porcentaje de adicional al vano, para el poste de hormigón de 2% de la cantidad de fibra óptica, Para la obtención de este valor se utiliza la Ecuación 19 que permite obtener un valor adicional de reserva de F.O en metros.

$$\text{Pandeo del poste} = \text{Distancia de fibra óptica} * 2\% \quad (19)$$

Nodo A

$$\text{Pandeo} = 1000 \text{ metros} * 0.02$$

$$\text{Pandeo} = 20 \text{ metros}$$

Nodo B

$$\text{Pandeo} = 1600 \text{ metros} * 0.02$$

Pandeo= 32 metros.

– **Cantidad de postes**

Para la obtención de la cantidad de postes en el tramo desde el cuarto de telecomunicaciones hacia el nodo A y B respectivamente, se estimó primero la distancia promedio entre postes (vano) desplegado por la Empresa Eléctrica con un valor de 45-50 metros, además se cuenta con el valor de la distancia total, en base a esto por medio de la Ecuación 20 se obtuvo la cantidad de postes que hay en cada trayecto.

$\text{Número de postes} = \text{Distancia total} / 50 \text{ m}$	(20)
---	------

Nodo A

$$\text{Número de postes} = \text{Distancia total} / 50 \text{ m}$$

$$\text{Número de postes} = 1600 \text{ m} / 50 \text{ m}$$

$$\text{Número de postes} = 32$$

Nodo B

$$\text{Número de postes} = \text{Distancia total} / 50 \text{ m}$$

$$\text{Número de postes} = 1000 \text{ m} / 50 \text{ m}$$

$$\text{Número de postes} = 20$$

– **Herrajes**

Los herrajes de sujeción se instalan uno por cada poste para la sujeción del cable óptico en el recorrido total desde el cuarto de telecomunicaciones hacia el nodo A y B. Es por esto por lo que a la distancia total se la debe aumentar entre 15-20 cm por cada herraje instalado. Para la obtención de esa reserva adicional se estima por medio de la Ecuación 21.

$\text{Distancia de herrajes} = \text{Número de herrajes} * 0,20 \text{ m}$	(21)
---	------

Nodo A

$$\text{Distancia de herrajes} = 20 * 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Distancia de herrajes} = 4 \text{ m}$$

Nodo B

Distancia de herrajes = $32 * 0,20$ m

Distancia de herrajes = 6,4 m

Finalmente se obtiene en la Tabla 21 la cantidad en metros de fibra óptica ADSS G.652 a desplegar tanto para el nodo A como el nodo B hacia la estación principal en la parroquia de Guangopolo, determinando todas las reservas que debe poseer cada enlace obteniendo 2922,4 metros.

Tabla 21. Cantidad total en metros de fibra óptica G652.D exteriores

Nodo A	Distancia [m]	Nodo B	Distancia [m]
Cuarto de telecomunicaciones-Nodo A	1000	Cuarto de telecomunicaciones-Nodo B	1600
Reserva	100	Reserva	160
Pandeo	20	Pandeo	32
Herrajes	4	Herrajes	6,4
Total Nodo A	1124	Total Nodo B	1798,4
Cantidad total en [m] para el despliegue de fibra óptica			2922,4

4. Presupuesto de potencia de los enlaces de fibra óptica

Para el análisis del presupuesto de potencia del enlace óptico tanto hacia el nodo A y B, dependerá de tres factores importantes, la potencia de tx, pérdidas en el enlace y la sensibilidad que posee el receptor, el estudio se lo realiza en base a la Ecuación 22, cumpliendo que la potencia que se recibe debe ser mayor o al menos igual a la sensibilidad del dispositivo que recibe la señal óptica. En la Ecuación 23 se detalla la manera de obtener la potencia de recepción.

$$Prx \geq \text{Sensibilidad} + \text{Margen de seguridad} \quad (22)$$

$$Prx = Ptx - Nc * \alpha c - \alpha * D - \alpha e * Ne \quad (23)$$

Donde:

Prx = Valor de la potencia de recepción (dBm)

Ptx = Valor de Potencia de transmisión (dBm)

Nc = Número de conectores extremo a extremo

αc = Atenuación que sufre el conector (dB)

α = Atenuación por longitud de F.O (dB/Km)

D = Longitud de la fibra óptica (Km)

α_e = Atenuación de empalmes de fusión (dB)

Ne = Número de empalmes por fusión

Para el estudio se estima los siguientes valores en base a especificaciones referenciales detallando a continuación.

- **Atenuación del conector:** Conector LC atenuación $\leq 0,3$ dB, en el enlace entre estación principal (switch distribución) hacia el nodo (switch acceso) se utilizan 4 conectores.
- **Margen de atenuación por empalmes:** Se estima que cada empalme por fusión tiene una pérdida en el rango de 0,1-0,4 dB
- **Margen de seguridad en enlaces ópticos:** Se estima un margen de 1-2 dB debido a que pueden existir futuras reparaciones de fibra óptica generando atenuaciones adicionales.
- **Potencia de tx y sensibilidad:** Ptx = 9 dBm y Sensibilidad de recepción = -24 dBm, valor tomado de especificaciones técnicas del transceiver MikroTik Tabla 19.

Al trabajar la fibra óptica G.652.D en la segunda ventana de trasmisión 1310 nm, se utiliza un transceiver que trabaje con esas especificaciones, detallando en la Tabla 22 las características del fabricante MikroTik, mismas que se utilizara para el presupuesto óptico.

Tabla 22. Especificaciones técnicas de la interfaz óptica MikroTik S-31DLC20D

S-31DLC20 D 1.25 G, 1310 nm Dual LC connector, 20 km		
Transceiver	Min	Max
Potencia óptica de tx dBm	-9	-3
Sensibilidad de recepción dBm	-	-24

- **Estación principal hacia nodo A**

En el diseño se utilizará conectores LC para los enlaces de fibra óptica mismo que se conectarán hacia cada ODF tanto de la estación principal como el nodo A, posterior a esto se conectarán por medio de Patch Cord desde cada ODF hacia los transceiver que posee cada

switch tanto de la estación principal como del nodo A, la topología de conexión se observa en la Figura 24

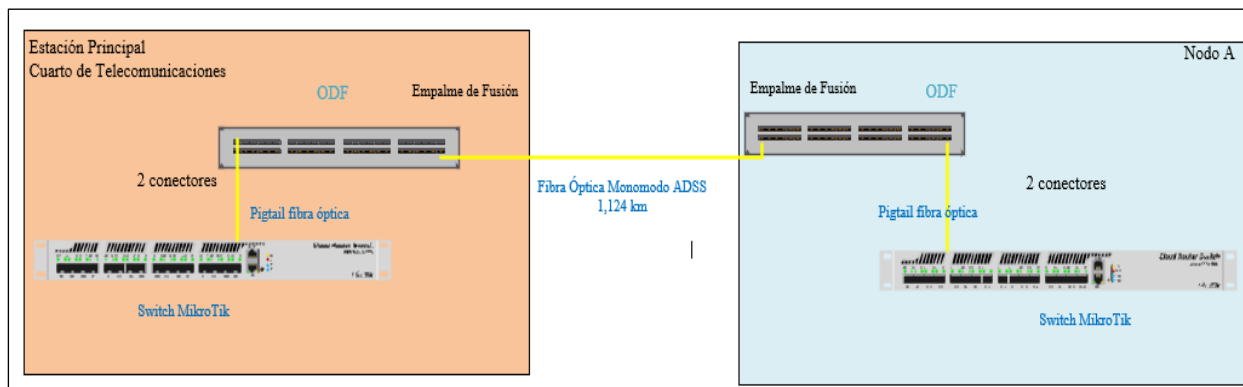


Figura 24. Conexión estación principal hacia nodo secundario A

$$Prx = Ptx - Nc * \alpha_c - \alpha * D - \alpha_e N_e$$

$$Prx = -9 \text{ dBm} - 4 * 0,4 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB/km} * 1,124 \text{ km} - 2 * 0,4 \text{ dB}$$

$$Prx = -11,8496 \text{ dBm}$$

$$Prx \geq \text{sensibilidad} + \text{Margen}$$

$$-11,8496 \text{ dBm} \geq -24 \text{ dBm} - 2 \text{ dB}$$

$$-11,8496 \text{ dBm} \geq -26 \text{ dBm}$$

– **Nodo principal hacia nodo secundario B**

El diseño se utilizará conectores LC para los enlaces de fibra óptica mismo que se conectarán hacia cada ODF tanto de la estación principal como el nodo B, posterior a esto se conectarán por medio de patch cord desde cada ODF hacia los tranciver que posee cada switch tanto de la estación principal como del nodo B, la topología de conexión se observa en la Figura 25.

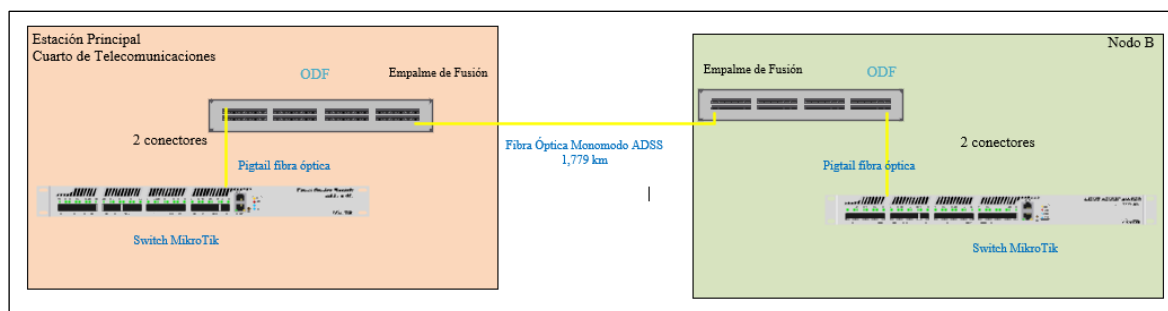


Figura 25. Conexión estación principal hacia nodo secundario B

$$Prx = Ptx - Nc * \alpha_c - \alpha * D - \alpha_e N_e$$

$$Prx = -9 \text{ dBm} - 4 * 0,4 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB/km} * 1,779 \text{ km} - 2 * 0,4 \text{ dB}$$

$$Prx = -12,111 \text{ dBm}$$

$$Prx \geq \text{sensibilidad} + \text{Margen}$$

$$-12,111 \text{ dBm} \geq -24 \text{ dBm} - 2 \text{ dB}$$

$$-12,111 \text{ dBm} \geq -26 \text{ dBm}$$

– **Dispersión cromática**

Por medio de la *ITU* (Unión Internacional de Telecomunicaciones) se tiene para fibras ópticas monomodo una dispersión de cero para longitudes de onda a 1310 nm, esta dispersión afecta a la comunicación debido al tener un valor alto de dispersión cromática genera un ensanchamiento del pulso teniendo un crecimiento del tiempo de bit deformando los pulsos y solapándose.

3.2.8.2 Enlace troncal inalámbrico de Backup

Uno de los puntos importantes a considerar es garantizar una redundancia en la red de transporte entre la estación principal donde está el switch de distribución hacia los nodos A y B para acceder al switch de acceso, es por esta razón que se tomó como el enlace principal a un medio óptico y un enlace de Backup un medio inalámbrico que permita erradicar una interrupción del servicio de Internet en la parroquia.

– **Frecuencia**

Para el diseño de los enlaces inalámbricos de Backup desde el capa distribución hacia la capa de acceso en los nodos A y B se trabajará con bandas de frecuencias no licenciadas es decir de uso libre, ARCOTEL menciona límites de emisión espectral de uso determinado en bandas libres (UDBL) detallando así características técnicas y lentes de emisión, por esta razón se tomara el rango de frecuencias de 5 725 – 5 850 MHz debido a que permite trabajar con una potencia máximo de transmisión de 1000 mw y un PIRE sin restricción.

– **Segmentación de frecuencias**

Para la segmentación de bandas de frecuencia se toma los datos sugeridos por el datasheet del fabricante Ubiquiti en la cual detalla para un WISP para enlaces punto a punto se sigue tener a un ancho de canal de 60-80 MHz con velocidades de más 500-650 Mbps y para enlaces

En la Tabla 23 se describe los canales de frecuencia que cada AP usara en los enlaces punto-punto con canales de 60 MHz, además se asigna distintas frecuencias con el objetivo de no generar interferencia entre cada Nodo.

Tabla 23. Frecuencias asignadas para los enlaces principales para el ISP de la Parroquia de Guangopolo

AP Ubiquiti Estación Principal	Ubicación geográfica	AP Nodo A y B	Ubicación geográfica	Frecuencia MHz
AP 1 Guangopolo	0°15'36.12"S	AP Rumiloma	0°15'54.06"S	5725-5785
	-78°27'5.19"S		-78°26'57.22"S	
AP 2 Guangopolo	0°15'36.12"S	AP Sorialoma	0°15'22.35"S	5790-5850
	-78°27'5.19"S		-78°26'33.9"S	

– Equipamiento

El equipamiento por usar es un Access Point de la serie RP - 5AC - Gen2 tiene un mayor ancho de banda de hasta 80 MHz para enlaces PtP con puertos gigabit Ethernet, el equipo escogido cuenta con las siguientes ventajas que ayudan a sustentar la selección, antena directiva de la marca Ubiquiti Networks RD-5G30-LW, con las siguientes especificaciones detalladas en la Tabla 24 con sus respectivos lóbulos de radiación.

El equipo se instalará en el cuarto de telecomunicaciones ubicado en la parroquia de Guangopolo como en cada nodo (Rumiloma y Sorialoma) para tener un enlace redundante de backup que permita garantizar una disponibilidad ininterrumpida, para casos en el la cual la fibra óptica se rompa o sufra algún desperfecto.

Tabla 24. Características de equipamiento Backup AP y antena

Modelo Access Point	Rocket Prism AC (RP-5AC-Gen2).	Lóbulos de radiación.
Rango de Frecuencia	5.10 - 5.85 GHz	
Rendimiento	500 + Mbps	
Potencia de transmisión	1xBPSK(1/2) 28 dBm	
Sensibilidad	8x 256 QAM (5/6) 22 dBm	
	1xBPSK(1/2) -96 dBm	
Modelo de la antena	Antena RD-5G30-LW	
Frecuencia de la antena	5.15 - 5.85 GHz	
La Ganancia de la antena	30 dBi	
Polarización	Dual linear	

– **Estudio para el presupuesto de enlaces inalámbricos**

Para obtener la Tabla 25 presupuesto del enlace se obtiene por medio de las siguientes ecuaciones y datos descritas anteriormente.

- **Frecuencia:** Rango de Frecuencias = 5 725 – 5 850 MHz
- **Margen de desvanecimiento:** Se obtiene por medio de la Ecuación 3 y cada factor estimado se encuentra en la Tabla 4 pertenecientes a los factores de rigurosidad y climático.
Factor (A) terreno normal = 1. (Tomasi et al., 2003)
Factor (B) clima = 0.25. (Tomasi et al., 2003)
Factor de confiabilidad del sistema (R)= 99,99%.(Tomasi et al., 2003)
- **Pérdidas por propagación en espacio libre:** Para la determinación de FSL (dB) se trabaja con la Ecuación 2.
- **Margen de Umbral:** Para la obtención del umbral de recepción se trabaja con la Ecuación 5 descrita en el capítulo, esta depende de la potencia de recepción y la sensibilidad.
- **Potencia de recepción:** $Prx [dB] = Ptx [dBm] - Ltx [dB] + Gtx [dBi] - Lp [dB] + Grx [dBi] - Lrx [dB]$
- **Pérdidas en los cables y conectores:** La pérdida en los cables depende de la frecuencia de trabajó a mayor frecuencia la pérdida en dB aumenta, se tiene por medio de los Anexos 14-15 un valor de pérdida de cada conector RP - SMA de 0,06 dB y de 0.11 dB en el pigtails coaxial LMR- 400 de longitud 0.5 m.
- **Potencia de tx** = 12 dBm
- **Ganancia** = 23 dBi
- **Distancia Nodo A** = 0,608 km
- **Distancia Nodo B** = 1,07 km

– **Resultados teóricos del presupuesto de los enlaces inalámbricos**

A continuación, en la Tabla 25 se detalla el presupuesto del enlace inalámbrico, cada ítem que integra se lo desarrolla en base a los datos anteriores, obteniendo de manera teórica un margen de umbral entre 38 - 42 dBm lo cual es estable para el diseño del radio enlaces inalámbricos, debido a que estos valores se comparan con el margen de desvanecimiento teniendo al margen de umbral mayor al margen de desvanecimiento con esta se garantiza la

disponibilidad del enlace en todo tiempo debido a que se consideró efectos de trayectoria múltiple, sensibilidad de terreno que son pérdidas adicionales en la transición.

Tabla 25. Presupuesto del enlace capa distribución- capa acceso

Nodo Principal	Nodo Secundario	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Pérdidas espacio libre dB	Margen de desvanecimiento (FM) dB	Potencia recepción dBm	Margen de Umbral
5AC Prism Gen2 + RocketDish RD-5G30-LW	5AC Prism Gen2+ RocketDish RD-5G30-LW	1,07 Nodo B	5,755	108,2385821	-19,7571208	-51,83858	38,161418
		0,608 Nodo A	5,82	103,4265313	-27,07275018	-47,02653	42,973469

– Sustentación de resultados obtenidos

En la Figura 26 se detalla el enlace de backup entre la capa de distribución y acceso ubicada en el Nodo A, el tilt mecánico obtenido es el valor de 3,41° tanto para en la estación principal y el nodo en el sector de Rumiloma. Adicionalmente se escogió una altura de 3 m y 6 m respectivamente, teniendo en cuenta que tanto en la estación principal como en el nodo A existe una infraestructura civil de 3 m a 4 m.

Se obtuvo una tasa de transmisión de 458 Mbps con niveles de recepción de señal de -45 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor el mismo posee un rango de entre 65 – 90 dBm, garantizando la factibilidad de la implementación para el sector.



Figura 26. Simulación software AirLink Enlace nodo principal - Nodo A

Se detalla en la Figura 27 el enlace Backup entre la capa de distribución y acceso ubicada en el Nodo B, el tilt mecánico con un valor de 8,77° tanto para la estación principal y el nodo en el sector de Sorialoma. Adicionalmente se escogió una altura de 3 m y 6 m respectivamente.

Se obtuvo una tasa de transmisión de 458 Mbps con niveles de recepción de señal de -50 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor, mismo posee un rango de 65 – 90 dBm, garantizando la factibilidad de la implementación para el sector.

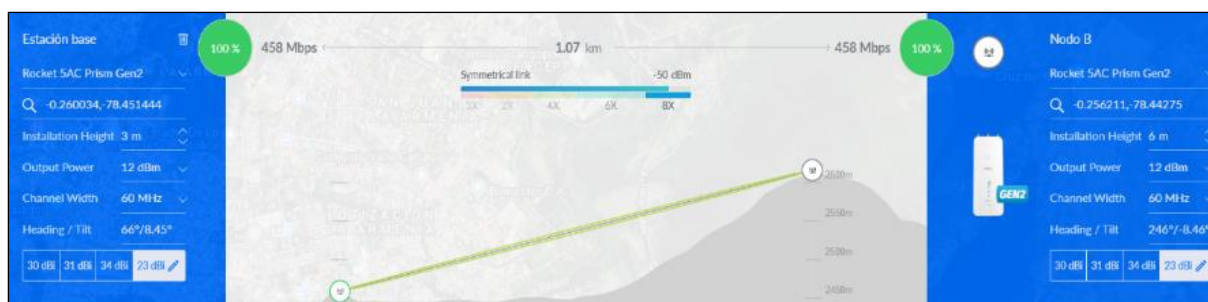


Figura 27. Simulación software Airlink Enlace nodo principal - Nodo B

3.2.9 Topología de conexión capa de distribución – capa de acceso (Nodo A y B)

En la Figura 28 se detalla la comunicación entre la capa de distribución y acceso para posterior a esto realizar la comunicación inalámbrica hacia los abonados.

- Enlace principal: El cuarto de telecomunicaciones donde está la red jerárquica del ISP (núcleo, distribución) se conectará por medio de un enlace principal de fibra óptica monomodo ADSS hacia la capa de acceso para finalmente por medio de enlaces multipunto dar el servicio a los abonados de la Parroquia de Guangopolo.
- Enlace de Backup: Se realizó un estudio de enlace de backup entre el switch de distribución y acceso para garantizar la tolerancia a fallos con redundancia inalámbrica con Access Point - antenas Ubiquiti en la banda de 5 GHz por medio de enlaces punto a punto en la banda de 5 GHz.

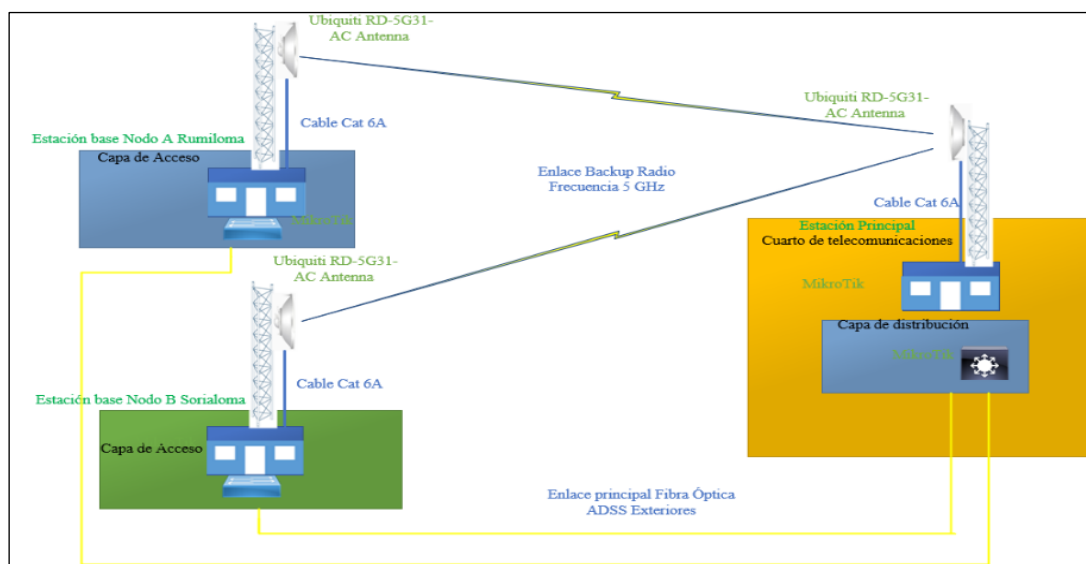


Figura 28. Topología de conexión del enlace principal y back up para la capa de distribución- capa de acceso

3.2.10 Red de distribución (enlaces inalámbricos)

Para los enlaces inalámbricos hacia los abonados se emplea mediante enlaces punto Multipunto (PtMP). Se definió dos nodos de comunicación para el ISP en la Parroquia debido a que cada comuna y sector central de la parroquia posee distintas alturas sobre el nivel del mar, por lo cual con un solo nodo no permite dar cobertura a la parroquia en su totalidad. Por esta razón se toma 2 radio bases que tiene una línea de vista con facilidades de acceso e infraestructura para la instalación de equipos.

- Nodo A (comuna Rumiloma)
- Nodo B (comuna Sorialoma)

3.2.10.1 Enlace de radio Punto-multipunto

El diseño contempla tener dos nodos por esta razón se asumen que se tiene una cantidad igual de abonados por cada nodo, proceso detallado en la Tabla 26, segmentando así la cobertura para las 3 comunas y el sector central de la parroquia. Al tener la misma cantidad de usuarios se tendrá un ancho de banda digital referencial por cada nodo.

Tabla 26 Enlaces principales hacia los abonados

Enlace	Abonados	Ancho de banda digital por nodo
Nodo A Comuna Rumiloma	54	375 Mbps
Nodo B Comuna Sorialoma	55	375 Mbps
Total del canal		750 Mbps

Por lo tanto, el valor de 375 Mbps corresponde al ancho de banda que debe tener cada nodo considerando tener alrededor de 54 abonados por cada nodo en planes de 15 Mbps y 10 Mbps con compartición 2:1. Para saber cuántos AP con sus antenas se ubicará en cada nodo se realiza el siguiente cálculo partiendo de la Ecuación 24.

$$\text{Cantidad de AP} = \frac{\text{Ancho de banda} * \# \text{Abonados} * \% \text{Utilización}}{\text{Velocidad de transmisión}} \quad (24)$$

Donde:

- Número de Abonados = 54
- Utilización promedio de red = 90% considerando que los usuarios no se conectan al mismo tiempo.
- Velocidad de transmisión = + 305 Mbps para enlaces punto-multipunto Ubiquiti

$$\text{Cantidad de AP} = \frac{15 \text{ Mbps} * 54 * 0,90}{305 \text{ Mbps}}$$

$$\text{Cantidad de AP} = 2$$

Este dato corrobora con el sugerido por el fabricante Ubiquiti, que detalla que alrededor de 27 abonados se pueden conectar al mismo instante a cada AP. En base al estudio anterior se determina que para el nodo A se estiman 2 AP y para el nodo B de igual manera se estiman 2 AP con sus respectivas antenas sectoriales que permite cubrir a toda la parroquia.

3.2.10.2 *Nodo A comuna Rumiloma*

El nodo A se ubicará un equipo de acceso (switch capa 2) que permitirá comunicar tanto el enlace troncal punto a punto entre el switch de distribución y acceso, como el enlace multipunto para los abonados por medio de un AP Ubiquiti. Adicionalmente en la Tabla 27 se detalla los datos importantes del nodo A teniendo sus coordenadas y altura, datos se tomaron por medio de Google Earth.

Tabla 27. Nodo A centro de operaciones ISP de la parroquia de Guangopolo

Ubicación		Parroquia Guangopolo, comuna Rumiloma	
Ciudad	Quito		
Provincia	Pichincha		
Coordenadas	Latitud	Longitud	
	0°15'54.06"S	78°26'57.23"O	
Altura	2491 m.s.n.m.		




– **Access Point Ubiquiti Rocket Prism AC (Nodo A)**

Para la selección de las antenas se tomó en cuenta el lugar donde exista una buena línea de vista, se tiene en el nodo A alrededor de 54 abonados, por lo tanto, se considera en el diseño instalar un total de 2 AP por estación base con antenas sectoriales de 90° permitiendo dar cobertura en su totalidad a la comuna Rumiloma, se sugieren trabajar con 30 abonados por cada AP para un óptimo rendimiento debido a que depende de las condiciones ambientales e instalaciones de los clientes CPE(Equipo local del cliente).

El switch de acceso MikroTik se conecta hacia el equipo Rocket Prism AC (RP-5AC-Gen2) basada en AirMax AC con tecnología AirPrism, con velocidades de + 500 Mbps con rangos de + 5 km. En la Tabla 28 se observa en detalla las características principales del AP.

Tabla 28. Ubiquiti PS-5AC del fabricante Ubiquiti Networks

Modelo Access Point	Rocket Prism AC (RP-5AC-Gen2).
Frecuencia	5.10 - 5.85 GHz
Rendimiento	500+ Mbps
Polarización	Dual linear
Potencia de transmisión	1xBPSK(1/2) 28 dBm
	8x 256 QAM (5/6) 22 dBm
Sensibilidad	1xBPSK(1/2) -96 dBm
	8x 256 QAM (5/6) -65 dBm



– **Antena Ubiquiti tipo sectorial 90° (Nodo A)**

Para el sector de Rumiloma se escogió una antena simétrica con una menor zona ciega, teniendo las antenas AM-5G20-90 sectorial de 90° del fabricante Ubiquiti como idónea para las necesidades del sector, se estima 2 antenas para proporcionar cobertura en su totalidad. En la Tabla 29 se detallan las características principales del equipo.

Tabla 29. Antena sectorial AM-5AG20-90° del fabricante Ubiquiti Networks

Modelo de la antena	AM-5G20-90
Frecuencia	5.15 - 5.85 GHz
Ganancia	20 dBi
HPOL Ancho de haz	91°
VPOL Ancho de haz	85°
Elevación de ancho de haz	4°

Los lóbulos de radiación de la antena sectorial de la antena AM-5AG20-90° se detallan en el Anexo 16 sectorial por medio del datasheet del fabricante Ubiquiti.

– **Esquema de instalación estación base nodo A**

Se detalla en la Figura 29 el esquema que se va a utilizar para la distribución del Internet hacia los abonados desde el nodo A, teniendo un switch de acceso que conectara Access Point + Antena para los enlaces punto multipunto.

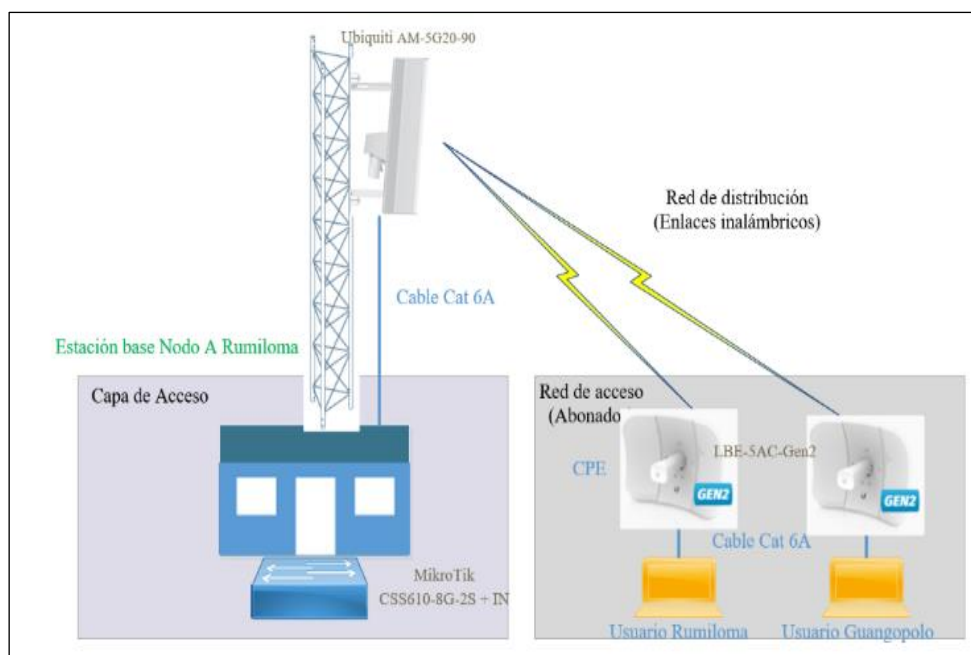


Figura 29. Instalación de la estación base Nodo A sector Rumiloma

3.2.10.3 Nodo B comuna Sorialoma

Se tiene en el nodo B alrededor de 52 abonados, por lo tanto, se considera en el diseño instalar un total de 2 AP por estación base con antenas sectoriales de 90° que permita dar cobertura en su totalidad a la comuna Sorialoma, Toglla y parte central de Guangopolo. Adicionalmente en la Tabla 30 se detalla los datos importantes del nodo B, su altitud teniendo en cuenta que al tener una buena línea de vista permite dar cobertura óptima al sector.

Tabla 30. Nodo B del ISP de la parroquia de Guangopolo

Ubicación	Parroquia Guangopolo, comuna Sorialoma	
Ciudad	Quito	
Provincia	Pichincha	
Coordenadas	Latitud	Longitud
	0°15'22.36"S	78°26'33.90"O
Altura	2614 m.s.n.m.	




Nodo B Comuna Sorialoma

– **Access Point Ubiquiti Rocket Prism AC (Nodo B)**

El switch de acceso MikroTik se conecta hacia un equipo de radio Ubiquiti Rocket Prism AC (RP-5AC-Gen2) A continuación, en la Tabla 31 se detallan características principales.

Tabla 31. Access Point nodo A comuna Rumiloma

Modelo Access Point	Rocket Prism AC (RP-5AC-Gen2).
Frecuencia	5.10 - 5.85 GHz
Rendimiento	500+ Mbps
Polarización	Dual linear
Potencia de transmisión	1xBPSK(1/2) 28 dBm
	8x 256 QAM (5/6) 22 dBm
Sensibilidad	1xBPSK(1/2) -96 dBm
	8x 256 QAM (5/6) -65 dBm



– **Antena Ubiquiti tipo sectorial 90° (Nodo B)**

Las antenas AirMax fabricadas con un alto índice de resistencia a la interferencia por co-ubicación en una misma torre, debido a su diseño innovador de deflector y los lóbulos laterales y posteriores reducidos que irradian con modulación de orden superior con 256 QAM en lugar de 16 QAM. Para el diseño se escogió la antena sectorial AM-5G20-90, cumpliendo la función de comunicación desde el nodo B hacia los abonados, ver las características en la Tabla 32.

Tabla 32. Antena sectorial Ubiquiti con ancho de haz 90°

Modelo de la antena	AM-5G20-90
Frecuencia	5.15 - 5.85 GHz
Ganancia	20 dBi
HPOL Ancho de haz	91°
VPOL Ancho de haz	85°
Elevación de ancho de haz	4°

3.2.10.4 Antena direccional Ubiquiti (CPE)

El siguiente equipo se ubicará en la parte superior de la casa de cada abonado con una línea de vista hacia el AP, se seleccionó a la serie Lite Beam AC Gen2, dispositivo para el equipo local del cliente. Además, el equipo tiene una antena 2 x 2 MIMO direccional de alta ganancia para conectividad a largas distancias, además cuenta con airOS 8 que incluye análisis de radio frecuencia en tiempo real. En la Tabla 33 se detallan características principales de la antena.

Tabla 33. Equipos locales del cliente LBE-5AC-Gen2 del fabricante Ubiquiti

Modelo de la antena	LBE-5AC-Gen2
Ganancia	23 dBi
Rendimiento	450 + Mbps
Anchos de banda	PtP: 10/20/30/40/50/60/80 MHz
	PtMP: 10/20/30/40 MHz
Potencia de transmisión	1x BPSK(1/2) 25 dBm
	8x 256 QAM (5/6) 21 dBm
Sensibilidad	1x BPSK(1/2) -96 dBm
	8x 256 QAM (5/6) -65 dBm



– Esquema de instalación estación base nodo B

Se detalla en la Figura 30 el esquema que se va a utilizar en la estación base para el nodo A teniendo en cuenta que se despliega fibra óptica monomodo G652.D ADSS exteriores desde el cuarto de telecomunicaciones en la parroquia de Guangopolo hacia el sector de Sorialoma donde estará un dispositivo de acceso switch capa 2 MikroTik que se conectará hacia el Access Point + antena Ubiquiti para la distribución del internet inalámbrico hacia los CPE, tanto al infraestructura civil como la torre existe en el sector y se utilizara el modelo de reutilización de infraestructura de telecomunicaciones para reducir costos.

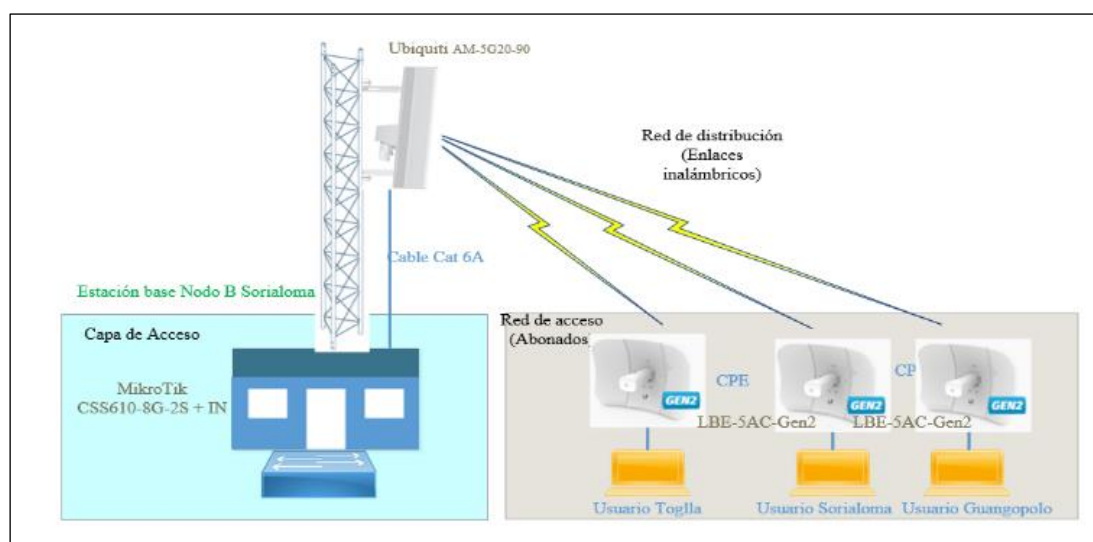


Figura 30. Instalación de la estación base Nodo B sector Sorialoma

3.2.11 Red de acceso (abonado)

Para el router Access Point del abonado se estimó realizar un análisis de 3 fabricantes TP-Link, Dlink y Cisco, que se encuentran en cuadrante de Gartner, comparando características principales, velocidad y estándares que trabajan, en base a esto se concluyó en base a la Tabla 34 que el equipo TP Link TL WR840N proporciona mayores beneficios a un menor costo con rango de velocidades de 300 Mbps con un cifrado WPA 2 para familias que deseen un plan básico y para familias que deseen un plan medio se colocara un equipo TP Link Archer VR400 con interfaces 10/100/1000 Mbps de tipo dual band.

Tabla 34. Comparativa de 3 fabricantes para el router Access Point del abonado

Modelo	Tp Link TL-WR840N	Wireless AC750 Dual Band Router DIR-809	LinKsys E900 Wireless-N300 Router
Estándares	IEEE 802.11n/b/g 2.4 GHz	IEEE 802.11ac/n/g/b/a	IEEE 802.11n/b/g 2.4 GHz
Velocidades	2,4 GHz: 300 Mbps	433 Mbps 5 GHz	300 Mbps 2,4 GHz
		300 Mbps 2,4 GHz	
Puertos ethernet	1 puerto WAN de 10/100 Mbps	1 puerto WAN de 10/100 Mbps	1 puerto WAN de 10/100 Mbps
	4 puertos LAN de 10/100 Mbps	4 puertos LAN de 10/100 Mbps	4 puertos LAN de 10/100 Mbps
Cifrado WiFi	WEP / WPA / WPA2/WPA	WPA & WPA2	WPA2 encriptación
	WPA2-Enterprise	WPS	
Antena	2 × antenas omnidireccionales	3 antenas omnidireccionales	2 antenas omnidireccionales
Valor	\$ 15	\$ 35	\$ 40

3.2.12 Estudio de presupuesto de radio enlaces

3.2.12.1 Terminología del presupuesto de enlaces inalámbricos

El diseño contempla tener un presupuesto de radio enlaces, teniendo a los nodos A y B que comunican con los distintos abonados, una característica común es la zona geográfica. El objetivo del estudio es la determinación de niveles de potencia mínimos de transmisión para que el enlace funcione correctamente, se realiza un estudio de las ganancias y pérdidas desde el Tx hacia el Rx, detallando en la Tabla 35 su terminología, con lo que permite realizar un presupuesto idóneo con una correcta elección de equipos.

Tabla 35. Terminología para el presupuesto de propagación

Transmisión	Propagación:	Receptor
Ptx: potencia del equipo Tx (dBm)	Lp: pérdidas de espacio libre (dB)	Grx: ganancia de la antena Rx (dBi)
Ltx: pérdidas de cables y conectores en Tx (dB)		Lrx: pérdidas de cables y conectores en Rx (dB)
Gtx: ganancia de la antena Tx (dBi)		Prx: potencia de recepción (dBm)
		Urx: umbral de recepción (dBm)
		Fm: margen de desvanecimiento (dBm)

- **Margen de desvanecimiento:** Se obtiene por medio de la Ecuación 3 y cada factor estimado se encuentra en la Tabla 4 pertenecientes a los factores de rigurosidad y climático.

Factor (A) terreno normal = 1. (Tomasi et al., 2003)

Factor (B) clima = 0.25. (Tomasi et al., 2003)

Factor de confiabilidad del sistema (R)= 99,99%.(Tomasi et al., 2003)

- **Pérdidas por propagación en espacio libre:** Para la determinación de FSL (dB) se trabaja con la Ecuación 5 para observarlas pérdidas generadas por propagarse por el vacío, tomando en consideración que la frecuencia se trabaja en la banda de 5 GHz y la distancia varía en función de los abonados.

- **Margen de Umbral:** Para la obtención del umbral de recepción se trabaja con la Ecuación 5 esta depende de la potencia de recepción y la sensibilidad.

- **Potencia de recepción:** La potencia de Tx está restringida a los valores de ARCOTEL, por esta razón se estimó una potencia de trasmisión de 10 dBm que nos permite un funcionamiento óptimo, en el caso más desfavorable se podría aumentar la potencia de Tx hasta 22 dBm.

$$Prx [dB] = Ptx [dBm] - Ltx [dB] + Gtx [dBi] - Lp [dB] + Grx [dBi] - Lrx [dB]$$

- **Ganancias de las antenas:** Para el diseño de los enlaces inalámbricos punto-multipunto se hace uso de los datos detallados de ganancia de las Tablas 29,32 y 33, se estimó una ganancia de 20 dBi para las antenas susceptible en función de cada antena.

- **Pérdidas en los cables y conectores:** La pérdida en los cables depende de la frecuencia de trabajo a mayor frecuencia la pérdida en dB aumenta, se tiene por medio de los Anexos 14-15 un valor de pérdida de cada conector RP-SMA de 0,06 dB y de 0.11 dB en el pigtaills coaxial LMR-400 de longitud 0.5 m.

3.2.12.2 Bandas de frecuencia

Para el diseño inalámbricos del nodo A y B hacia los abonados se trabajará con bandas de frecuencias no licencias de uso libre teniendo las bandas, para su utilización tan solo requieren un registro por ARCOTEL mas no una otorgación de título habilitante. A continuación, se detalla las bandas libres emitidas por ARCOTEL. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2018)

ARCOTEL en su anexo norma técnica de espectro de uso libre detalla en su “*Resolución No. 12-09-ARCOTEL-2017 del 13 de diciembre de 2017, publicada en la Edición Especial No. 250 del Registro Oficial el 31 de enero de 2018 En las bandas 915 – 928 MHz, 2 400 – 2 483,5 MHz, 5 150 – 5 350 MHz, 5 470 – 5 725 MHz y 5 725 – 5 850 MHz y 24,05 – 24,25 GHz operan para uso Determinado en Bandas Libres (UDBL), para los servicios fijo y móvil*”.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2018).

“ARCOTEL menciona límites de emisión espectral de uso determinado en bandas libres (UDBL)” (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2018) detallando así características técnicas y lites de emisión, detallando en la Tabla 36.

Tabla 36. Límites de emisión para espectro UDBL. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2018).

Bandas que operan	Potencia pico Máxima del Transmisor (mW)	P.I.R.E. (mW)	Densidad de P.I.R.E. (mW/MHz)
5150 – 5250 MHz	50	200	10
5250 – 5350 MHz	250	1000	50
5470 – 5725 MHz	250	1000	50
5725-5850 MHz	1000	---	----

Para la segmentación de bandas de frecuencia se toma los datos sugeridos por el datasheet del fabricante Ubiquiti en la cual detalla para un WISP para enlaces multipunto se sigue tener a un ancho de canal de 40 MHz con velocidades de más 330+ Mbps. Además, en la Tabla 37 se describe los canales de frecuencia que cada AP usara en los enlaces multipunto de 40 MHz, se asigna distintas frecuencias con el objetivo de no generar interferencia entre cada nodo.

Tabla 37. Asignación de frecuencias con canales de de 40 MHz en la banda de 5 GHz (PtMP)

AP Ubiquiti	CPE (Equipo local del cliente)	Canal	Frecuencia inicial	Frecuencia final	Bandas
AP 1	CPE 1	F 1 – F 2	5250 MHz	5290 MHz	UNII-1
AP 2	CPE 2	F 3 – F 4	5290 MHz	5330 MHz	UNII-1
AP 3	CPE 3	F 5 – F 6	5470 MHz	5510 MHz	UNII-2c
AP 4	CPE 4	F 7 – F 8	5510 MHz	5550 MHz	UNII-2c

Se estima que en cada nodo al tener antenas con enlaces de radio frecuencia adyacentes estos puedan tener interferencia, por esta razón se realizó una asignación de frecuencias con separación por bandas, la banda de 5 GHz que contiene 4 bandas distintas y se utilizaron 2 de ellas para que en cada nodo existas dos bandas distintas, la asignación se detalla en la Tabla 38 con su distribución de frecuencias por cada nodo y el sector.

Tabla 38. Asignación de canales por cada nodo y el sector que da cobertura

AP	CPE	Canal	Frecuencia inicial	Frecuencia final	Bandas
Nodo A Comuna Rumiloma	Norte de la Comuna Rumiloma	F1 - F2	5250 MHz	5290 MHz	UNII-1
	Sur de la Comuna Rumiloma	F7 - F8	5510 MHz	5550 MHz	UNII-2c
Nodo B Comuna Sorialoma	Comuna la Toglla	F5 - F6	5470 MHz	5510 MHz	UNII-2c
	Comuna Sorialoma	F3 - F4	5290 MHz	5330 MHz	UNII-1

En el diseño se planificó que los canales no estén superpuestos o no sean canales consecutivos para evitar así interferencias co-canal y de canal vecino por esta razón se utiliza la siguiente distribución, en la Figura 31 se observa la planificación.

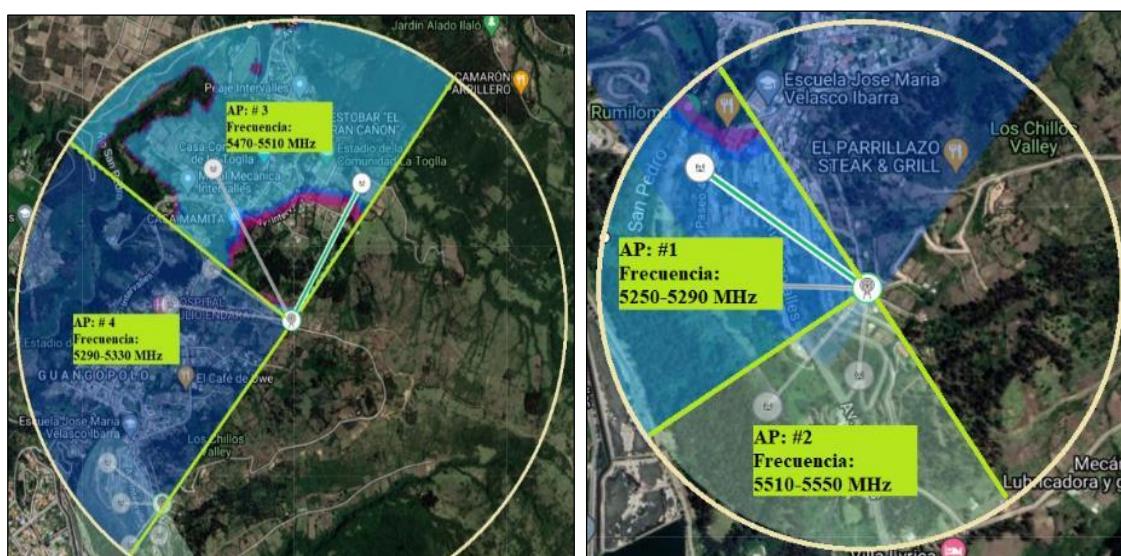


Figura 31. Planificación de frecuencias por antenas

3.2.12.3 Resultados teóricos del presupuesto de los enlaces inalámbricos

En la Tabla 39 se detalla el presupuesto del enlace inalámbrico, cada ítem que integra se lo desarrolla en base a los datos anteriores. Finalmente se obtuvo de manera teórica un margen de umbral entre 34 - 50 dBm lo cual es estable para el diseño del radio enlaces inalámbricos, debido a que estos valores se comparan con el margen de desvanecimiento teniendo al margen de umbral mayor al margen de desvanecimiento con esta se garantiza la disponibilidad del enlace en todo tiempo debido a que se consideró efectos de trayectoria múltiple, sensibilidad de terreno que son pérdidas adicionales en la transición.

Tabla 39. Presupuesto de enlace de los nodos A y B hacia 5 abonados

AP	CPE	Distancia (Km)	Frecuencia (GHz)	Pérdidas espacio libre (FSL) dB	Margen de desvanecimiento (FM) dB	Potencia de recepción dBm	Margen de Umbral
Nodo A: sectorial AM-5AC20-90	LBE-5AC-Gen2	0,24	5,27	94,49043714	-39,61464401	-46,0904371	43,909563
		0,16	5,53	91,38690228	-44,68823662	-42,9869022	47,013098
Nodo B: sectorial AM-5AC20-90	LBE-5AC-Gen2	0,91	5,49	106,4222747	-22,0721222	-58,0222747	31,977725
		0,68	5,31	103,6020687	-26,01287482	-55,2020686	34,797931

3.2.13 Equipamiento pasivo

3.2.13.1 Torre para la estación base del nodo A y B

Para disminuir los gastos que implican torres de elevadas alturas se escogió sectores altos que tenga una buena línea de vista para asegurar un buen desempeño, además se estima arrendar una infraestructura civil para ubicar las antenas. En el nodo A y B se utilizará un torre atirantada o arriostada con tirantes de acero para soportar los fuertes vientos ver en la Figura 32, se ubicará en la parte superior de la infraestructura civil de una vivienda en la comuna Sorialoma y Rumiloma, la altura de la torre dependerá del análisis en base a la modelación con el software Radio Mobile.

La estructura posee características técnicas de altura entre 6 hasta 100 m, se colocan en edificios o casas, en algunos casos hasta se puede instalar en un terreno con un amplio espacio, la estructura es soportada por tensores de acero la cantidad de arriostres son proporcional a la altura 2/3 de la altura, finalmente se debe ubicar 3 o 4 soportes,

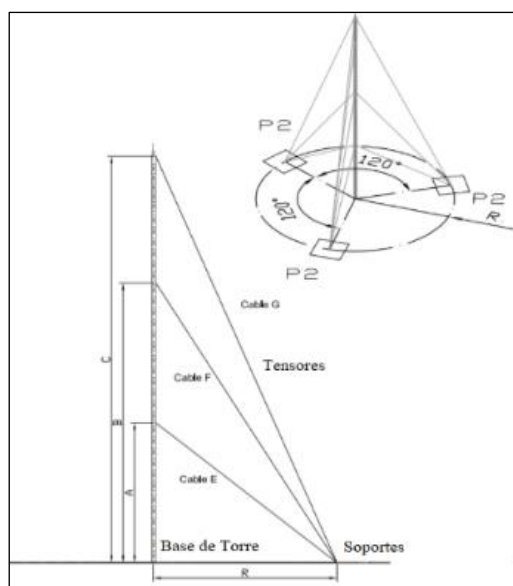


Figura 32. Torre arriostrada para el nodo A. (Satelite Rover, n.d.)

3.2.14 Equipamiento eléctrico

3.2.14.1 Sistema de alimentación ininterrumpida

El ISP debe proporcionar el servicio de Internet hacia la parroquia de Guangopolo sin ninguna interrupción, por esta razón se toma en cuenta el aseguramiento del servicio de energía eléctrica los 365 del año, para esto se seleccionó un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) equipo conocido como fuente de energía (UPS) que posee baterías o almacenadores de energía. Adicionalmente para el diseño se escogió el equipo SAI del fabricante Back UPS, las especificaciones se observan en la Tabla 40, permite proporcionar un nivel de protección de misión crítica para equipos de red servidores y Access Point-antenas Ubiquiti

Tabla 40. Back-Ups Pro para misión crítica

Back-UPS Pro 1500 de APC	
Control de energía.	Si
Capacidad de potencia de salida	1.5 kVA.
Salidas protegidas	10
Salida de onda sinusoidal pura	Si
Frecuencia	50 - 60 Hz
Tensión nominal	100/110/115/120/127 VCA
Módulos de batería incluidos	1
Capacidad VA/hora de batería	187 VA/hora

El UPS cuenta con sistema de baterías de 187 Va/ hora es la cantidad de energía que acumula la batería.

Energía= 187 Va/hora

Energía= 187 w/h

Energía =0,187 kw/h

En base al datasheet del fabricante menciona que la eficacia del modo batería trabaja a mayor del 90% por esta razón se estima el 90% de 0,187 kw/h obteniendo 0,168 kw/h.

– **Nodo A y B**

Se estima para el nodo A los siguientes equipos un switch que consume una potencia de 24 w y tres Access Point Ubiquiti 10 w, obteniendo un total de 54 w/h, por esta razón se estima que la energía sea para aproximadamente 2 horas en el caso más desfavorable con un consumo de 0.108 kw/h garantizando así un abastecimiento de energía por más de 2 horas.

– **Cuarto de telecomunicaciones**

Se estima 5 dispositivos tanto de red como Access Point para enlace redundante hacia los nodos A y B obteniendo 92 w/h, por esta razón se estima que la energía sea para aproximadamente 1 horas en el caso más desfavorable con un consumo de 0.92 kw/h garantizando así un abastecimiento de energía por más de 1 hora.

CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN DEL PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO DISEÑADO Y FACTIBILIDAD TÉCNICA

4.1 Modelación de los enlaces inalámbricos

El modelamiento para los enlaces inalámbricos del proveedor de servicio de Internet en la Parroquia de Guangopolo se lo hará por medio de Radio Mobile y el software online AirLink propietario de Ubiquiti, para ello se utilizará información de antenas, lóbulos de radiación, pérdidas de conectores, pérdidas de espacio libre entre otras que permita un modelamiento apegado a la realidad para así garantizar una cobertura óptima para los abonados.

4.1.1 Ubicación geográfica de los nodos y abonados

Radio Mobile utiliza el modelo Longley Rice para terrenos irregulares a medio y largo alcance. A continuación, se describe en las Tablas 41-42 las coordenadas geográficas y la altitud de los nodos A y B pertenecientes a la comuna la Rumiloma y Sorialoma, estos datos se obtuvieron por medio de Google Earth con la ubicación de los abonados perteneciente a cada sector detallando así en el Anexo 17.

Tabla 41. Coordenadas del nodo A comuna Rumiloma con sus respectivos abonados

Nodo	Coordenadas geográficas		Abonados	Coordenadas geográficas		Altura m.s.n.m
	Latitud	Longitud		Latitud	Longitud	
Nodo A: sectorial AM-5AG 20-90	0°15'54.06"S	78°26'57.23"O	Abonado 1 Sorialoma	0°15'53.84"S	78°27'4.88"O	2401
	Altura	2491 m.s.n.m.	Abonado 2 Sorialoma	0°15'59.34"S	78°26'57.78"O	2422

Tabla 42. Coordenadas del nodo B comuna Sorialoma con sus respectivos abonados

Nodo	Coordenadas geográficas		Abonados	Coordenadas geográficas		Altura m.s.n.m
	Latitud	Longitud		Latitud	Longitud	
Nodo B: sectorial AM-5AG 20-90	0°15'22.36"S	78°26'33.90"O	Abonado 1 Comuna la Toglla	0°14'56.34"S	78°26'47.66"O	2422
	Altura	2610 m.s.n.m.	Abonado Comuna Sorialoma	0°15'19.70"S	78°26'55.69"O	2510

4.1.2 Ingreso de parámetros

Para el modelamiento de los enlaces inalámbricos punto multipunto se configura una serie de parámetros en el software Radio Mobile. A continuación, se detallan cada uno de ellos.

- **Frecuencia:** En el ítem 3.3.11 bandas de frecuencia se realizó el estudio con su respectiva asignación, escogiendo bandas libres 5 250 - 5 350 MHz y 5 470 – 5 725 MHz. El software requiere ingresar tanto el umbral inferior, superior de la banda de frecuencias, por esto se toma la frecuencia inicial detallada en la Tabla 37 y como final una frecuencia 40 MHz por encima.
- **Polarización:** Para la simulación se utilizará la polarización vertical tanto para el Tx y Rx, debido a que por medio del datasheet de la antena Anexo 16, el equipo posee una polarización dual-linear y el software Radio Mobile no posee esa configuración. Dual linear emite patrones de radio frecuencia tanto horizontal y vertical al mismo tiempo para entornos de alta densidad de usuarios
- **Modo de viabilidad y pérdidas adicionales:** Para la simulación en Radio Mobile el modelo Longley-Rice define cuatro modos de variabilidad: Spot, Accidental, Mobile y Broadcast, para el caso de estudio se lo realizará con el modo Mobile (para propagación móvil), esta proporciona las peores condiciones. Se especifica la característica del trayecto, para el estudio se tiene en cuenta que es una zona rural, tomando pérdidas adicionales estimando un 10% de zona boscosa en el sector.
- **Refractividad de la superficie, conductividad y permitividad:** El modelo Longley-Rice recomienda el valor por defecto de 301 para la refractividad, valor para condiciones atmosféricas promedio.

La conductividad depende del tipo de terreno, en el caso de radioenlaces terrestres y de calidad media se estima el valor de 0,005 S/m medida en siemens por metro.

La permitividad relativa al suelo (ϵ), es de 15 para un terreno de calidad media

- **Clima:** Se utiliza el clima de ecuatorial para América central y del Sur
- **Potencia de transmisión y sensibilidad del receptor:** Se debe considerar los límites de emisión espectral emitidos por ARCOTEL con potencia máximas de transmisión de 250 mW con un PIRE de 1000 mW. Por esta razón se estima el valor de 8 dBm de potencia de transmisión en el nodo A y B

Este dato se encuentra en el datasheet teniendo valores de -90 dBm como mínimo y un valor óptimo de sensibilidad es de -65 dBm en una tasa de velocidad 8x 256 QAM. Para la simulación se estima el valor de -90 dBm de sensibilidad.

- **Tipo de antena y ganancia del equipo:** Las antenas son sectoriales con ancho de haz de 90° , para simulación se escoge la antena tipo corner.ant debido a que esta se asemeja más a la antena escogida previo análisis.
La ganancia de la antena respecto a la antena isotrópica en dBi es de 20 dBi cumpliendo el rango que soporta el equipo para el nodo A y B.
- **Altura de la antena:** Para la altura de la antena se escogió los siguientes datos
Nodo B = 13 m debido a que en ese sitio existe una elevación adicional e infraestructura civil de aproximadamente 4 m
Nodo A = 6 m esta ira desplegada en el sector de la comuna Rumiloma
Abonado = 3 - 4 m altura promedio de una casa de una planta más un mástil para la ubicación de la antena del abonado de 1.5 m
- **Pérdidas en la línea de transmisión:** Pérdidas en los cables coaxiales y conectores es de aproximadamente 0,5 dB, estas se subdividen en tener 6 conectores RP-SMA de 0,06 dB.

4.1.3 Modelamiento Radio Mobile

En el Anexo 18 se detalla la configuración de los parámetros de la red, frecuencias, polarización, pérdidas, clima, topología a usarse, umbral de recepción, potencia de transmisión, tipo de antena entre otras configuraciones que son comunes para cada enlace.

– **Nodo A – Abonado 1 Rumiloma**

De acuerdo con la simulación se tiene los siguientes resultados de la Figura 33, detallado así el enlace entre el nodo A ubicado en la comuna Rumiloma hacia el abonado 1, este es un sector alejado donde carecen del servicio de Internet. El enlace tiene un nivel de recepción de señal de -52,9 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el Rx, Además, por medio de Radio Mobile se obtiene la peor zona de Fresnel de todo el trayecto con un valor de 6,1 F1.

Hay una distancia de 0.24 km entre el nodo A y los abonados del sector de la comuna Rumiloma, teniendo un espacio libre sin obstrucciones de 0.12 km para una comunicación idónea. Adicionalmente se tiene el ángulo de azimuth de $272,24^\circ$ fijado en el plano horizontal y se mide desde el norte geográfico, teniendo en cuenta que se tiene antenas con ancho de haz de la antena es de 90° .

Se obtuvo un Rx relativo de 37,1 dBm que permite garantizar la señal hacia el receptor, teniendo en cuenta que el valor es un margen respecto a la sensibilidad del receptor y entre más alto sea este valor el enlace es óptimo. Además, se recuerda que se estimó una altura de la torre de 6-7 metros adicionándole 3 metros de la infraestructura civil que existe en el sector.

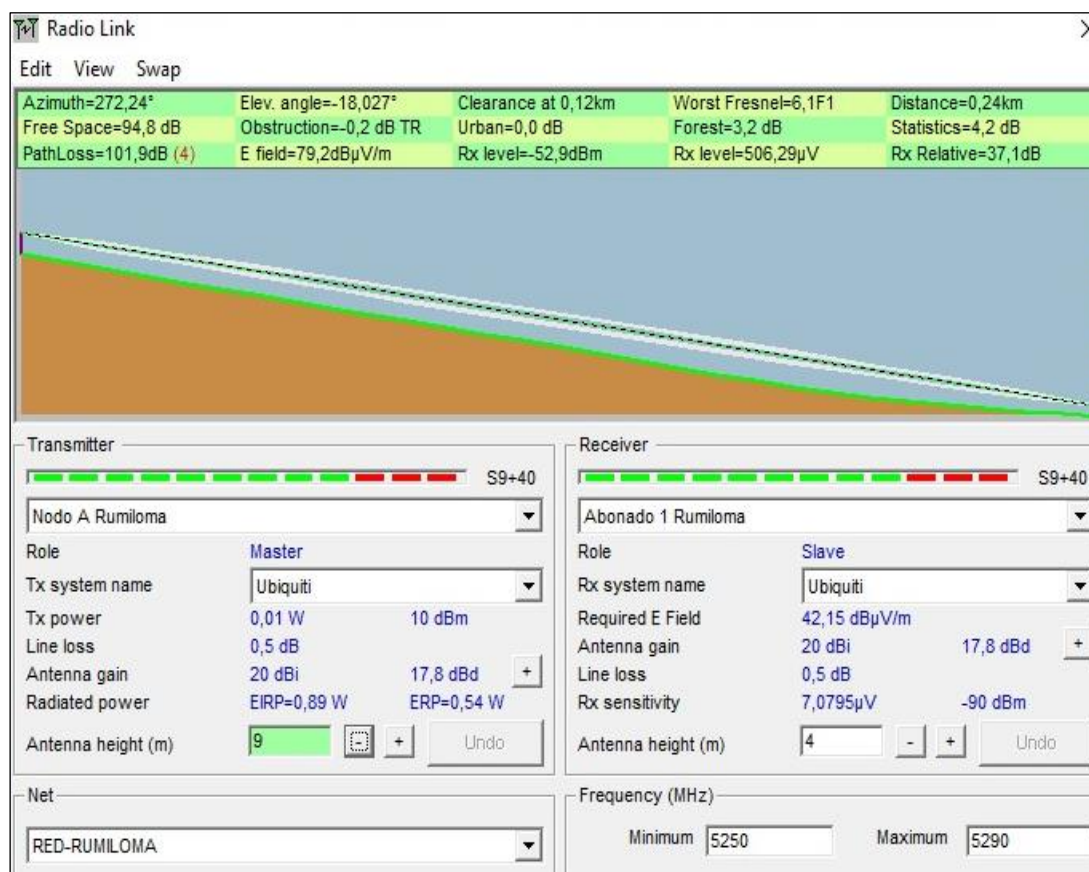


Figura 33. Perfil del enlace entre nodo A hacia un abonado 1 del sector de Rumiloma

– **Nodo A – Abonado 2 Rumiloma**

El enlace tiene un nivel de recepción de señal de -49,6 dBm como se observa en la Figura 34 cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor, garantizando la factibilidad de la implementación para el sector. Por medio de Radio Mobile se obtiene la peor zona de Fresnel de todo el trayecto con un valor de 4,1 F1. Se observa la distancia de 0.16 km entre el nodo A y los abonados del sector de la comuna Rumiloma, teniendo un espacio libre sin obstrucciones de 0.08 km para una comunicación idónea. Adicionalmente se tiene el ángulo de azimuth de 186,28° fijado en el plano horizontal y se mide desde el norte geográfico, teniendo en cuenta que se tiene antenas con ancho de haz de la antena es de 90°.

Se obtuvo un Rx relativo de 40,0 dBm que permite garantizar la señal hacia el receptor, entre más alto sea este valor el enlace es óptimo.

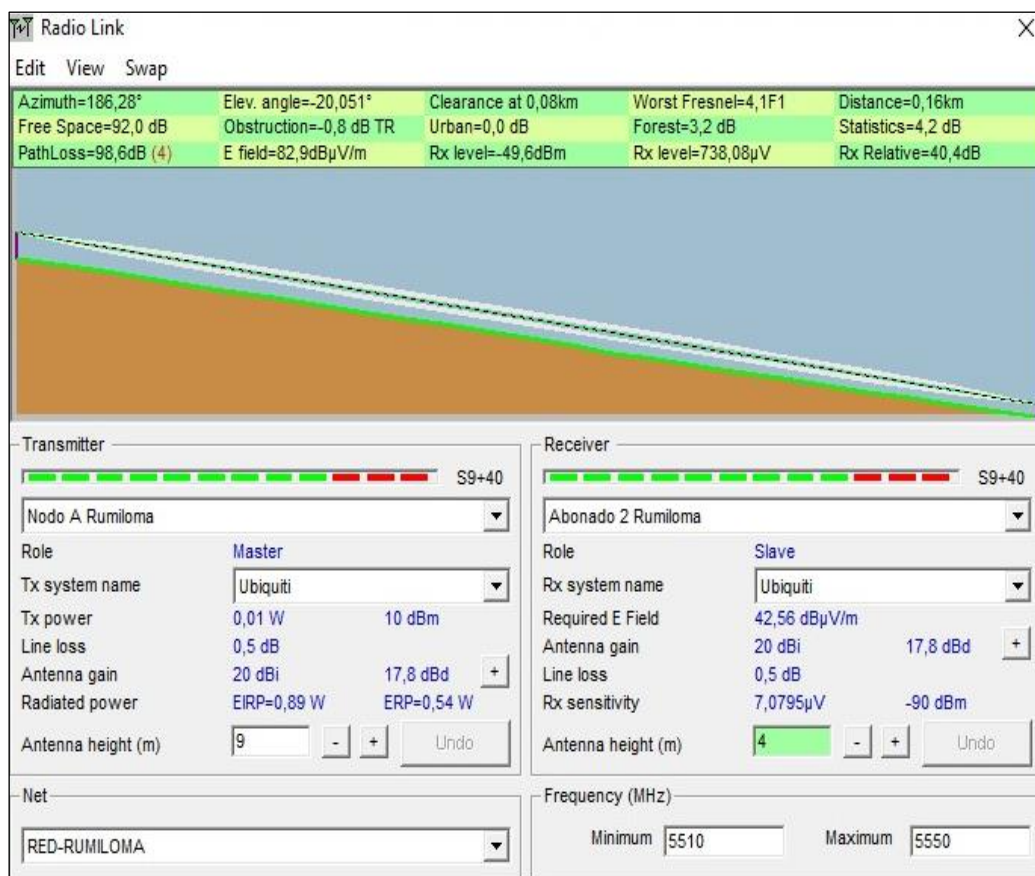


Figura 34. Perfil del enlace entre nodo A hacia un abonado 2 del sector de Rumiloma

En el Anexo 19-20 se muestra los perfiles de elevación por medio del software Google Earth demostrando así que no presenta obstáculos en el trayecto desde el nodo A hacia el sector de la Comuna la Rumiloma verificando la línea de vista óptima a una distancia de 295 y 160 metros con una altura 2491 m.s.n.m en el nodo A.

– **Nodo B - Abonado la Toglla**

En la Figura 35 se tiene los siguientes resultados entre el enlace del nodo B ubicado en la comuna Sorialoma hacia el abonado 1 de la comuna la Toglla. Se muestra que tiene un nivel de recepción de señal de -64,4 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el Rx, garantizando la factibilidad de la implementación para el sector. Además, por medio de Radio Mobile se obtiene la peor zona de Fresnel de todo el trayecto con un valor de 3,4 F1.

Se observa que hay una distancia de 0.91 km entre el nodo B y los abonados del sector de la comuna La Toglla, teniendo un espacio libre sin obstrucciones de 0.05 km para una

comunicación idónea. Adicionalmente se tiene el ángulo de azimuth $332,13^\circ$ este se fija en el plano horizontal y se mide desde el norte geográfico, teniendo en cuenta que se tiene antenas con ancho de haz de la antena es de 90° .

Se obtuvo un Rx relative de 25,6 dBm que permite garantizar la señal hacia el receptor, teniendo en cuenta que el valor es un margen respecto a la sensibilidad del receptor y entre más alto sea este valor el enlace es óptimo. Además, se estimó la altura de la torre arriestrada de 7 m adicionándole 5 metros de la infraestructura civil que existe en el sector.

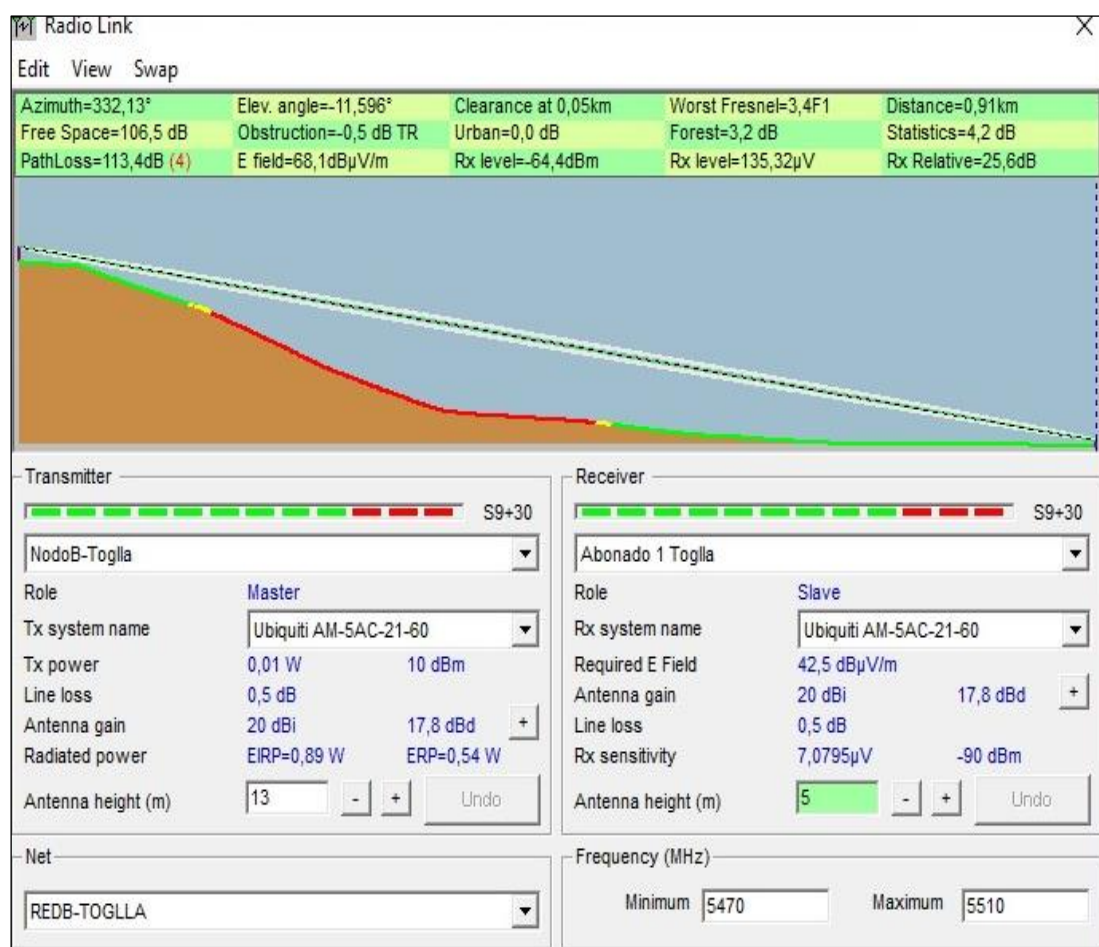


Figura 35. Perfil del enlace entre nodo B hacia un abonado del sector de la Toglla

En el Anexo 21 se muestra el perfil de elevación por medio del software Google Earth demostrando así que no presenta obstáculos en el trayecto desde el nodo B hacia el sector de la Comuna la Toglla verificando que no existe obstrucción y hay una línea de vista óptima a una distancia de 950 metros con 2610 m.s.n.m en el nodo B.

– **Nodo B - Abonado Sorialoma**

En la Figura 36 se detalla el enlace entre el nodo B ubicado en la comuna Sorialoma hacia el abonado 1 de la comuna la Rumiloma. Los resultados obtenidos muestran que el enlace tiene un nivel de recepción de señal de -61,3 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor. Además, por medio de Radio Mobile se obtiene la peor zona de Fresnel de todo el trayecto con un valor de 4,4 F1.

Se observa que hay una distancia de 0.68 km entre el nodo B y los abonados del sector de la comuna Sorialoma, teniendo un espacio libre sin obstrucciones de 0.24 km para una comunicación idónea. Adicionalmente se tiene el ángulo de azimuth 276,95° este se fija en el plano horizontal y se mide desde el norte geográfico, teniendo en cuenta que se tiene antenas con ancho de haz de la antena es de 90°.

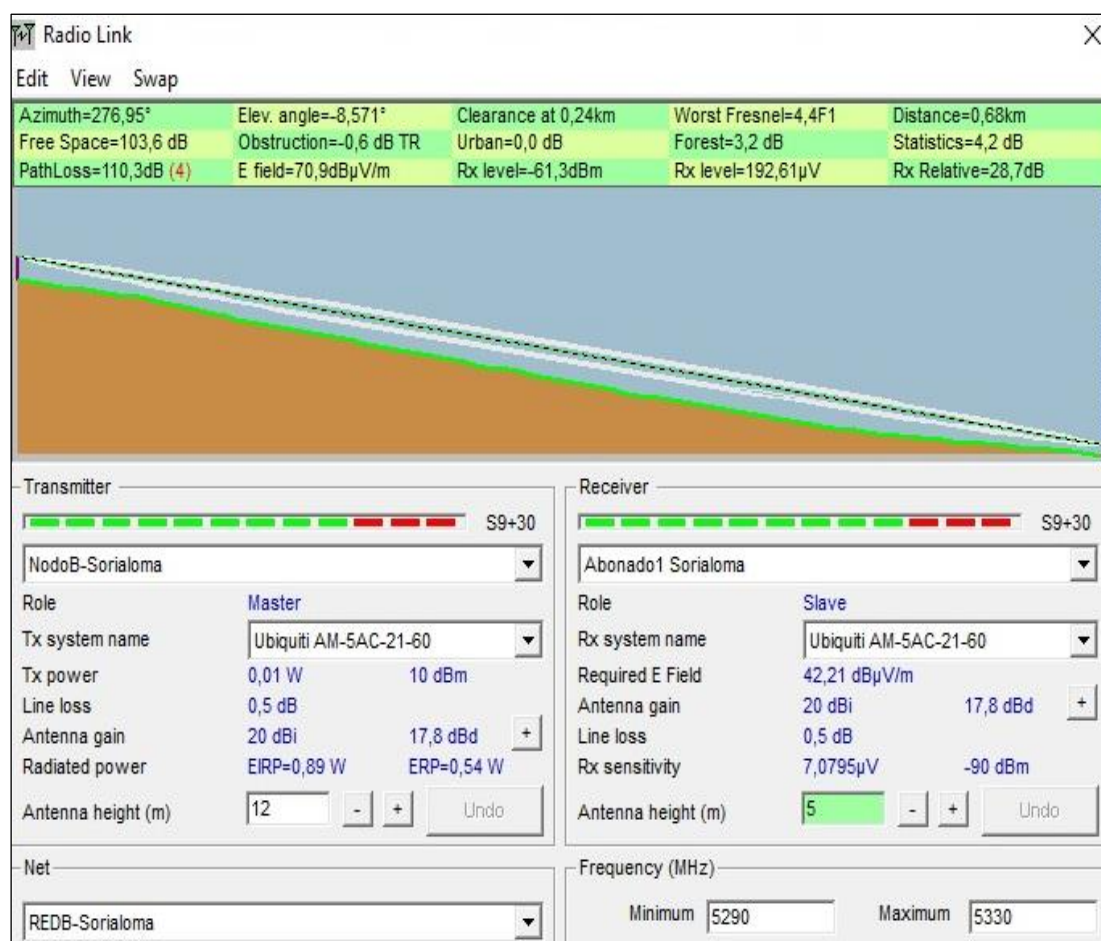


Figura 36. Perfil del enlace entre nodo B hacia un abonado del sector de Sorialoma

En el Anexo 22 se muestra el perfil de elevación por medio del software Google Earth demostrando así que no presenta obstáculos en el trayecto desde el nodo B hacia el sector de la Comuna la Sorialoma verificando que hay una línea de vista óptima a una distancia de 700 metros con 2610 m.s.n.m en el nodo B.

4.1.3.1 Resultados obtenidos del modelamiento Radio Mobile

En la Tabla 43 se tiene un resumen de los resultados obtenidos por medio de Radio Mobile para el nodo A y B hacia los abonados, se observa la Prx teniendo en el peor caso -66,4 dBm, este valor está dentro del rango de sensibilidad del receptor garantizando así tener una tasa de transferencia de +305 Mbps con una tasa de bits 8x 256 QAM.

Se tiene la peor zona de Fresnel para las 2 comunas y el sector central de la parroquia con el valor más desfavorable de 4,5 F1, lo que nos lleva a concluir que se tiene la cuarta zona despejada totalmente y un 50% de la quinta zona de Fresnel despejada cumpliendo así con la recomendación “UIT-R P.530-13 acerca de trayecto entre el TX y Rx debe estar libre de obstáculos en un mínimo de 60% del radio de la primera zona de Fresnel”.(ITU-R, 2009)

Se determina el ángulo elevación para cada sector con aproximadamente rangos entre 8° – 20° en si es la inclinación de la antena con respecto al plano vertical.

Tabla 43. Enlaces de radio Punto multipunto nodo A y B

Enlace		Angulo de elevación	Nivel de Rx dBm	Rx relativo dB	Peor zona de Fresnel	Pérdidas totales dB
Nodo	Abonados					
Nodo B: sectorial AM-5AG20-90	Abonado Toglla	-11,596°	-64,4	25,6	3,4 F1	113,4 dB
	Abonado Sorialoma	-8,571°	-61,3	28,7	4,4 F1	110,3 dB
Nodo A: sectorial AM-5AG20-90	Abonado 1 Rumiloma	-18,027°	-52,9	37,1	6,1 F1	101,9 dB
	Abonado 2 Rumiloma	-20,051°	-49,6	40,4	4,1 F1	98,6 dB

4.1.4 Modelamiento AirLink

Ubiquiti Networks proporciona una aplicación web que permite analizar la cobertura inalámbrica tanto para enlaces PtP y PtMP para lo cual se pudo trabajar con las antenas seleccionada tanto para el nodo como los abonados, teniendo ingreso de datos parametrizables.

– **Nodo A - Abonado 1 Rumiloma**

Por medio de AirLink se obtuvo los siguientes resultados detallados en la Figura 37 con el ángulo de azimuth de 281° que permite dar una cobertura al sector de Rumiloma teniendo el ancho de haz es de 90°.



Figura 37. Ángulo de azimuth nodo A – Rumiloma con ancho de haz de 90°

Se detalla en la Figura 38 el tilt mecánico (ángulo de depresión) con un valor de $-21,23^\circ$, estimando que los abonados estén a una altura promedio de 4 m debido a las irregularidades en altura del terreno, además se asume que en algún caso se usara un mástil en la parte superior de las viviendas. Finalmente se tiene una tasa de transmisión de 305 Mbps con niveles de recepción de señal de -46 y -45 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor.

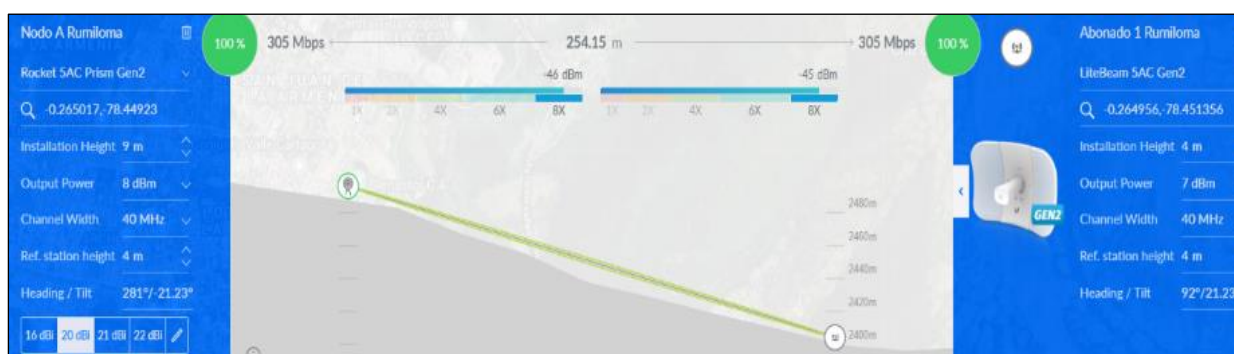


Figura 38. Software AirLink enlace Nodo A - Abonado 1 Rumiloma

– **Nodo A - Abonado 2 Rumiloma**

Por medio de AirLink se obtuvo los siguientes resultados detallados en la Figura 39 con el ángulo de azimuth de 191° que permite dar una cobertura al sector de Rumiloma teniendo el ancho de haz es de 90° .

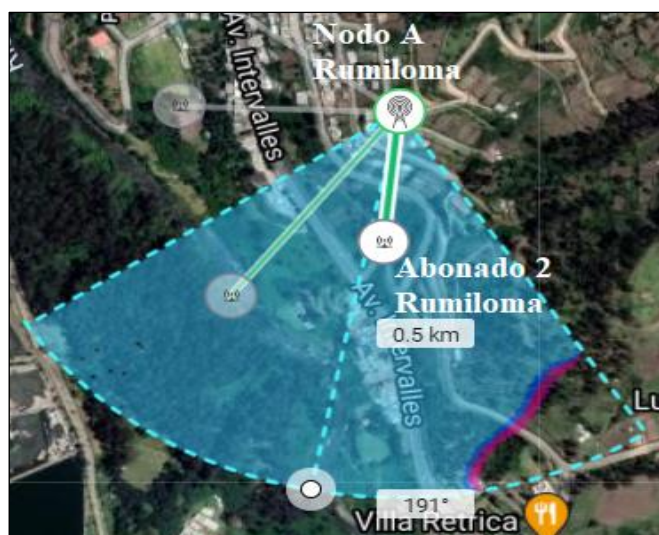


Figura 39. Ángulo de azimuth nodo A – Rumiloma con ancho de haz de 90°

Se detalla en la Figura 40 el tilt mecánico (ángulo de depresión) con un valor de $-22,87^\circ$, estimando que los abonados estén a una altura promedio de 4 m, además se asume que en algún caso se usara un mástil en la parte superior de las viviendas. Finalmente se tiene una tasa de transmisión de 305 Mbps con niveles de recepción de señal de -42 y -39 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor.

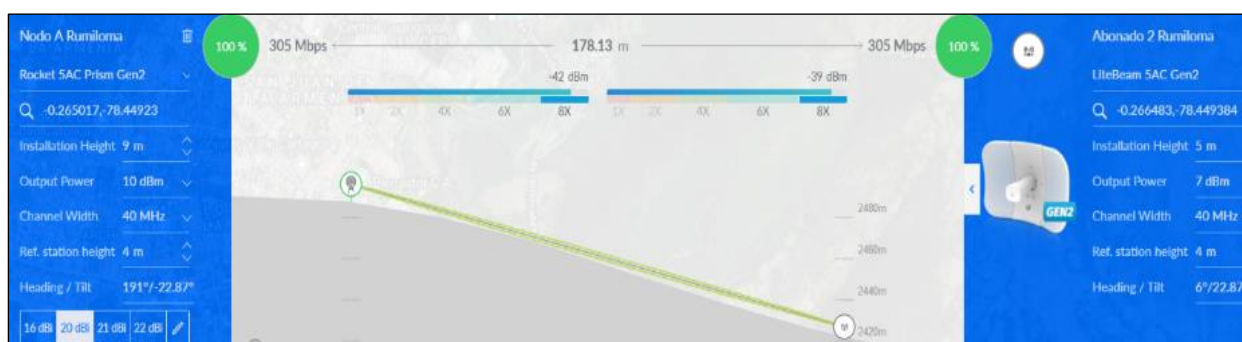


Figura 40. Software AirLink enlace Nodo A - Abonado 2 Rumiloma

– **Nodo B - Abonado la Toglla**

En base a este software online corrobora los resultados obtenidos por Radio Mobile y garantiza la confiabilidad del diseño, se tiene los siguientes resultados que garantiza la factibilidad del enlace a larga distancia para el sector de la Toglla con una óptima línea de vista a 5 GHz con el protocolo de acceso al medio de TDMA.

En la Figura 41 se obtenidos permiten obtener un ángulo de azimuth de 351° que permite dar una cobertura al sector de la Toglla teniendo en cuenta que el ancho de haz es de 90° .

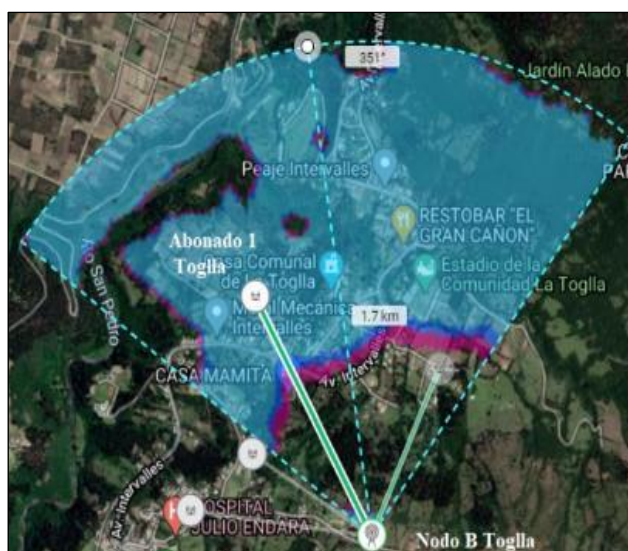


Figura 41. Ángulo de azimuth nodo B - Toglla con ancho de haz de 90°

Se detalla en la Figura 42 el tilt mecánico (ángulo de depresión) con un valor de $-12,1^\circ$ estimando que los abonados estén a una altura promedio de 5 m debido a la vegetación y la irregularidad en altura del terreno, además se asume que en algún caso se usara un mástil en la parte superior de las viviendas. El ancho de banda con que se configuro es de 40 MHz recomendado para enlaces punto multipunto.

Se tiene una tasa de transmisión de 275 - 305 Mbps con niveles de recepción de señal de -57 y -54 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor, garantizando la factibilidad de la implementación para el sector.

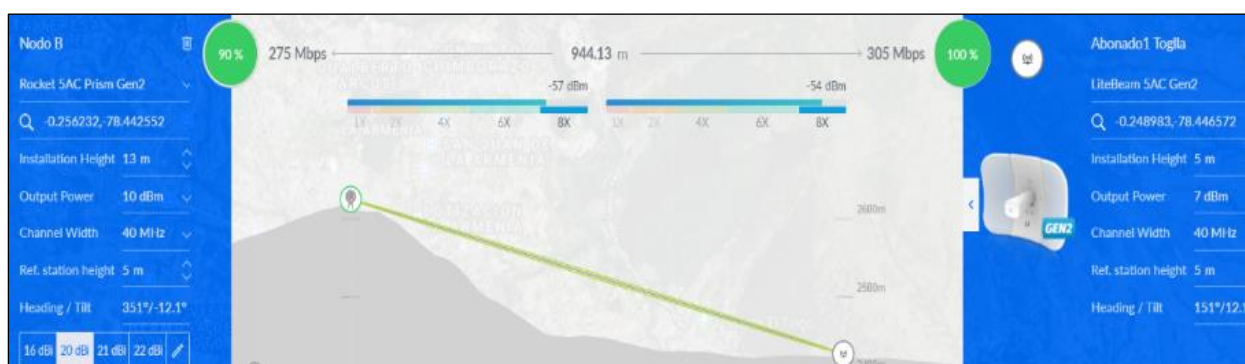


Figura 42. Software AirLink enlace Nodo B - Abonado 1 Toglla

– **Nodo B - Abonado Sorialoma**

En la Figura 43 se tiene resultados con un ángulo de azimuth de 261° que permite dar una cobertura al sector de Sorialoma teniendo en cuenta que el ancho de haz es de 90° .

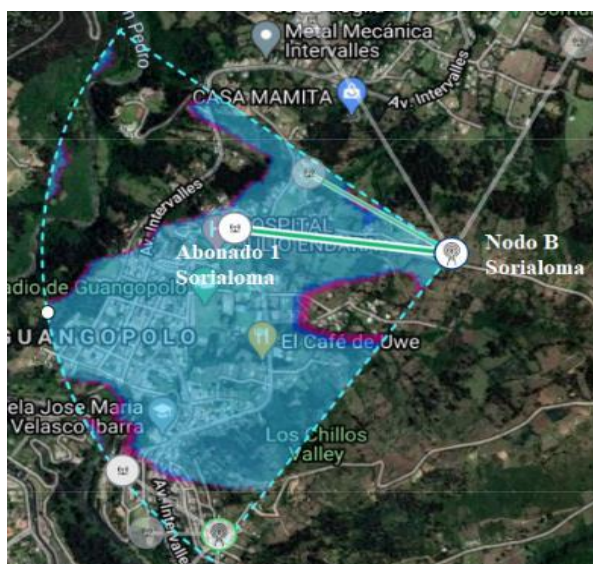


Figura 43. Ángulo de azimut nodo B - Sorialoma con ancho de haz de 90°

Se detalla en la Figura 44 el tilt mecánico (ángulo de depresión) con un valor de $-8,81^\circ$ estimando que los abonados estén a una altura promedio de 5 m debido a las irregularidades en altura del terreno, se asume que en algún caso se usara un mástil en la parte superior de las viviendas. Se tiene una tasa de transmisión de 305 Mbps con niveles de recepción de señal de -54 y -51 dBm cumpliendo así con el rango de sensibilidad en el receptor, garantizando la factibilidad de la implementación para el sector.

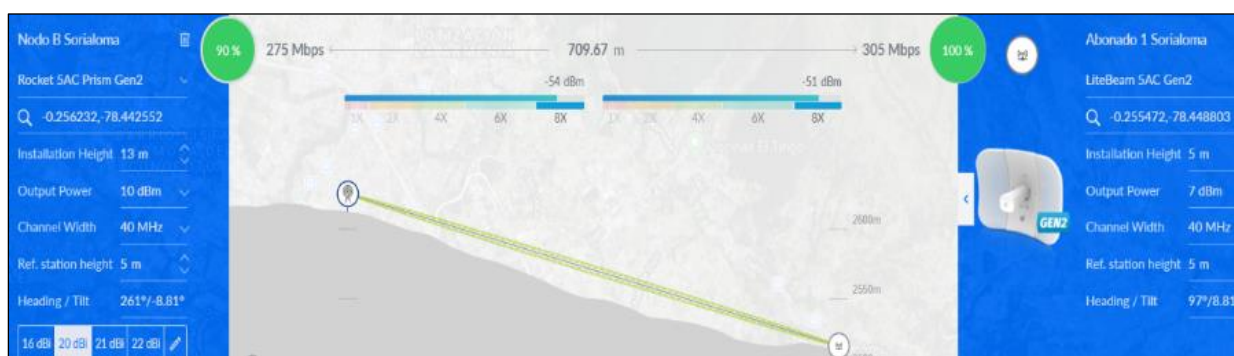


Figura 44. Software AirLink encaje Nodo B - Abonado 1 Sorialoma

4.1.4.1 Resultados obtenidos del modelamiento AirLink

Por medio del modelamiento en el software del fabricante Ubiquiti, se corrobora a un ancho de banda de 40 MHz se obtiene sensibilidades de -46 dBm por lo tanto se tiene un mayor margen para recibir señales con velocidades de +305 Mbps, cumpliendo así con el datasheet del fabricante que menciona lo siguiente a una sensibilidad -65 dBm se tiene un data rate (velocidad de conexión) 8x 256 QAM (5/6).

4.1.5 Margen de error de resultados

Por lo tanto, se obtuvo tasas error bajas, determinando así que el estudio está dentro de los parámetros correctos y es confiable la implementación en la parroquia, además se considera en la Tabla 44 que en los simuladores permite estimar valores adicionales de perdidas ya sea por vegetación, clima, por las zonas que hacen q varíen en consideración con la parte teórica.

Tabla 44. Validación de resultados obtenidos de manera teórica con las simulaciones realizadas

Parámetros Nodo B-Toglla	Cálculo Teórico	Radio Mobile	Error %
Pérdida en espacio libre Lf [dB]	106,4222747	113,4	6,153196914
Potencia de Recepción dBm	-58,022274	-64,4	9,903301242
Margen umbral MD/Rx Relative [dB]	31,977725	25,6	24,91298828
Azimet Nodo B-Toglla [°]	351	332,13	5,681510252
Ángulo de elevación Nodo B-Toglla [°]	-12,1	-11,596	4,346326319
Distancia del enlace D [Km]	0,944	0,91	3,736263736

4.1.6 Cobertura inalámbrica en la parroquia de Guangopolo

– Cobertura nodo A y B

En el Anexo 23 se observa la cobertura del nodo A y B hacia los 3 sectores la Toglla, Sorialoma, Rumiloma y parroquia central de Guangopolo, teniendo que cada antena con su respectivo Access Point trabaja a una frecuencia distinta para evitar interferencias. Adicionalmente se tiene un perímetro de cobertura total de 12.10 km² permitiendo dar cobertura a familias sin acceso a Internet y con desconformidad del servicio.

4.2 Factibilidad técnica

El siguiente estudio es de vital importancia a debido que permite tener el análisis de todos los recursos técnicos, herramientas, equipamiento activo, tecnología, aspectos legales y regulatorios de telecomunicaciones, con el objetivo de tener en claro si se puede llevar a cabo el proyecto de proveer Internet Inalámbrico para la parroquia de Guangopolo.

Al ser una zona rural y estar ubicada a las faldas del volcán Ilalo se tiene familias ubicadas en zonas alejadas de las 3 comunas haciendo que el despliegue de tecnologías para acceso al proveedor de servicio sea a un alto costo o simplemente no provean el servicio.

4.2.1 Viabilidad del sector

En la parroquia de Guangopolo es idóneo utilizar enlaces inalámbricos ya que existen sitios con excelente línea de vista en las cuales se pueden ubicar los nodos, esto es debido al estar ubicados en las faldas del cerro Ilalo. Las edificaciones del sector no son muy elevadas, por ende, no genera alguna obstrucción que impida que la señal emitida por el Proveedor de servicio de Internet inalámbrico llegue hacia los abonados.

4.2.1.1 Ubicación del cuarto de telecomunicaciones y los nodos principales

Para la selección de cada nodo se tomó en cuenta que posean servicios básicos, una óptima línea de vista e infraestructura civil o tecnológica (torres), en base a esto permita garantizar la implementación.

- **Cuarto de telecomunicaciones:** El espacio físico cumple con las siguientes características:
 - La infraestructura física cumple las funciones para un cuarto de telecomunicaciones por su ubicación y sus prestaciones permitiendo ubicar racks para los equipos activos (router, switch, servidores).
 - Altura mínima del piso al techo de 2,6 m
 - La vivienda es de dos pisos y sobre ella existen dos habitaciones donde su ubicara el equipamiento
 - Sobre ella se desplegará un mástil para la ubicación de las antenas para los enlaces back up hacia los nodos A y B.
 - Posee una excelente línea de vista por su altura hacia los nodos A y B
 - La Vivienda es propiedad personal.
 - Posee servicios básicos
- **Nodo A comuna Rumiloma:** El lugar escogido como Nodo A cuenta con las siguientes características que permite dar cobertura a los sectores alejados por su excelente ubicación.
 - La infraestructura física es adaptable para que se ubique el nodo A, por su excelente línea de vista para realizar el enlace punto multipunto hacia los abonados del sector de la comuna Rumiloma.

- La vivienda es de 2 pisos y sobre ella se ubicará la antena arriostrada para la ubicación de las antenas
- Posee una excelente línea de vista por su altura hacia el cuarto de telecomunicaciones y las zonas más alejadas de Rumiloma
- Posee servicios básicos

- **Nodo B comuna Sorialoma:** El lugar escogido como Nodo B cuenta con las siguientes características que permite dar cobertura a los sectores alejados.
- La infraestructura física es adaptable para que se ubique el nodo B, por su excelente línea de vista para realizar el enlace punto multipunto hacia los abonados del sector de la comuna Sorialoma.
- La vivienda es de 1 pisos y sobre ella se ubicará la antena arriostrada para la ubicación de las antenas
- Excelente línea de vista para las comunas Toglla, Sorialoma y sector de Guangopolo
- Posee servicios básicos.

4.2.2 Adquisición de equipamiento

Para la adquisición de equipamiento en el país hay varias empresas que distribuyen las marcas utilizadas en el diseño del proveedor de servicio de Internet. En la Tabla 45 se detallan 3 empresas de distribución de equipamiento de las marcas MikroTik, Ubiquiti, Tp-Link lo que facilita la adquisición y evita así el un costo extra por importaciones o algún retardado en la llegada del equipo.

Tabla 45. Empresas proveedoras de equipos en el País

Empresas	Ciudad	Marcas representadas
Aire.ec Andiwireless Cia.Ltda.	Quito	MikroTik-Ubiquiti-Cisco-CambiumNetworks
Hentel Yánez Avalos Cia. Ltda.	Quito-Guayaquil-Cuenca	TP-Link- F.O-Cable cobre
C Mayoristas	Quito-Guayaquil	MikroTik-Ubiquiti

4.2.3 Software de gestión (facturación)

Uno de los temas importantes para un funcionamiento correcto del WISP es tener un sistema de administración de los clientes sea bien de manera remota, flexible y con un

crecimiento idóneo. Permite administrar a los clientes con un sistema de generación de facturas automáticas, corte y avisos, inventarios, control de ancho de banda, por lo tanto, es recomendable poseer un software disponible en el mercado entre los más comunes se encuentran los siguientes.

- Wispro capacidad de integración con MikroTik
- SequireISP 3.0.

4.2.4 Salida internacional

La empresa que permita la salida internacional desde el cuarto de telecomunicaciones es una empresa portadora del País con la modalidad arrendamiento del servicio permitiendo la conexión a través de fibra óptica a sus redes modernas de alta velocidad para la concesión tanto al NAP del Ecuador como al NAP internacionales para la concesión a los proveedores TIR 1. La velocidad por contratar a la empresa proveedora del servicio es de 750 Mbps las mismas serán divididas en función del número de clientes que se conecten al WISP.

4.2.5 Robustez de la red

Para el diseño se determinó equipamiento óptimo que proporcione tener un excelente performance para dar el servicio de Internet, detallando así cada una de las partes principales en la infraestructura del WISP.

4.2.5.1 Red jerárquica del ISP

Para los dispositivos que se encarguen del todo el transporte de tráfico interno y externo del WIP se consideró la utilización de equipos MikroTik debido a ser una de las mejores opciones en el mercado tanto por su calidad y su parte económica. La selección del equipamiento de red tanto núcleo, distribución y acceso se tomaron especificaciones de equipos de alta capacidad de transmisión con interfaces Gigabit Ethernet y puertos SFP + con la facilidad de ser cambiables 1 G ,10 G o más dependiendo de lo que se necesite

Se siguió el modelo jerárquico de 3 niveles o capas debido a que cada una cumple un rol específico facilitando a la hora del diseño, implementación, escalamiento de la red. La red está constituida con equipos del fabricante MikroTik, por esta razón en cada capa hay un

equipo en específico, núcleo cuenta con un router para la conexión de alta velocidad con el ISP, la capacidad de realizar enlaces redundantes al contar con varias interfaces libres

– **Equipo Núcleo**

El equipo MikroTik de la serie *CCR2004-1G-12S+2XS* de núcleo de la red tiene alta velocidad para garantizar la transferencia a altas velocidad con puertos SFP +, idóneo para lugares de múltiples conexiones. Uno de los parámetros diferenciadores del equipo es la capacidad de reenvío de paquetes, esta proporciona un rendimiento 3,4 Gbit/s es la capacidad del router para el reenvío de datos por segundo, el equipo cuenta con un disipador de calor con la funcionalidad de un enfriamiento cuando el equipo está funcionando

El equipo cuenta con dos fuentes de alimentación en el caso de que uno de ellos pierda energía el servicio de Internet caería, por ende, una falla la otra entraría en funcionamiento instantáneamente. Finalmente cuenta con un módulo para implementación de reglas de filtrado (firewall).

– **Equipo Distribución**

El conmutador capa 3 MikroTik de la serie *CRS328-4C-20S-4S+RM* tiene 4 puertos ya sean SFP o ethernet y las 20 ranuras SFP y 4 SFP + que permitirá comunicar al equipo de acceso a velocidades altas. Adicionalmente posee la funcionalidad de soportar IEEE 802.1Q para tener hasta 4000 vlan la mismas que serán usadas para segmentar a los usuarios, configurar seguridad. Adicionalmente tiene dos fuentes de alimentación y pose rendimientos de 64 Gb/s y velocidad de transferencia 95,2 Mp/s (mega paquetes/segundo)

– **Equipo Acceso**

El equipo de capa 2 MikroTik de la serie *CSS610-8G-2S + IN* tiene 8 puertos ethernet y 2 puertos SFP o SFP+ con rendimientos de 28 Gbps sin bloqueo, tasa de transferencia de 41,7 Mpps (mega paquetes/segundo) y características de configuración de vlan, aplicación de restricción de ancho de banda, filtrado MAC.

4.2.5.2 Red de distribución (enlaces inalámbricos)

La factibilidad técnica viene apalancado al previo análisis que se hizo para la selección del equipamiento de la red inalámbrica obteniendo que se utilizara el estándar IEEE 802.11 AC para los enlaces punto multipunto a 5 GHz, además se determinó la selección por medio del

cuadrante mágico de gartner juntamente con la comparación con otro fabricante la utilización de este equipamiento.

Se verifico las condiciones ambientales y físicas de la parroquia de Guangopolo determinando que no era un sitio desfavorable y es ejecutable los enlaces de radio siempre enfocado en tener al menos el 60% de la primera zona de Fresnel despejada y se escogieron 4 antenas sectoriales de 120° se ubicó en cada nodo dos antenas para la cobertura del sector.

- Tecnología Airmax en los equipos, permitiendo tener AirView que ayuda en el análisis del espectro en tiempo real para la identificación de zonas de ruido, además utiliza TDMA para permitir a cada cliente recibir y enviar información en rangos de tiempo para eliminar colisiones. Finalmente Tiene característica de altas velocidades con modulación densa 256 QAM.(Ubiquiti Networks, 2017)
- Los equipos escogidos permiten tener enlaces de alta velocidad a enlaces de + 5 km permitiendo dar cobertura si es necesario a sectores cercanos a la parroquia.
- Velocidades de transmisiones desde el nodo A y B hacia los abonados 305 Mbps
- Seguridad WAP 2 con protocolo AES *Advanced Encryption Standard estándar*.

4.2.6 Topología diseñada del WISP

En la Figura 45 se observa el diseño del WISP de la parroquia de Guangopolo, misma que es una integración de tecnologías alámbricas e inalámbricas, a continuación, se detalla de manera general consta de la conexión de la topología

- Para el acceso a Internet del WISP de la parroquia de Guangopolo se conecta a la red troncal (backbone) por un enlace de fibra óptica por parte de una empresa portadora, esta conexión es por medio de un enlace que llegara hacia el Cuarto de telecomunicaciones.
- El WISP utiliza un router de borde mismo que será el equipo principal de toda la red jerárquica con 12 puertos ópticos y puertos ethernet. La red posee una red mixta tanto con fibra óptica monomodo (equipo núcleo, distribución y acceso) y para los enlaces inalámbricos se opera en la banda de 5 GHz hacia los abonados
- La fibra óptica es desplegada en todos los equipos de la red jerárquica (router y switch) posterior para llegar al nodo A y B se desplegar fibra monomodo ADSS con alrededor de 3 km de longitud para llegar tanto a la comuna Sorialoma (Nodo B), como la comuna Rumiloma (Nodo A) para luego por medio de enlaces inalámbricos distribuir hacia los CPE.

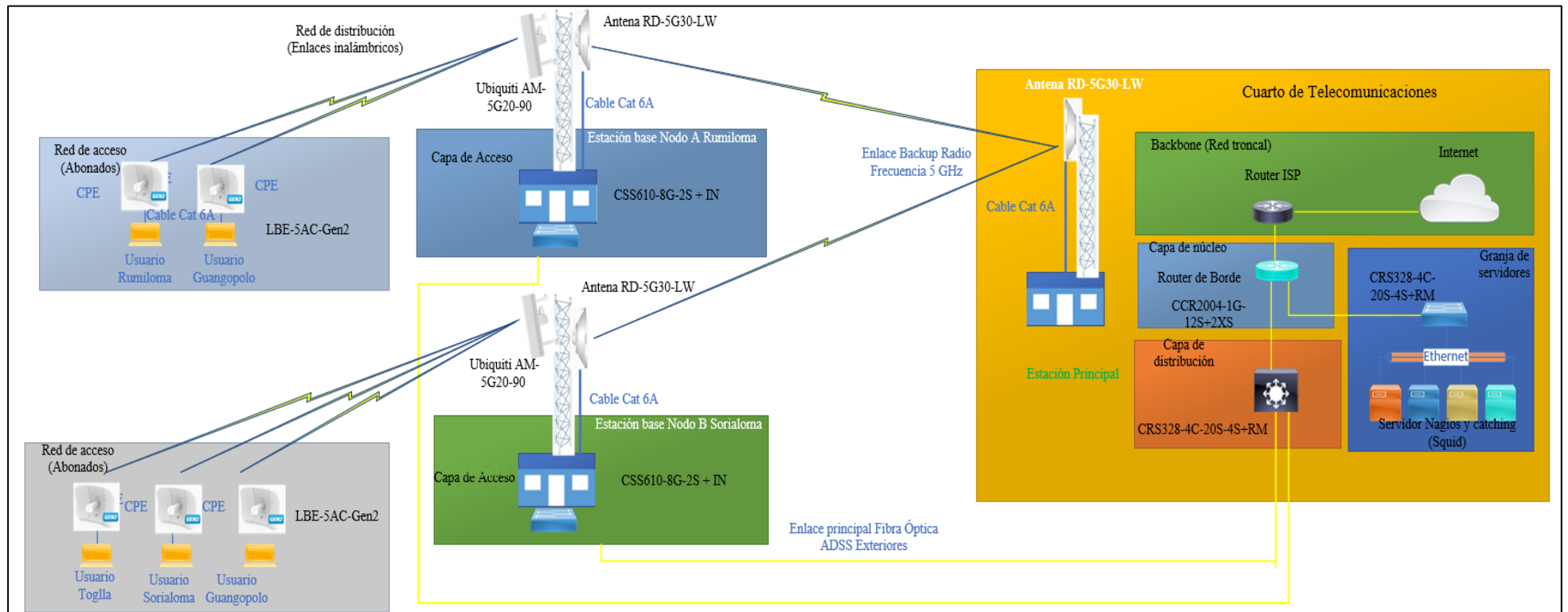


Figura 45. Topología de la red diseñada del WISP para la parroquia de Guangopolo

4.2.7 Aspectos regulatorios para los ISP

Ecuador cuenta con organismos gubernamentales de control y regulación en las Telecomunicaciones teniendo tanto a MINTEL y ARCOTEL como entidades estatales que cumplen funciones principales las mismas se detallaran a continuación.

- MINTEL: Órgano rector para el desarrollo TIC en el país incluyendo temas de telecomunicaciones como la parte del espectro radioeléctrico.
- ARCOTEL: Organismo gubernamental enfocado en lineamientos de la parte regulatoria y aplicación de principios en función de ordenamiento vigentes

El presente proyecto ira enmarcado en base a las leyes y reglamentos emitidos en el Ecuador para permitir prestar el servicio de Internet a los abonados en la parroquia de Guangopolo, alienados a la “*Ley orgánica de Telecomunicaciones del Ecuador con registro oficial No. 439 el 18 de febrero de 2015*”. (Asamblea Nacional Republica del Ecuador, 2015)

– **Título habilitante**

Todo servicio de telecomunicaciones necesita un “*Documento jurídico que faculte la prestación de un servicio el en régimen de Telecomunicaciones*”, de igual manera se necesita para el uso del espectro radioeléctrico, este documento se necesita que se emitido por parte de ARCOTEL. Se necesita el título habilitante que se detalla tanto el tipo de servicio, las frecuencias, planes técnicos y obligaciones que deben cumplir la empresa que se va a cumplir la función del WISP en la parroquia. (Asamblea Nacional Republica del Ecuador, 2015)

– **Título habilitante para prestar el servicio de valor agregado de Internet**

Para la operación como un ISP en Ecuador se necesita un título habilitante que faculte esta operación de prestar el servicio de valor agrado con la característica de duración de 10 años misma será asignada a una persona natural o empresa privada, al tener el título habilitante para la operación como ISP, este no incluye los permisos necesarios para el despliegue de última milla, por ende la empresa no puede llegar hacia el usuario final ya sea de manera cableada o inalámbrica debido a que este es uso exclusivo para empresas portadoras.

Una de las formas seria tener una empresa con concesión de servicios portadores de telecomunicaciones, pero al tener esta modalidad es un valor muy costoso por su necesidad de inversión para la implementación de la red troncal y la interconexión de las portadoras, la otra opción es trabajar con una empresa que tiene la concesión de portadora para realizar la

reventa de servicios, la empresa portadora respalda al ISP para que este despliegue su última milla.

Por lo tanto, al tener la reventa de servicios para la red inalámbrica del ISP sea legal, se debe firmar un acuerdo comercial con una empresa portadora, por ende, esta se encargará del trámite para el registro de los enlaces.

– **Reventa de servicio**

Para el presente estudio se basará en la reventa de servicio, “*artículo 25 Derechos de los prestadores de servicios de telecomunicaciones*”, permite que un tercero ofrezca el servicio de telecomunicación, la actividad de reventa la responsabilidad es del prestado de servicio.(Asamblea Nacional Republica del Ecuador, 2015)

– **Frecuencia de operación**

La frecuencia utilizada para los enlaces multipunto es en la banda de 5 GHz, misma que en Ecuador es considerada como libre, es decir no necesita un contrato de concesión para su utilización, pero es necesario realizar un proceso de registro en ARCOTEL, hay que tener en cuenta que no está permitido que un ISP registre frecuencias ICM debido a que el título habilitante no permite esta posibilidad y se infringiría la ley, para este caso la empresa portadora es la que se encarga de la solicitud para el registro de la frecuencia.

– **Costo de funcionamiento**

Para la implementación y operación de las frecuencias para los enlaces punto multipunto a 5 GHz en la parroquia de Guangopolo, ARCOTEL establece una tarifa de costo de permiso de funcionamiento mismo que se calcula por medio de la siguiente Ecuación 25. Perteneciente a la tarifa A del reglamento actual de tarifas.

$$TA \text{ (USD)} = ka * \alpha 4 * \beta 4 * A * (D)^2 \quad (25)$$

Dónde se definen lo siguiente parámetros:

- TA (USD) = “*Tarifa anual en dólares*”.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)
- Ka = “*Factor de ajuste por inflación*”.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)

- α_4 = “*Coficiente de valoración del espectro*”.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)
- β_4 = Coeficiente de corrección para la tarifa por estación de base o estación central fija.
- A = “*Anchura de banda de la frecuencia asignadas*”.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)
- D = Distancia en kilómetros entre el nodo principal y sus abonados.(Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)

Para obtener el valor por el costo de funcionamiento en la red WISP de la parroquia se estimó lo siguiente valores $K_a=1$; $\alpha_4 = 0,0185687$; $\beta_4 = 1$; $A = 40$; $D = 5$ obteniendo el valor de $TA(USD) = 18,05687$ mensualmente que se debe cancelar. El valor corresponde al costo de operación para cada una de las estaciones base en la parroquia. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)

4.2.8 Resultados de la factibilidad técnica

Se concluye que no existe ningún impedimento alguno para la implementación del proyecto ni el parte técnica ni legal lo cual nos asegura la realización del proyecto

– Resultado técnico

El WISP poseerá las siguientes características técnicas que permite garantizar un servicio óptimo a la parroquia.

- La conexión punto multipunto será por medio de radio enlaces por medio de antenas y equipo CPE del fabricante Ubiquiti.
- El acceso a Internet para el WISP de la parroquia se lo realizara por medio de una empresa portadora previo análisis por medio de una conexión de fibra óptica.
- Ancho de banda: 40 MHz doble de capacidad que las versiones anteriores de IEEE 802.11.
- Transferencia de datos o throughput. Permite transferencias de + 500 Mbps punto a punto y +305 Mbps multipunto
- Flujos: permite el uso de múltiples antenas con el sistema MIMO
- Alcance de cobertura de exteriores de 30 m hasta + 5 km
- Banda de frecuencia utilizada es de 5 GHz que un mejor rendimiento

- Antenas sectoriales Mimo 2 X 2 de ancho de haz de 90°
- Switch y router de gama media del fabricante MikroTik

- **Parte legal**
- Finalmente, al haber ya realizado un estudio de la parte legal para el despliegue del ISP en la parroquia de Guangopolo se determina optar por el amparo de última milla o reventa de servicio obtenido los siguientes beneficios.
- Opera en frecuencia de 5 GHz.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL WISP (PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO) EN GUANGOPOLO

5.1 Análisis de costos

Una vez finalizado el diseño de proveedor de servicio de internet, es necesario realizar el estudio económico del proyecto, tomando en cuenta la materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación de tal manera que la inversión genere beneficios económicos. Un punto importante para considerar en un corto, mediano y largo plazo son los factores macroeconómicos que pueden generar riesgos o altercados en el proyecto.

5.1.1 Tendencia de demanda en la parroquia de Guangopolo

De acuerdo con el estudio de tendencia de demanda en la parroquia estudiada, se obtuvo que el porcentaje de crecimiento de cuentas de internet fijo en la provincia de Pichincha fue de 5,42%, (Capítulo 3), el valor se utilizará para calcular el número de cuentas que tendrá el WISP en la parroquia de Guangopolo hasta la proyección del año 2025. Para realizar la proyección de demanda se tomó como base el año cero (2020) la cantidad de 105 abonados este valor se obtuvo de las familias insatisfechas y sin acceso a Internet lo cual representa un 12% de un total de 872 familias en la parroquia.

Para continuar con el proceso del crecimiento de demanda se consideró realizar el método de regresión lineal simple o también conocido como método codificado para n (periodos) impar; el método consiste en ubicar los años de manera cronológica, la misma que será a partir del año 2014 hasta el 2020, al ser una regresión lineal impar se debe iniciar los valores de X con números negativos desde el año 2014 al 2016, tomando 0 el año 2017 y a partir del año 2018 al 2020 se colocan valores positivos con el propósito de que su sumatoria total de como resultado 0 (cero) para realizar la tabla número 46.

En la Tabla 46 se aplica la regresión lineal para obtener los datos de la demanda de cuentas de Internet fijo para los 5 años siguientes (2021-2025) en la parroquia de Guangopolo. En base a esto permite obtener una ecuación que se ajuste a la recta de tendencia.

En base a este proceso se obtiene los términos de la ecuación características $Y = AX + B$ que describe el comportamiento de la tendencia en la parroquia de Guangopolo, cada parámetro A y B de la regresión línea se detalla en el Anexo 24.

Tabla 46. Regresión lineal simple cantidad de cuentas de Internet parroquia de Guangopolo

Año	X	Y	XY	X ²
2014	-3	75	-225	9
2015	-2	79	-159	4
2016	-1	84	-84	1
2017	0	89	0	0
2018	1	94	94	1
2019	2	99	199	4
2020	3	105	315	9
Total	0	626	139	28

$Y = 4,97 X + 89,39$	(26)
----------------------	------

Finalmente se aplica la Ecuación 26 para estimar el crecimiento de las cuentas de Internet fijo para los 5 años siguientes (2021-2025), teniendo la proyección en detalle en la Tabla 47.

Tabla 47. Proyección de las cuentas de internet fijo en la parroquia de Guangopolo años 2021

Ecuación de la tendencia lineal	Abonados
$y(2021) = 89,39 + 4,97(4)$	109
$y(2022) = 89,39 + 4,97(5)$	114
$y(2023) = 89,39 + 4,97(6)$	119
$y(2024) = 89,39 + 4,97(7)$	124
$y(2025) = 89,39 + 4,97(8)$	129

5.1.2 Proyección de ingresos

– Valor mensual del servicio de internet

En el Anexo 25-26 se detalla el costo del servicio al público general teniendo dos tipos de planes de servicios de Internet con distintos valores ya incluidos el IVA (12%).

Plan básico 10 Mbps: \$17,50

Plan premium 15 Mbps: \$ 22,50

– Valor de instalación

Se determinó que el valor de la instalación por única vez es de \$ 50 con una suscripción de un plazo de 24 meses ajustándonos a las condiciones de los proveedores en el Ecuador y

garantizando la recuperación de la inversión. En la Tabla 48 se detalla los ingresos por la proporción del servicio de Internet de la tarifa home, premium e instalación, estimando un análisis económico a 5 años.

Tabla 48. Valor de ingresos anuales

Año	Valor total de ingresos por periodo
2021	\$33.245,00
2022	\$29.320,00
2023	\$30.595,00
2024	\$31.870,00
2025	\$33.145,00

5.1.3 Costo de operación

– Personal capacitado

En el Anexo 27 se detalla el personal para manejar el proyecto del WISP en la parroquia de Guangopolo, la misma que está compuesta por tres personas, dos de ellos con conocimientos en la parte de telecomunicaciones que lleven a cabo un control del WISP y una persona en la parte administrativa.

El modelo para trabajar es una “*organización no gubernamental*” (ONG), sin fines de lucro (EACNUR, 2018) con profesionales que aporten sus conocimientos y estén dispuestos apoyar a la organización en rangos de tiempo para ayudar a disminuir la brecha digital en el País. Adicionalmente la remuneración para las personas que son parte de la organización será variable y dependerá de los planes que se generen en cada periodo por ende al inicio la remuneración será inferior al salario básico unificado.

– Materia prima

En el Anexo 28 se detalla la materia prima que se necesita para el funcionamiento correcto describiendo tanto al portador de servicio de Internet y el equipamiento de cada abonado que varía en función del crecimiento de los clientes.

– Empresa portadora de servicio de Internet

En base al estudio se estimó un presupuesto económico que permite contratar una empresa portadora de internet, misma que permite la conexión al NAP del Ecuador e Internacional, en el Anexo 29 se estima un valor asignado para este rubro. Adicionalmente en la Tabla 49 se detalla los costos de operación del WISP de la parroquia de Guangopolo, detallando la materia prima que se utilizara cada año y su respectivo costo de mano de obra.

Tabla 49. Valor económico del costo de operación para el WISP

Costos de operación				
Año	Materia prima	Mano de obra	Bonos de ventas	Costo total de operación
2021	\$24.270,82	\$5.160,00	-	\$29.430,82
2022	\$17.082,82	\$5.160,00	-	\$22.242,82
2023	\$17.382,82	\$5.160,00	-	\$22.542,82
2024	\$17.682,82	\$5.160,00	-	\$22.842,82
2025	\$18.472,82	\$5.160,00	-	\$23.632,82

5.1.4 Depreciación

La depreciación de los equipos será con el método de línea recta, puesto que se considera el valor adquisitivo del equipo y el tiempo de depreciación de este. El estudio tiene un enfoque de un análisis de la depreciación del equipamiento tecnológico desplegado para el funcionamiento de WISP. Para lo cual la depreciación se tomó en cuenta los siguientes equipos.

- Equipos de red jerárquica
- Red de distribución equipamiento de comunicación inalámbrica
- Equipos de respaldo eléctrico
- Equipos de computación, muebles y enseres

Se tiene un 20% de porcentaje de depreciación para la parte tecnológica estimando una vida útil de 5 años. Adicionalmente para muebles y enseres se tiene el 10% depreciación con una vida útil de 10 años. Además, se detalla en la Tabla 50 la depreciación que posee el equipamiento en los 5 años que se estima el proyecto.

Tabla 50. Depreciación anual

Descripción	Valor de depreciación
Depreciación total 2021	\$2.396,60
Depreciación total 2022	\$2.468,60
Depreciación total 2023	\$2.540,60
Depreciación total 2024	\$2.612,60
Depreciación total 2025	\$2.684,60

5.1.5 Inversión

Se realizó un estudio de inversión inicial que permite proyectar su funcionamiento en un rango de 5 años para lo cual se estimó los siguientes ítems de equipamiento.

- **Inversión para equipos de red jerárquica**

En el Anexo 30 se muestra la lista de equipos para la red jerárquica (núcleo, distribución y acceso) que se necesita para la implementación del WISP en la parroquia de Guangopolo, se estimó los valores por medio del fabricante MikroTik en su página oficial.

– **Equipos de respaldo eléctrico**

En cada estación base se ubica una UPS (*Uninterruptable Power Supply*) mismo que permite almacenar energía y durante una falta de electricidad proporciona energía hacia los dispositivos de la red, el valor estimado fue tomado de manera digital por tiendas de venta online del país, en el Anexo 31 se encuentra el detalle.

– **Equipo distribución de comunicación inalámbrico**

El equipamiento tanto los Access Point como las antenas sectoriales del fabricante Ubiquiti se estimó el valor por medio de la página oficial del fabricante Aire.Ec mismo que se encarga de distribución de equipamiento en el País, el detalle está en el Anexo 32.

– **Título habilitante**

Para tener un permiso en el ámbito de las telecomunicaciones y para proporcionar el servicio de Internet en la parroquia de Guangopolo se requiere tener un título habilitante de servicios de valor agregado de Internet, con duración de 10 años para personas naturales o empresas privadas.

– **Equipamiento Pasivo**

En el Anexo 33 se detalla cada equipo pasivo que se necesita para el funcionamiento correcto del WISP mismo que es una inversión única.

– **Equipamiento y despliegue de F.O**

El despliegue del medio óptico se estimó en base a un previo estudio de la distancia hacia cada nodo con su respectivo costo de la fibra óptica con un valor de \$ 0,65 el metro de fibra óptica estimando que se adquiere una bobina de 4 km, el costo de instalación el metro se estima de \$0,40 el metro.

Tabla 51. Valor económico de la fibra óptica con su respectivo tendido
Equipamiento y despliegue de fibra óptica

Cobertura		Distancia	Costo FO 6 H	Costo Tendido
Nodo Principal	Nodo B	1799	\$1.169,35	\$719,60
Nodo Principal	Nodo A	1124	\$730,60	\$449,60
Total		2923	\$ 1.461,50	\$1.899,95

En la Tabla 52 se detalla el valor total para el despliegue de fibra óptica para comunicar el cuarto de telecomunicaciones con los nodos A y B, además en el despliegue de la fibra óptica se estimó los herrajes con un costo de referencia \$ 5,00 que serán ubicados en los postes de energía eléctrica, además se consideró el valor de fusiones de fibra óptica que tiene un valor referencial de \$3,00.

Tabla 52. Valor del despliegue de la fibra óptica tomando en cuenta el equipamiento.

Equipamiento y despliegue de fibra óptica						
Cobertura	Herraje Etiquetas	Costo Herraje Etiquetas	ODF	Fusiones ODF	Costos Fusiones ODF	Costo total Ruta
Nodo Principal	32	\$160,00	2	16	\$48,00	\$1.921,15
Nodo Principal	20	\$100,00	2	16	\$48,00	\$1.227,40
Total	52	\$260,00	4	32	\$96,00	\$3.425,15

Previo análisis del equipamiento a utilizar en el despliegue del WISP en la parroquia de Guangopolo, se obtiene los siguientes costos, teniendo en cuenta que se logra cubrir en su totalidad a los abonados de las 3 comunas y el sector central de la parroquia. Adicionalmente para obtener los costos referenciales se obtuvo de empresas que proveen el equipamiento en el país o en si del propio fabricante obteniendo un total de inversión de \$ 9.077,15.

Se detalla en la Tabla 53 una lista de equipamiento activo y pasivo tanto en la red jerárquica del ISP como los enlaces inalámbricos, obteniendo el siguiente valor USD.

Tabla 53. Valor de la inversión para el proveedor de servicio de Internet inalámbrico
Valor total de Inversión

Descripción	Total
Equipos de red jerárquica	\$ 1.170,00
Equipos de respaldo eléctrico	\$ 720,00
Red de distribución equipamiento de comunicación inalámbrico	\$ 1.600,00
Título habilitante	\$ 500,00
Equipamiento Pasivo	\$ 1.662,00
Equipamiento y despliegue de fibra óptica	\$ 3.425,15
Total	\$ 9.077,15

5.1.6 Flujo de caja

Se realiza el flujo de caja para tener los ingresos y egresos de dinero en los periodos de 5 años y en la ejecución del proyecto del WISP en la parroquia de Guangopolo. En la Tabla 54 se observa que el flujo de efectivo es positivo lo que indica que los ingresos son mayores que los egresos y los activos aumentan en la empresa permitiendo pagar compromisos, es decir se puede volver a invertir, pagar gastos que se tiene tales como el CIF y a su vez cubrir costos de operación, entre otros rubros.

Tabla 54. Flujo de caja del WISP en el periodo 2021-2025

Flujo de caja						
Años	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 33.245,00	\$ 29.320,00	\$ 30.595,00	\$ 31.870,00	\$ 33.145,00
(-) Costo de operación		\$ 29.430,82	\$ 22.242,82	\$ 22.542,82	\$ 22.842,82	\$ 23.632,82
(-) Depreciación		\$ 2.396,60	\$ 2.468,60	\$ 2.540,60	\$ 2.612,60	\$ 2.684,60
(-) Amortización		-	-	-	-	-
(=) Utilidad antes de impuestos y participación		\$ 1.417,58	\$ 4.608,58	\$ 5.511,58	\$ 6.414,58	\$ 6.827,58
(-)15% De participación a trabajadores		-	-	-	-	-
(=) Utilidad antes del impuesto		\$ 1.417,58	\$ 4.608,58	\$ 5.511,58	\$ 6.414,58	\$ 6.827,58
(=) 24% Impuesto a la renta		-	-	-	-	-
(=) Utilidad neta		\$ 1.417,58	\$ 4.608,58	\$ 5.511,58	\$ 6.414,58	\$ 6.827,58
(+) Donaciones		\$ 400,00	\$ 400,00	\$ 400,00	\$ 400,00	\$ 400,00
(+) Valor de los activos vendidos		-	-	-	-	-
(+) Depreciación		\$ 2.396,60	\$ 2.468,60	\$ 2.540,60	\$ 2.612,60	\$ 2.684,60
(+) Amortización		-	-	-	-	-
(-) Inversión	\$ 9.077,15					
(-) Capital de trabajo		\$ 2.000,00				
(+) Recuperación capital de trabajo						\$ 2.000,00
(=) Flujo efectivo	\$ 9.077,15	\$ 2.214,18	\$ 7.477,18	\$ 8.452,18	\$ 9.427,18	\$ 11.912,18

Como se observa en la tabla 54 no existe el pago de impuesto a la renta (24%) y la utilidad a los trabajadores (15%) puesto que es una organización no gubernamental, por ende, no paga este tipo de impuestos.

En el flujo de caja se estima un capital de trabajo de inicio de \$ 2.000,00 monto que responde a gastos que se tendrán ya sean planificados o no planificados o gastos indirectos de producción (CIF); hasta el momento de generar ingresos por la venta del servicio de Internet,

evitando caer en un desfase de efectivo. Se estima que la recuperación del capital de trabajo invertido será en el año quinto.

5.2 Cálculo del VAN, TIR y PRI

5.2.1 Tasa mínima aceptable (TMAR)

Este porcentaje permite determina la referencia para ver si el proyecto puedo generar ganancias o no.

$\text{TMAR} = \text{Tasa de inflación} + \text{Riesgo de inversión} \quad (27)$
--

- Tasa de inflación en Ecuador = 1,05 % dato tomando para Ecuador año 2021.(Statista, 2020)
- Riesgo de la inversión Ecuador = Son 1062 puntos lo cual se dividió para 100 para obtener un valor porcentual consiguiendo el valor de 10,62 %, información tomada el viernes 1 de enero 2021 según Banco Central del Ecuador. Este dato representa de manera porcentual la cantidad que obtendrá una persona al invertir en un proyecto.

$$\text{TMAR} = 1,05 \% + 10,62 \%$$

$$\text{TMAR} = 10,6305 \%$$

5.2.2 Valor actual neto (VAN)

Se realiza un previo estudio con el objetivo de conocer futuros ingresos reales, tomando en consideración los egresos y restando de la inversión inicial, para conocer los beneficios reales garantizando así la viabilidad del proyecto. (Conexionesan, 2017). A continuación, se obtiene el VAN en base a la Ecuación 6 detalla en el capítulo 1.

$$\text{VAN} = -9.077,15 + \frac{\$2.214,18}{(1+10,6305)} + \frac{\$7.477,18}{(1+10,6305)^2} + \frac{\$8.452,18}{(1+10,6305)^3} + \frac{\$9.427,18}{(1+10,6305)^4} + \frac{\$11.912,18}{(1+10,6305)^5}$$

$$\text{VAN} = 18.757,30$$

En base a este resultado se tiene que el $\text{VAN} > 0$ por lo tanto el proyecto es viable.

5.2.3 Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR es un evaluador que está vinculado con el VAN valor actual neto, busca encontrar la rentabilidad que ofrece la inversión del proveedor de internet inalámbrico obteniendo un porcentaje que mide la viabilidad del proyecto. Para lo cual se utiliza la Ecuación 7 detallada en el capítulo 1 con su respectiva terminología.

$$TIR = \left[\sqrt[5]{\frac{18.757,30}{9077,15}} + 1 (1 + 0,106305) \right] - 1$$

TIR = 0,3842 equivale al 38,42%

En base al resultado se determina que el TIR > TMAR por lo tanto es rentable realizar el proyecto, teniendo que el dinero que se invierte tendrá un 38,42 % de rentabilidad cada año.

5.2.4 Periodo de recuperación de la inversión PRI

En base al PRI se obtuvo el tiempo necesario para que los ingresos compense la inversión inicial, se utiliza la Ecuación 8 detallada en el capítulo 1 con su respectiva terminología.

Tabla 55. Flujo efectivo del proyecto e inversión

Concepto	Valores	Flujo de caja acumulado
Inversión	\$ 9.077,15	
Flujo de caja año 1	\$ 2.214,18	\$ 2.214,18
Flujo de caja año 2	\$ 7.477,18	\$ 9.691,35
Flujo de caja año 3	\$ 8.452,18	\$ 17.168,53
Flujo de caja año 4	\$ 9.427,18	\$ 25.620,70
Flujo de caja año 5	\$ 11.912,18	\$ 35.047,88

$$PRI = 1 + \frac{\$9.077,15 - \$2.214,18}{\$9.691,35}$$

PRI= 1 año 8 meses

Con esto se determinó el tiempo de recuperación de la inversión de un año 8 meses.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El estudio realizado para la creación de un proveedor de servicio de Internet inalámbrico-WISP en la parroquia de Guangopolo nos indica que es técnicamente factible garantizando seguridad en los enlaces inalámbricos y escalabilidad para un futuro crecimiento de los abonados con un equipamiento adaptable para grandes cantidades de usuarios, además posee reservas de fibra óptica en la parte física para la creación de nuevos nodos para dar cobertura a otras zonas en la parroquia de Guangopolo.
- Como resultado de la investigación descriptiva en base al estudio tipo encuesta, se determinó que el 12% de la población podrían ser nuestro nuevos abonados siendo familias que no tiene servicio de Internet fijo debido a que viven en sectores alejados de la parroquia de Guangopolo y familias con insatisfacción en el servicio, es por esto que se escogió la tecnología inalámbrica IEEE 802.11 para largas distancias con características de velocidad de transmisión, radio de cobertura y costo de implementación que se adaptó al lugar de estudio.
- En el diseño del proveedor de servicio de Internet inalámbrico-WISP se fundamentó en la metodología PPDIOO de Cisco, con un estudio por cuadrante de Gartner para la selección de la infraestructura tecnológica de costo medio y alto rendimiento, teniendo para la red jerárquica a MikroTik y para los enlaces inalámbricos a Ubiquiti con la tecnología IEEE 802.11 ac con el protocolo del censado al medio TDMA y transmisiones MIMO en el canal de 5 GHz garantizando la robustez de la red, mayor velocidad y menor interferencia.
- Dentro del diseño del proveedor de servicio de Internet inalámbrico-WISP se obtuvo un perímetro de cobertura de 12,10 km² permitiendo llegar al sector central de la parroquia de Guangopolo como a los sectores alejados de difícil acceso donde las familias carecían del servicio de Internet.
- De acuerdo con la simulación realizada se obtuvo enlaces multipunto con potencia de recepción en el peor de los caso de -66,4 dBm, valor dentro del rango de sensibilidad del receptor garantizando así tener una tasa de transferencia de +305 Mbps con tasa de bits 8x 256 QAM, además se tiene la peor zona de Fresnel en el caso más desfavorable de 4,5 F1, con un cuarta zona y un 50% de la quinta zona

de Fresnel despejada cumpliendo así con la recomendación UIT-R P.530-13 acerca de trayecto entre el TX y Rx debe estar libre de obstáculos.

- En base al estudio se estableció la viabilidad para adquirir el equipamiento, software y se determinó ubicación de los nodos en las faldas de cerro Ilalo con una excelente línea de vista hacia los abonados, considerando en la parte geográfica la facilidad de acceso a los nodos con vías en buen estado y servicios básicos.
- De acuerdo con el estudio se determinó, que el proveedor de servicio de Internet inalámbrico cumple con la parte regulatoria para la implementación y operaciones de las frecuencias en los enlaces punto multipunto con el modelo a utilizar como reventa del servicio basado en artículo 25 Derechos de los prestadores de servicio de Telecomunicaciones.
- En relación con el estudio económico se concluye que el proyecto económicamente es viable teniendo un VAN positivo con un TIR del 38,42 % garantizando una rentabilidad cada año, el tiempo promedio de recuperación del capital en aproximadamente 1 año con 8 meses.

6.2 Recomendaciones

- Sería importante realizar el estudio eléctrico para obtener un sistema ininterrumpido de suministro eléctrico para garantizar la disponibilidad del proveedor de servicio de Internet inalámbrico y elaborar una malla de tierra para la conexión de todos los equipos electrónicos.
- Se recomienda poner énfasis en cumplir con los parámetros emitidos por ARCOTEL para la emisión de la PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) con el objetivo de evitar temas de sanciones por el mal uso del espectro radio eléctrico, además tener en claro que a pesar de trabajar en bandas no licencias se debe cancelar el derecho de concesión por el uso de esa frecuencia.
- Se recomienda hacer alianzas con empresas privadas para la utilización de infraestructura de telecomunicaciones existente, basado en el modelo de compartición de infraestructura para lograr tener un mayor radio de cobertura, sustentando en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones registro 439, artículo 106 Compartición de Infraestructura para servicios generales de telecomunicaciones.
- El proyecto es técnica y económicamente factible, es por esta razón que se recomienda ampliar el estudio para tener una cobertura a todo el Valle de los Chillos con la ubicación de nuevos nodos inalámbricos para los sectores con difícil acceso y para los sectores urbanos el despliegue de fibra óptica para el hogar.

7 BIBLIOGRAFÍA

- AEPROVI. (2020). *Topología NAP.EC*. <https://www.aeprovi.org.ec/es/napec/topologia>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2017). Reglamento de Derechos por otorgamiento de títulos habilitantes del régimen general de Telecomunicación y tarifas por uso de frecuencias. *Análisis Estadístico y de Mercado*. <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Informe-del-Proyecto-de-Tarifas-22-09-17-Web.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2018). *Resolución Arcotel-2018*. 3(2), 139–157. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2010v5n1.2536>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2019). Servicio de acceso a Internet. *Boletín Estadístico*. <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-MAYO-2019-SAI.pdf>
- Aguilar, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en una investigación. *Salud En Tabasco*, 2–7. <https://doi.org/ISSN:1405-2091>
- Araujo, G., Camacho, L., Chávez, D., Córdova, C., & Cornejo, J. (2011). *Redes Inalámbricas Para Zonas Rurales* (Segunda Ed, Issue July 2011). <http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/download/publicaciones/Libro RIpZR 2da edicion.pdf>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- Asamblea Nacional Republica del Ecuador. (2015). Ley Orgánica De Telecomunicaciones, 2015. *Registro Oficial Órgano N° 439 Del Gobierno Del Ecuador, Tercer Sup*, 1–40. <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Organica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- Baena Paz, G. (2017). Metodología de la Investigación. In Patria (Ed.), *Metodología de la investigación* (Tercera, Issue 2017).
- Bernal, C. (2010). *Proceso de investigación científica* (Pearson Education (ed.); Tercera ed).
- Butler, J., Pietrosemoli, E., & Zenaro, M. (2013). *Redes en los países en desarrollo* (Cuarta Edi).

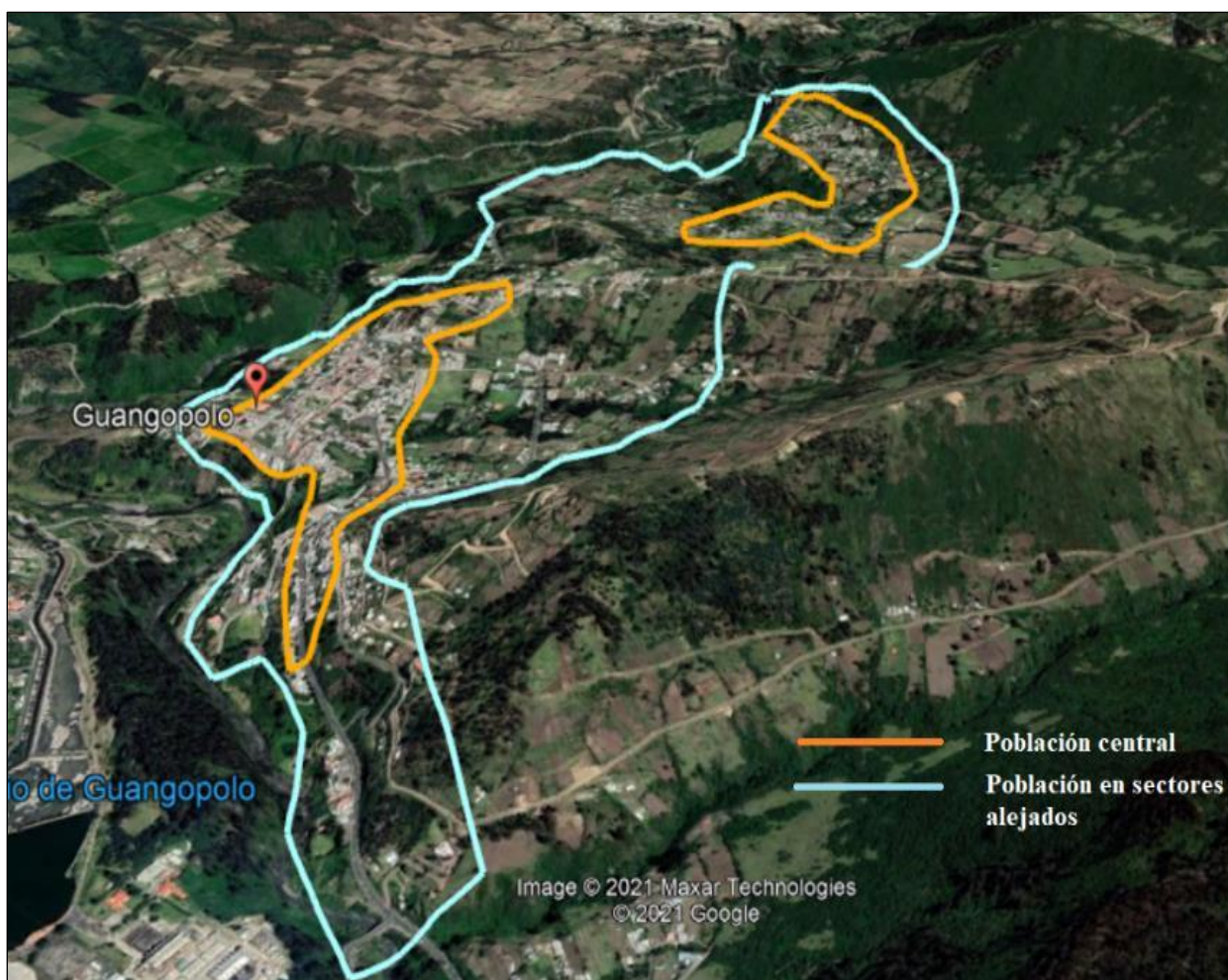
- Cisco. (2014). *Diseño de la red LAN cableada del campus*. 1. https://www.cisco.com/c/dam/r/es/la/internet-of-everything-ioe/assets/pdfs/en-05_campus-wireless_wp_cte_es-xl_42333.pdf
- Cisco. (2020). *IEEE 802 . 11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi*. 1–16. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.pdf>
- Conexionesan. (2017). *Fundamentos financieros: el valor actual neto (VAN) | Finanzas | Apuntes empresariales | ESAN*. 24 de Enero 2017. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>
- EACNUR. (2018). *Significado de ONG y 3 falsos mitos*. <https://eacnur.org/es/actualidad/noticias/eventos/significado-de-ong-y-3-falsos-mitos>
- Economipedia. (2020). *Estudio de factibilidad*. <https://economipedia.com/definiciones/estudio-de-factibilidad.html>
- Emprendedor Inteligente. (2019). *¿Qué es el Periodo de Recuperación de la Inversión?* <https://www.emprendedorinteligente.com/periodo-de-recuperacion-de-la-inversion/>
- Federal Communications Commission. (2018). *Guía de Velocidades de Banda Ancha | Federal Communications Commission*. <https://www.fcc.gov/consumers/guides/guia-de-velocidades-de-banda-ancha>
- García Garrancho, P. (2016). *Manuel de uso de Radio Mobile*. 31. [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/anexos/Anexo 16.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/anexos/Anexo%2016.pdf)
- Gartner. (2019). Gartner Reprint. *Gartner*, 1–12. <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-1OJCEM5F&ct=190925&st=sb>
- Goyena, R., & Fallis, A. . (2019). 802.11ac a Survival Guide. In Mike Loukides and Meghan Blanchette (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEC. (2018). *Tecnologías de la Información y Comunicación Contenido. Inec*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2018/201812_Principales_resultados_TIC_Multipropositivo.pdf
- ITU-R. (2009). Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de

- sistemas de telecomunicación Serie P. *Recommendation ITU-R*, P.530-15.
- ITU-T. (2016). Recommendation ITU-T G.652: Characteristics of a Single-Mode Optical Fibre and Cable. *ITU-T G652*, 1–28. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/en>
- Meden, J. (2014). IEEE 802.11ac. *Editorial Universidad Católica Nuestra Señora de La Asunción*.
- Mete, M. R. (2014). Valor Actual Neto y Tasa de Retorno: Su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 7(7), 67–85.
- Monachesi, E., Gómez López, F. A., Carrasco, A., Frenzel, A. M., Chaile, G., & Tucumán, F. R. (2016). *Estudio de viabilidad de un enlace WiFi*. <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Peñarrieta Bravo, D. F. (2015). *Diseño de una red Wifi de largo alcance, a través del espectro no licenciado, para permitir el acceso al servicio de Internet de Banda Ancha, en los sectores mas poblados de la zona rula del Cantón Junín*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Peñarrieta Bravo, D. F. (2019). *Wifi para comunicaciones de largo alcance con tecnología TDMA*. 3(1), 59–68.
- Regalado Jalca, J. J., Romero Castro, V. F., Azúa Menéndez, M. D. J., Murillo Quimiz, L. R., Parrales Anzúles, G. R., Campozano Pilay, Y. H., & Pin Pin, Á. L. (2018). Redes de computadoras. In Pearson (Ed.), *Redes de computadoras* (Quinta). <https://doi.org/10.17993/ingytec.2018.32>
- Rendón, Á., Ludeña, P., & Andrés, M. (2011). *Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales* (Primera ed). Publicación del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED.
- Satelite Rover. (n.d.). *Torres arriostradas 180*. <https://sateliterover.com/pdf/63039-63040-63044-63056-63057-63059-mu-torre-arriostrada-180.pdf>
- Secretaría Técnica Planificación Ecuador. (2015). Actualización del Plan de desarrollo y

- ordenamiento territorial Parroquia Guangopolo. *Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*, 65 p. <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Software solutions in Radiocommunications. (2015). *ICS telecom EV*. <http://www.atdi.com/ics-telecom/>
- Statista. (2020). *Tasa de inflación en Ecuador 2021 | Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/1190037/tasa-de-inflacion-ecuador/>
- Tomasi, W., Gloria, I., Hernández, M., Virgilio, I., & Pozo, G. (2003). *Sistemas de comunicaciones opticas* (P. Education (ed.); Cuarta edi). <http://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>
- Ubiquiti Networks. (2017). *Datasheet*. https://dl.ubnt.com/datasheets/RocketAC/Rocket_Prism_AC_Gen2_DS.pdf
- Ubiquiti Networks. (2020). *Ubiquiti - airMAX ac*. <https://www.ui.com/airmax/airmax-ac/>
- Yacelga Cusín, G. J. (2017). *Estudio de Factibilidad y diseño de una red inalámbrica ISP, para proveer servicio de Internet en las Comunidades de la Cuenca del Lago San Pablo*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Zoom. (2020). *Requisitos del sistema para Windows, macOS y Linux – Zoom Centro de ayuda*. <https://support.zoom.us/hc/es/articles/201362023-Requisitos-del-sistema-para-Windows-macOS-y-Linux>

8 ANEXOS

Anexo 1 Población de la parroquia de Guangopolo



Anexo 2. Fotografías de las comunas pertenecientes a la parroquia de Guangopolo



Comuna La Toglla



Comuna Rumiloma



Comuna Sorialoma

Anexo 3 Encuesta del servicio de Internet en la Parroquia de Guangopolo.

1. ¿Actualmente cuenta con el servicio de Internet en su hogar?

Si

No

2. ¿Considera usted que el servicio de Internet es una necesidad para su hogar?

Si

No

3. ¿Dispone de una computadora o algún equipo electrónico en su hogar para el acceso al internet?

Si

No

4. ¿Qué tipo de conexión para el acceso a internet posee?

Fibra óptica

Cobre

Inalámbrica

5. ¿Qué empresa le provee el servicio de internet a su hogar?

CNT

iPlanet (Fibramax)

Tv cable

Punto Net

Netlife

Claro

Movistar

Master solutions

Otros

6. ¿Qué precio paga por el servicio de Internet mensualmente?

Valor inferior a \$ 20

Entre \$20 - \$30

- Entre \$30 - \$40
- Entre \$40 - \$50
- Valor superior a \$50

7. ¿El servicio de Internet que usted posee como lo calificaría?

- Excelente
- Bueno
- Regular
- Malo

8. ¿En el caso que posea Internet con qué frecuencia utiliza el servicio de internet?

- Una vez por semana
- Entre 2 a 4 veces a la semana
- Diariamente


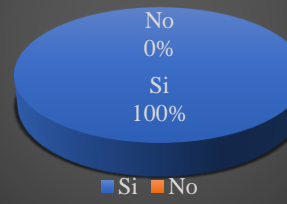
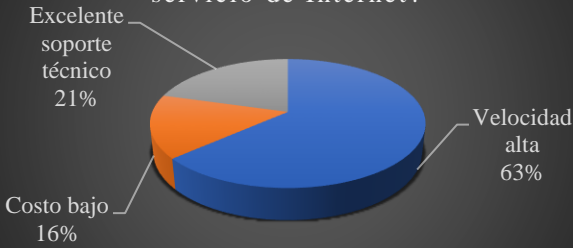
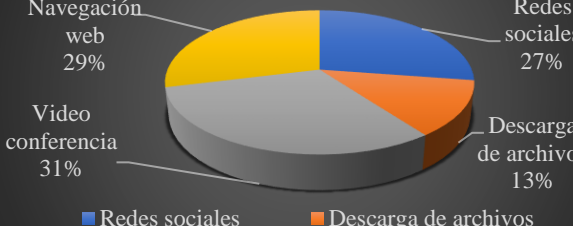
9. ¿Qué tipo de servicios utiliza diariamente en el Internet?

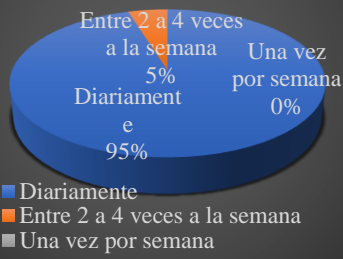
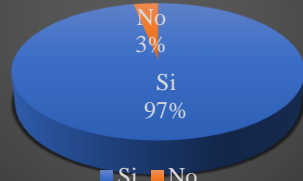
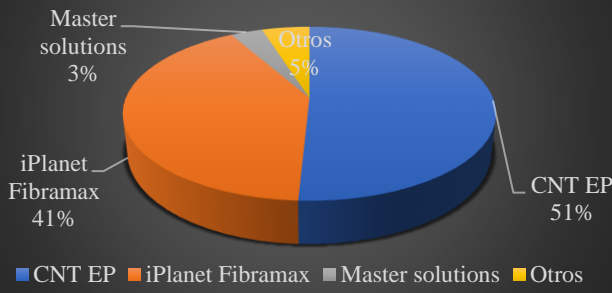
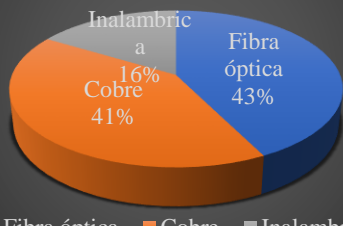
- Redes sociales
- Descarga de archivos
- Video conferencia
- Navegación web

10 ¿Cuál aspecto cree que es para usted de vital importancia en el servicio de Internet?

- Velocidad alta
- Costo bajo
- Excelente soporte técnico

Anexo 4 Análisis de resultados de la encuesta realiza a la parroquia de Guangopolo

Encuestas	Descripción
<p>1. ¿Considera usted que el servicio de Internet es una necesidad para su hogar?</p>  <p>■ Si ■ No</p>	<p>En la actualidad el uso de Internet es una necesidad primordial en todo ámbito laboral educativo o de entretenimiento y se ve reflejado en que un 100% de aceptación.</p>
<p>2. ¿Dispone de una computadora o algún equipo electrónico en su hogar para el acceso al internet?</p>  <p>■ Si ■ No</p>	<p>A causa de la pandemia se ha generado problemas económicos, es por esta razón que se tomó en cuenta si las familias al menos poseen un teléfono celular o computadora para acceder al servicio, teniendo como resultado que el 100% cuentan con un equipo electrónico.</p>
<p>3. ¿Cuál aspecto cree que es para usted de vital importancia en el servicio de Internet?</p>  <p>■ Velocidad alta ■ Costo bajo ■ Excelente soporte técnico</p>	<p>Se concluye que hay un 63% de familias desean una velocidad alta para distintos accesos como navegaciones web, plataformas de video y video conferencia, pero de igual manera hay familias de bajos recursos que desean que el costo sea bajo debido a los distintos problemas económicos que poseen.</p>
<p>4. ¿Qué tipo de servicios utiliza diariamente al acceder al Internet?</p>  <p>■ Redes sociales ■ Descarga de archivos ■ Video conferencia ■ Navegación web</p>	<p>Esta información permite ver la realidad de prioridad de las familias al momento de acceder al servicio de Internet, teniendo a la video conferencia con una mayor prioridad debido a sus múltiples utilizaciones en el ámbito educativo.</p>

<p>5. ¿Con qué frecuencia utiliza el servicio de internet?</p>  <p>Entre 2 a 4 veces a la semana 5% Una vez por semana 0% Diariamente 95%</p> <p>■ Diariamente ■ Entre 2 a 4 veces a la semana ■ Una vez por semana</p>	<p>Este parámetro nos ayuda a medir el potencial mercado debido a se detalla la prioridad que tiene o el uso, teniendo valores del 95% de familias que usan diariamente ya sea para navegación web, redes sociales o clases online.</p>
<p>6. ¿Actualmente cuenta con el servicio de Internet fijo en su hogar, en el caso que no posea no realice las demás preguntas?</p>  <p>No 3% Si 97%</p> <p>■ Si ■ No</p>	<p>Esta pregunta fue de vital importancia debido a que se pudo determinar valores porcentuales de familias sin acceso a internet fijo y en algunos casos deben contratar planes de internet móvil con valores elevados esto debido a que hay hogares que se encuentran geográficamente distantes generando así que los proveedores dominantes de la parroquia no deseen llegar hacia esos sectores</p>
<p>7. ¿Qué empresa le provee el servicio de internet a su hogar?</p>  <p>Master solutions 3% Otros 5% CNT EP 51% iPlanet Fibramax 41%</p> <p>■ CNT EP ■ iPlanet Fibramax ■ Master solutions ■ Otros</p>	<p>En base a esto permite determinar con que empresas son dominantes en la parroquia con un 51% CNT teniendo en cuenta que sus servicios para la parroquia son de cobre teniendo dificultades con la velocidad de acceso, le sigue iPlanet Fibra Max tanto de manera inalámbrica como fibra óptica lo que nos lleva a ajustarnos a ser competitivos con estas empresas y sus planes de Internet.</p>
<p>8. ¿Qué tipo de conexión tiene en su hogar para el acceso a internet?</p>  <p>Inalámbrica 16% Fibra óptica 43% Cobre 41%</p> <p>■ Fibra óptica ■ Cobre ■ Inalámbrica</p>	<p>La parroquia cuenta con irregularidades geográficas en algunos sectores con distintas elevaciones, existiendo hogares que se encuentran ubicadas en las faldas el cerro Ilalo es por esta razón que existe internet inalámbrico ya se por antenas con un costo elevado o por el servicio móvil teniendo un 16% de familias que utilizan este servicio.</p>

<p>9. ¿Qué valor cancela mensualmente por el servicio de Internet?</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Valor inferior a \$ 20</td> <td>24%</td> </tr> <tr> <td>Entre \$20 - \$30</td> <td>66%</td> </tr> <tr> <td>Entre \$30 - \$40</td> <td>10%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Valor inferior a \$ 20	24%	Entre \$20 - \$30	66%	Entre \$30 - \$40	10%	<p>Esta encuesta permite tener la tendencia en costos que cancel cada abonado al proveedor de servicio teniendo una tendencia entre \$ 20-30 dólares que representa el 66%, lo que nos lleva que debemos tener una relación con ese valor para planes medios y planes bajo menores a \$ 20 dólares para que las personas que deseen un plan básico.</p>		
Categoría	Porcentaje										
Valor inferior a \$ 20	24%										
Entre \$20 - \$30	66%										
Entre \$30 - \$40	10%										
<p>10. ¿El servicio de Internet que usted posee como lo calificaría?</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Excelente</td> <td>13%</td> </tr> <tr> <td>Bueno</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>Regular</td> <td>52%</td> </tr> <tr> <td>Malo</td> <td>10%</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Porcentaje	Excelente	13%	Bueno	25%	Regular	52%	Malo	10%	<p>Este ítem de análisis es de vital importancia debido a que nos refleja la conformidad del servicio de Internet en la cual el 9.8 % califican al servicio como malo y desearían otro proveedor que brinde una buena experiencia al usuario.</p>
Categoría	Porcentaje										
Excelente	13%										
Bueno	25%										
Regular	52%										
Malo	10%										

Anexo 5 Ecuaciones para la obtención de las variables A y B de la regresión lineal con el método de mínimos cuadrados

$$A = \bar{y} - B\bar{x}$$

$$B = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

n = número de datos de la serie

Anexo 6 Cuentas de internet fijo de la provincia de Pichincha

Fecha (trimestre 3 y 4)	Cuentas de internet fijo en Pichincha
2015-Septiembre	465326,00
2015-Diciembre	479226,00
2016-Septiembre	506423,00
2016-Diciembre	515290,00
2017-Septiembre	545182,00
2017-Diciembre	557049,00
2018-Septiembre	583568,00
2018-Diciembre	607538,00
2019-Septiembre	630978,00
2019-Diciembre	639466,00
2020-Junio	675856,00

Anexo 7 Estimación de parámetros de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados

Valor	X	Y	X ²	X*Y
	1	465326,00	1	465326
	2	479226,00	4	958452
	3	506423,00	9	1519269
	4	515290,00	16	2061160
	5	545182,00	25	2725910
	6	557049,00	36	3342294
	7	583568,00	49	4084976
	8	607538,00	64	4860304
	9	630978,00	81	5678802
	10	639466,00	100	6394660
	11	675856,00	121	7434416
Total	66	6205902,00	506	39525569

Media X , Y 6 564172,909

Variables A y B	
B=	20819,60909
A=	439255,2545

Anexo 8 Despeje matemático de la tasa de crecimiento anual

$$P_t = P_0 (1 + r)^t$$

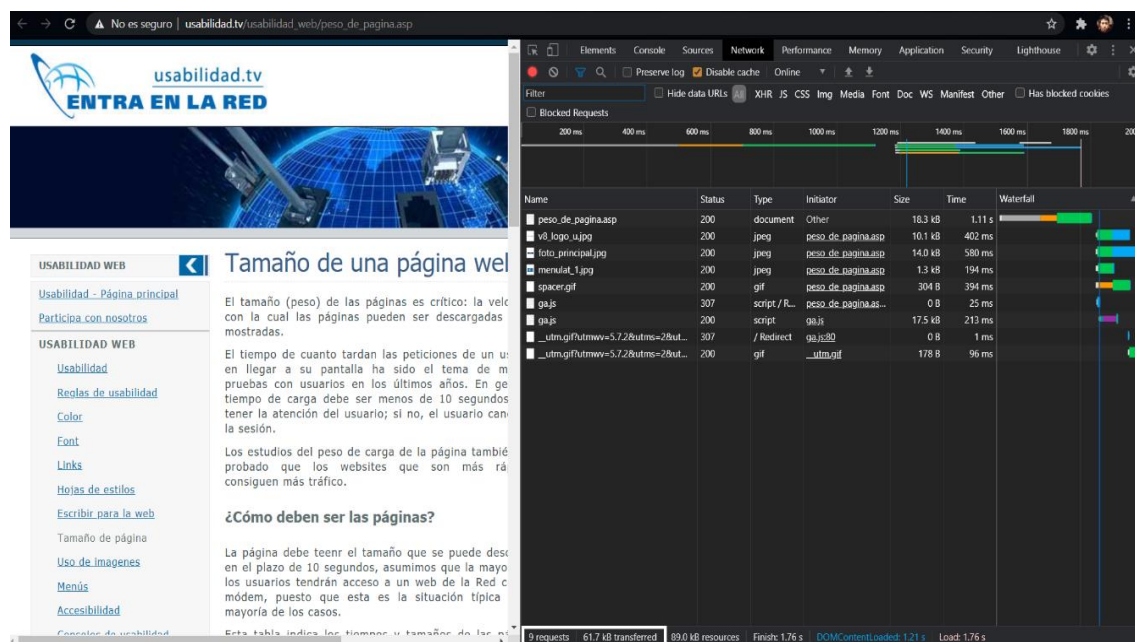
$$\frac{P_t}{P_0} = (1 + r)^t$$

$$(P_t/P_0)^{1/t} = 1 + r$$

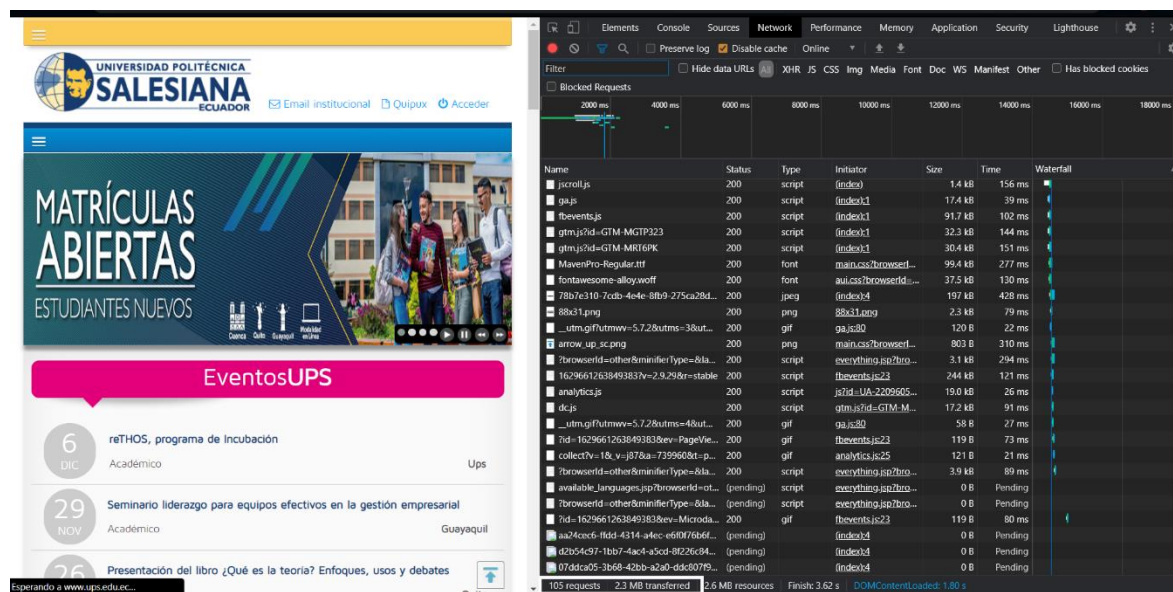
$$r = (P_t/P_0)^{1/t} - 1$$

Anexo 9 Tamaño de páginas webs aleatorias

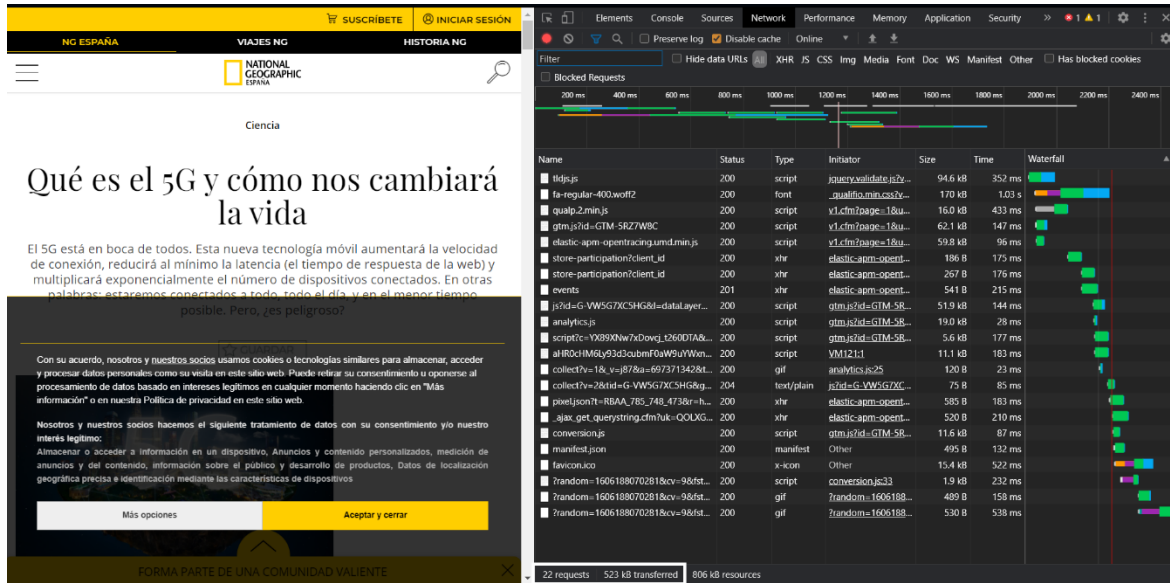
Tamaño de página web = 61700 Bytes



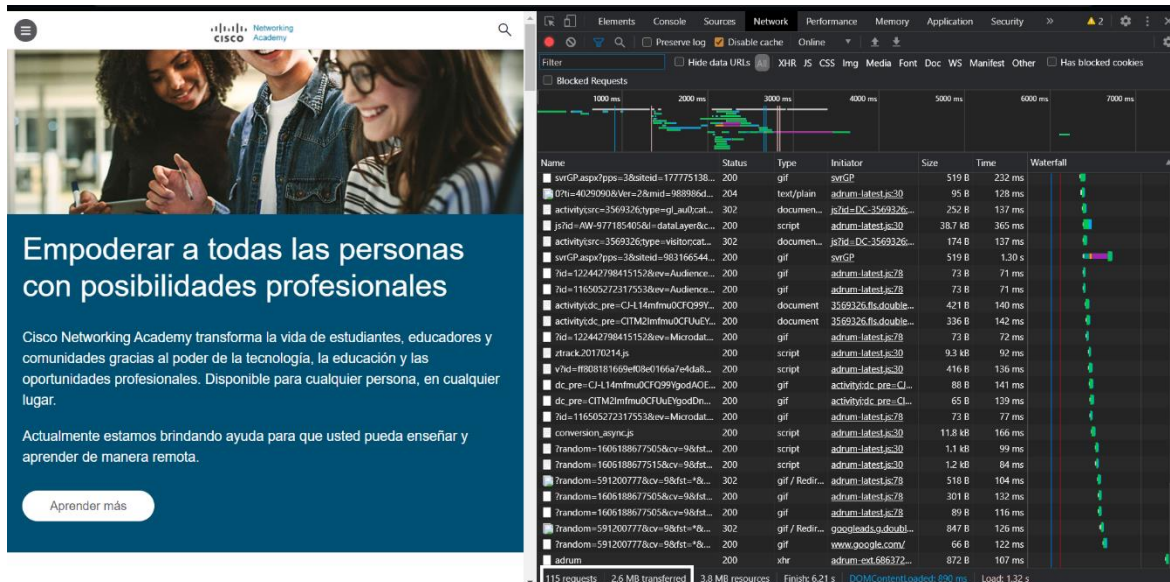
Tamaño de página web = 230000 Bytes



Tamaño de página web = 523000 Bytes



Tamaño de página web = 260000 Bytes



Anexo 10 Promedio del tamaño de una página web

Páginas web	Tamaño de páginas web en [Bytes]
Usabilidad tv	61700
Universidad Salesiana	2300000
National Geographic España	523000
Cisco	2600000
Tamaño total de las páginas web	5484700
Promedio de las páginas web	1371175

Anexo 11 Resolución matemática para la obtención del ancho de banda digital para VoIP.

En base a la ecuación 9,10 y 11 se obtiene el ancho de banda para telefonía IP

- Paquete RTP
- Ethernet: 18 bytes
- RTP: 12 bytes
- UDP: 8 bytes
- IP: 20 Bytes

Codec	Velocidad de bits	Tamaño de la carga útil de voz (bytes)
G.722	64 kbps	160 bytes

Tamaño total del paquete = 18 bytes + 12 bytes + 8 bytes + 20 bytes + 160 bytes

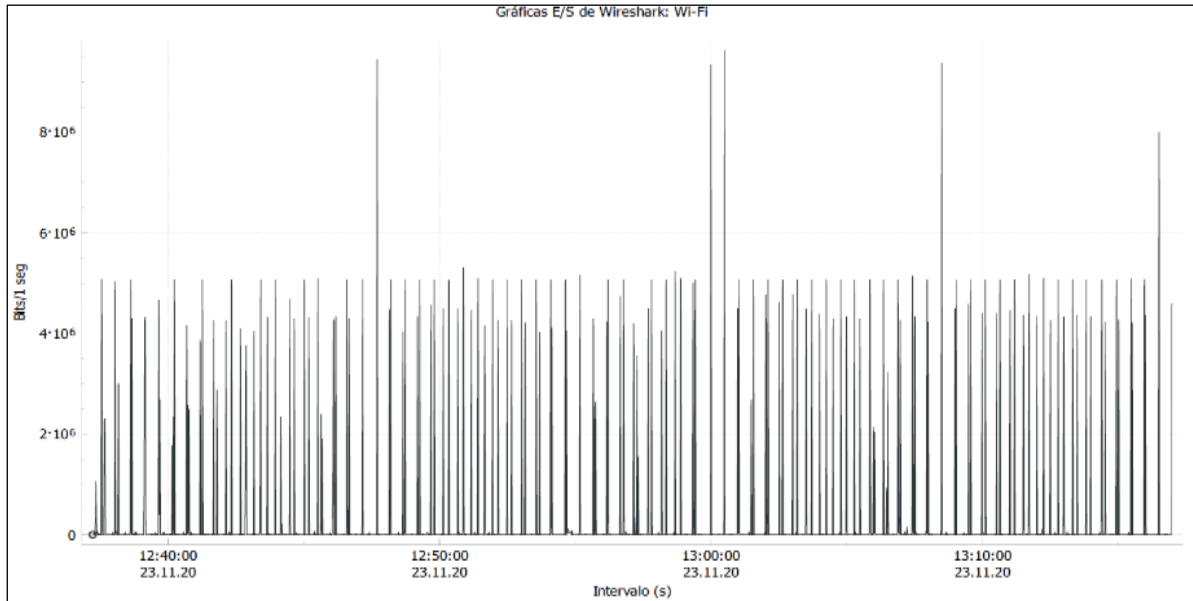
Tamaño total del paquete = 218 bytes

Ancho de banda digital = tamaño de paquete total * $\frac{\text{(tasa de bits del codec)}}{\text{(tamaño de la carga útil de voz)}}$

Ancho de banda digital = 218 bytes * $\frac{64 \text{ kbps}}{160 \text{ bytes}}$

Ancho de banda digital = 87.2 kbps

Anexo 12 Análisis de tráfico de un video en YouTube a 720 p en un rango de 40 minutos.



Anexo 13 Proyección de total de ancho de banda digital requerido 2022-2025

Número de abonados	Ancho de banda digital	Compartición	Ancho de banda requerida
29	10 Mbps	2:01	145
86	15 Mbps	2:01	645
Ancho de banda total [Mbps]			790

Número de abonados	Ancho de banda digital	Compartición	Ancho de banda requerida
30	10 Mbps	2:01	150
89	15 Mbps	2:01	668
Ancho de banda total [Mbps]			818

Número de abonados	Ancho de banda digital	Compartición	Ancho de banda requerida
31	10 Mbps	2:01	155
93	15 Mbps	2:01	683
Ancho de banda total [Mbps]			833

Número de abonados	Ancho de banda digital	Compartición	Ancho de banda requerida
32	10 Mbps	2:01	160
97	15 Mbps	2:01	727,5
Ancho de banda total [Mbps]			888

Anexo 14 Pérdida conector RP-SMA

Conector	pérdida
RP-SMA	pérdida de 0.06dB a 6GHz

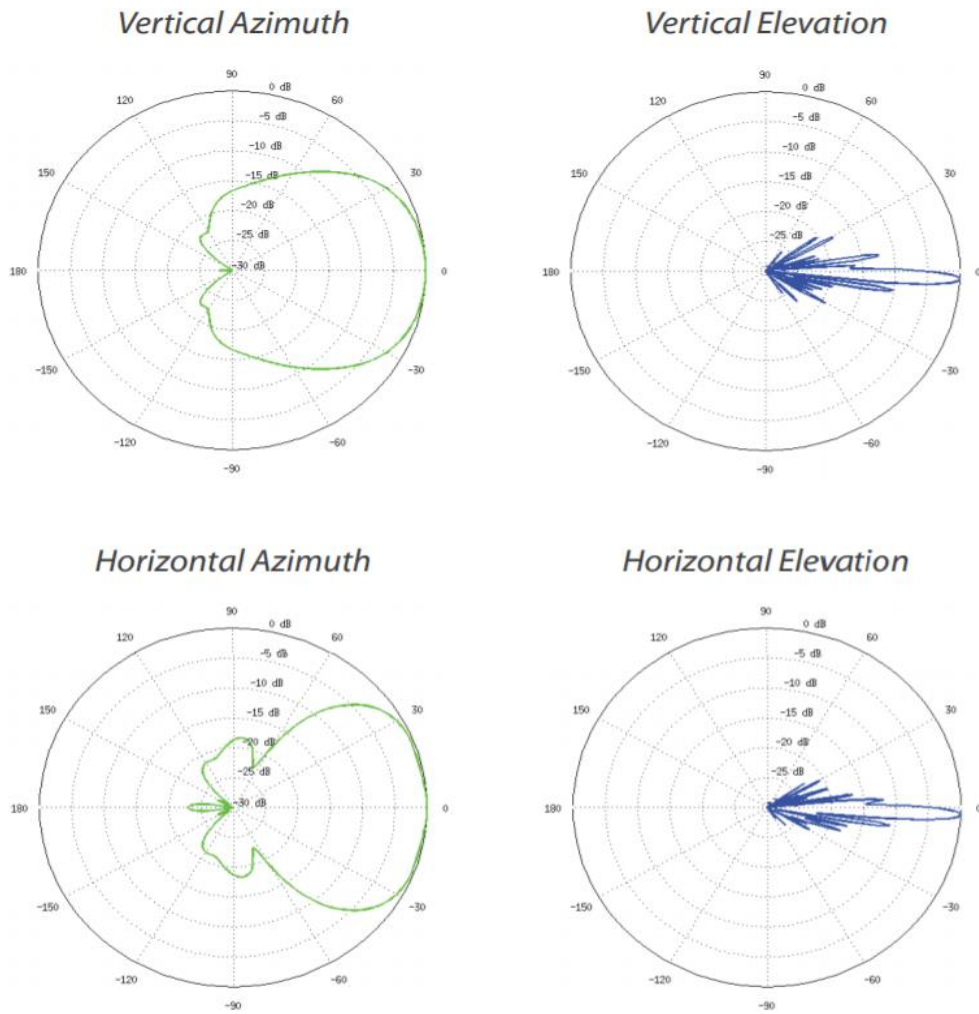
<https://es.data-alliance.net/connectors-adapters-insertion-loss/>

Anexo 15 Pérdida pigtail coaxial LMR-400

Cable	Pérdida dB/100m
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom plus 2	22
LMR-600	14

<https://www.analfatecnicos.net/archivos/24.CalculoDeRadioenlace.pdf>

Anexo 16 Características adicionales de la antena AM-5G20-90



Fuente: https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxsector/airMAX_Sector_Antennas_DS.pdf

Anexo 17 Nodo A y B cobertura Comuna la Toglla, Sorialoma, Rumiloma y Guangopolo

Nodo A cobertura Rumiloma y Guangopolo



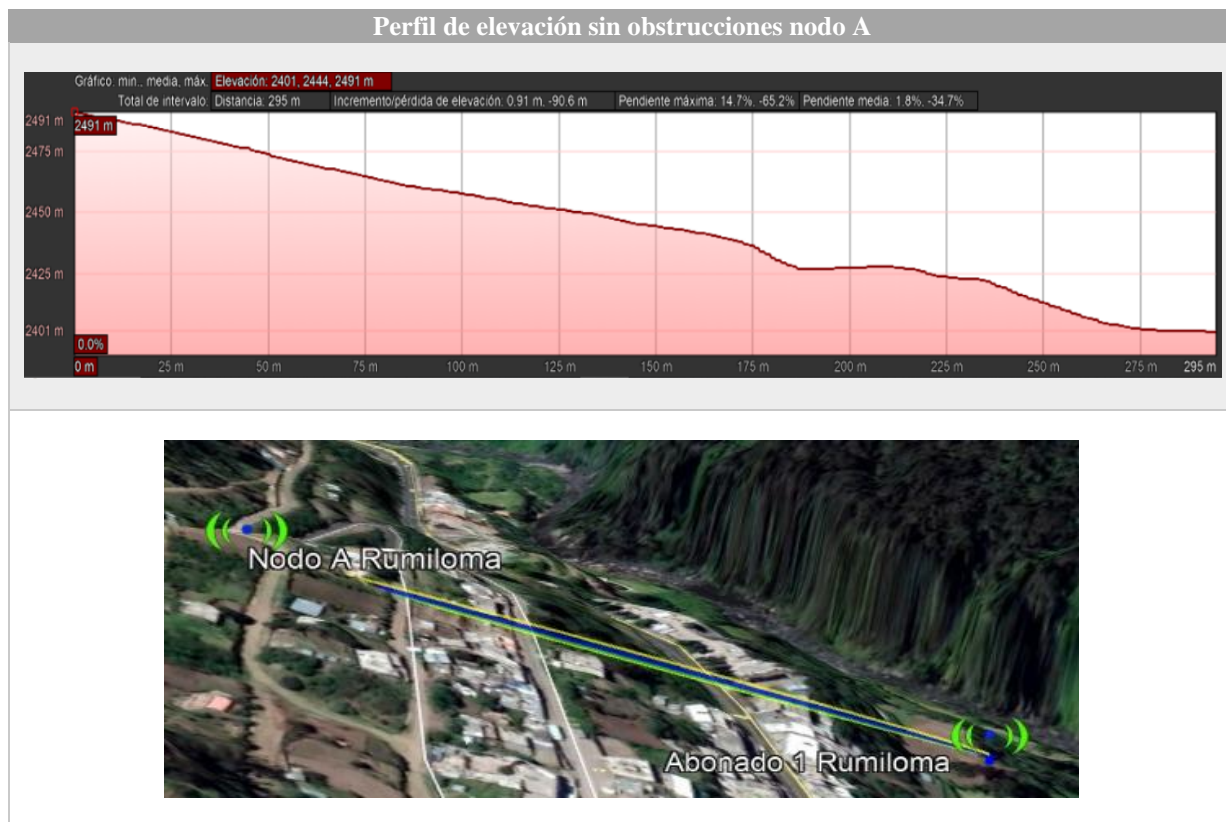
Nodo B cobertura Sorialoma, Toglla y Guangopolo



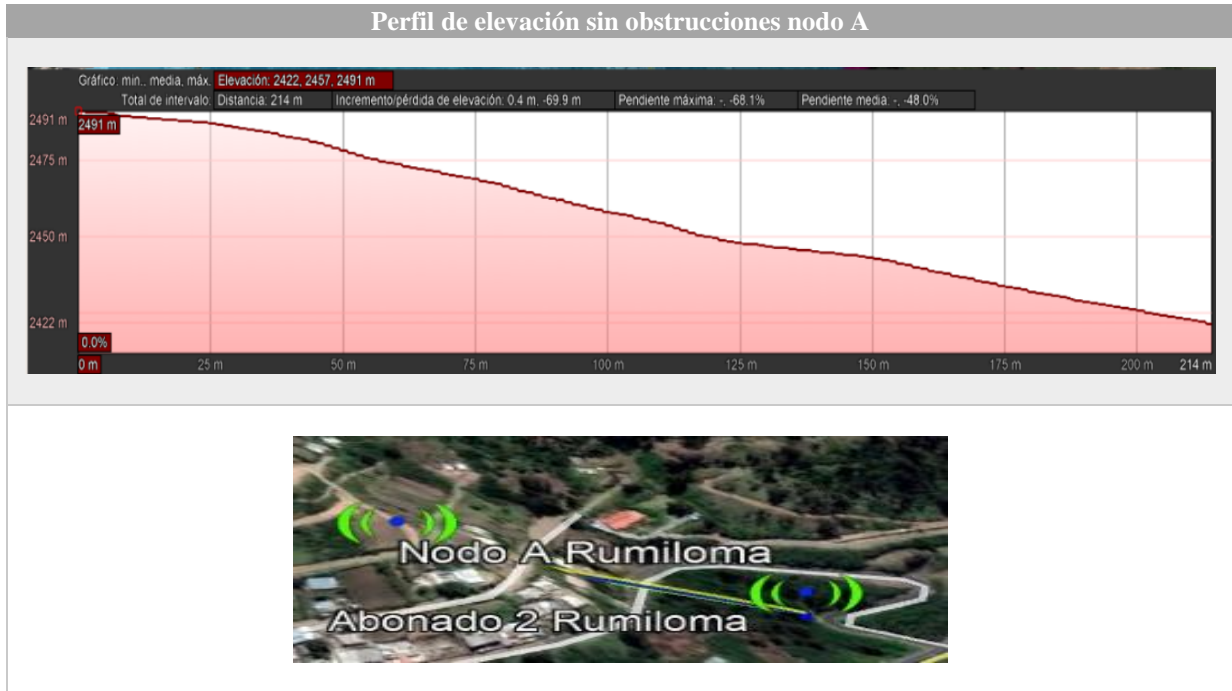
Anexo 18 Configuración del Nodo B hacia un abonado de la comuna la Toglla

Asignación de parametros de red para el Nodo B -Abonado 1 Toglla	
	<p>Frecuencia: Cada antena se le asigna una frecuencia distinta de la banda de 5 GHz para evitar interferencias.</p>
	<p>Se escogió la topología a utilizarse, la misma es tipo maestro esclavo, teniendo al nodo A y B que proveen el servicio de internet hacia los esclavos que son los abonados</p>
	<p>Asignación de potencias, ganancia, tipo de antena con sus pérdidas tanto por conectores como el cableado, además esta configuración es común para todos los enlaces punto multipunto tanto del nodo A y B hacia los abonados</p>

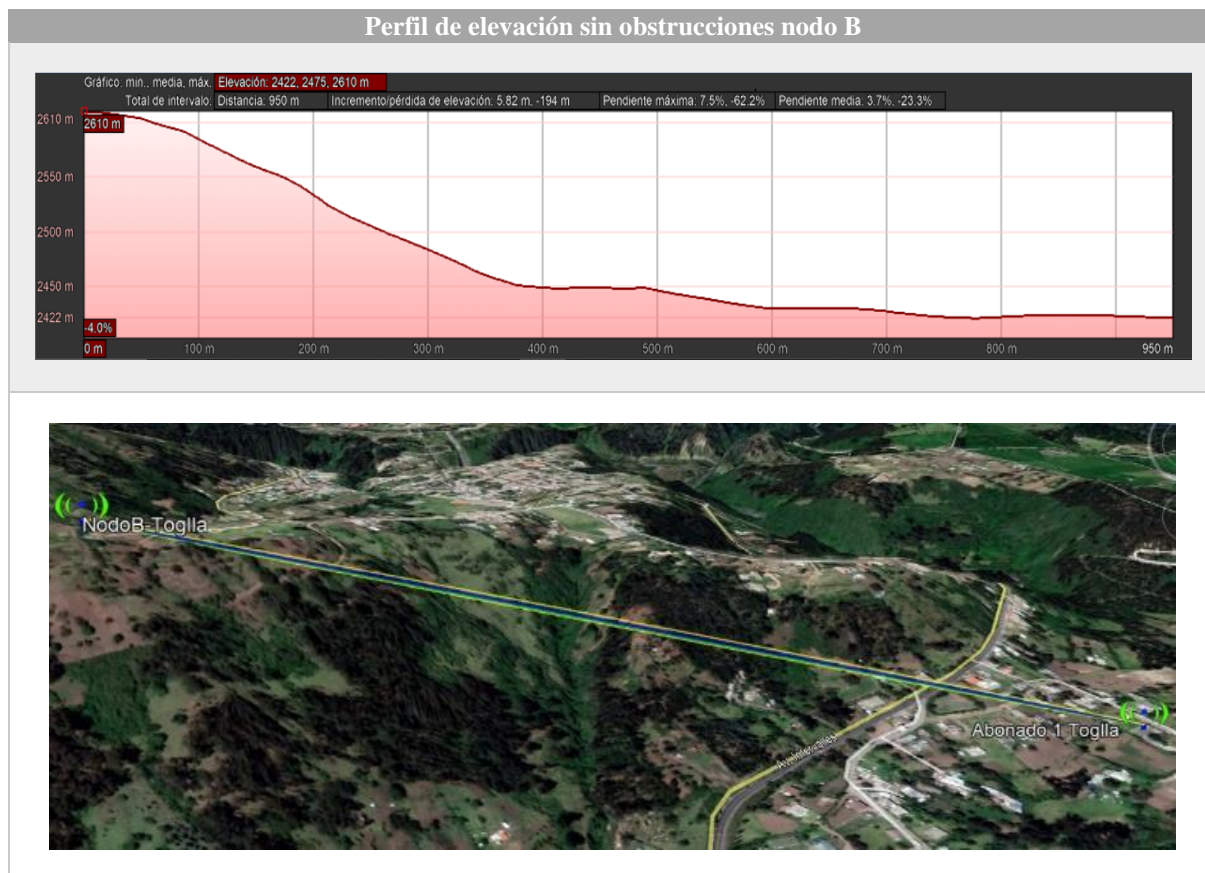
Anexo 19 Perfil de elevación del nodo a antena sectorial hacia el CPE Abonado 1 Rumiloma



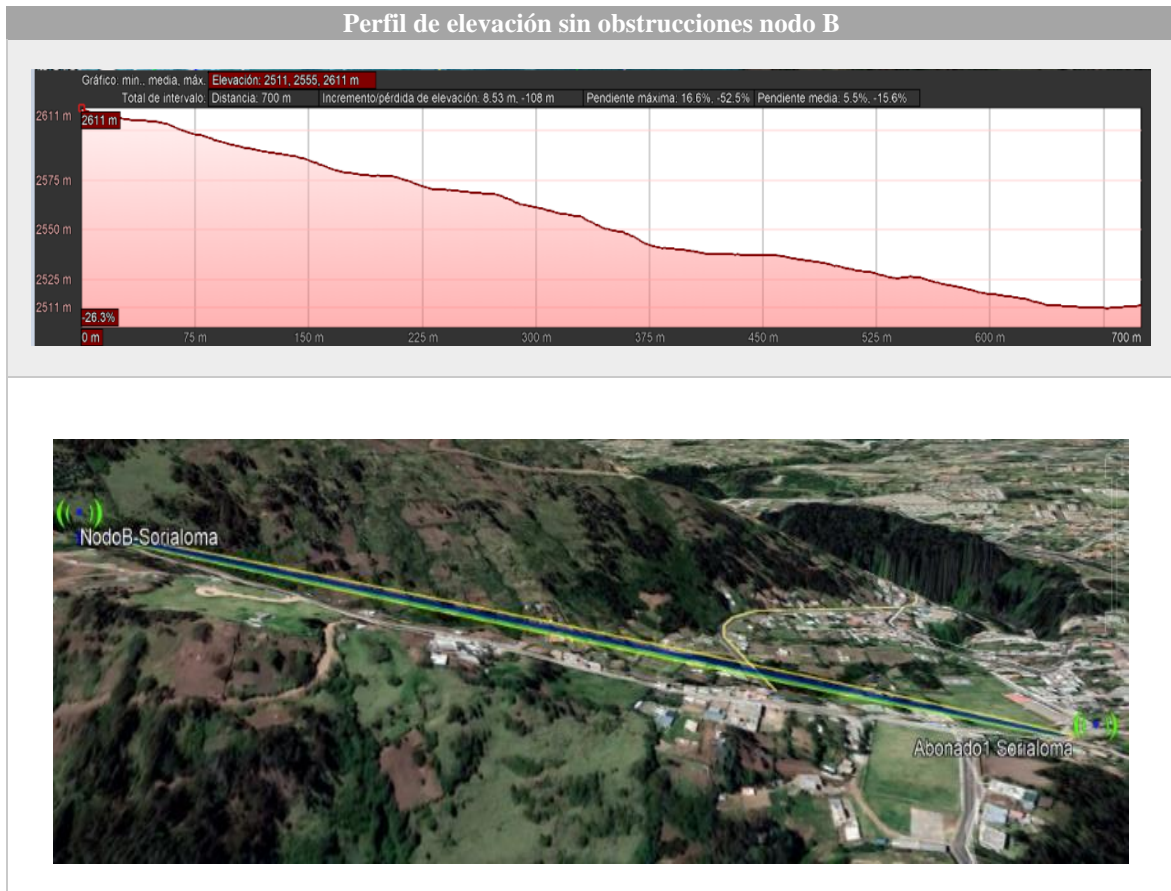
Anexo 20 Perfil de elevación del nodo A antena sectorial hacia el CPE Abonado 2 Rumiloma



Anexo 21 Perfil de elevación del nodo B antena sectorial hacia el CPE Abonado 1 Toglla

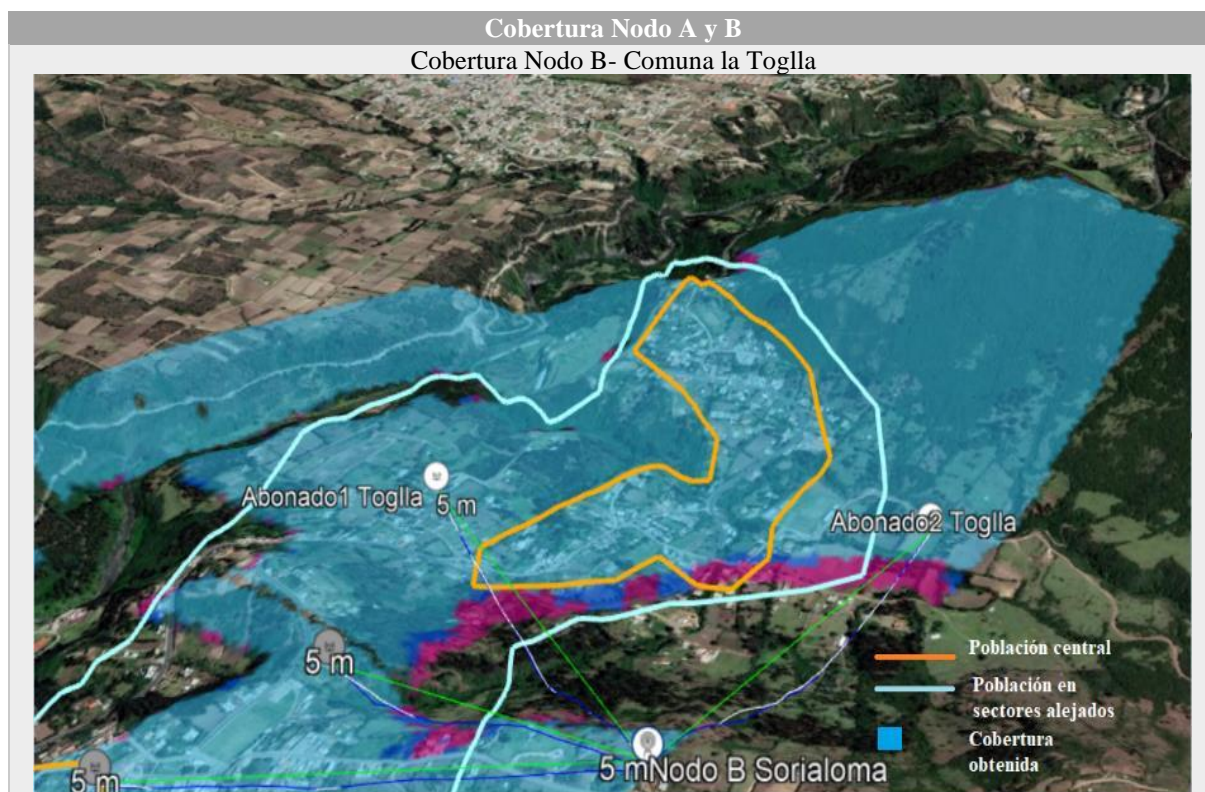


Anexo 22 Perfil de elevación del nodo B antena sectorial hacia el CPE Abonado 1 Sorialoma



Anexo 23 Cobertura del conjunto de 4 antenas en la parroquia de Guangopolo 12.09

km²



Se estima la cobertura hacia el sector de la Toglla y se encuentra representando por el color celeste (señal fuerte) y el color rosado (señal débil), además se tiene una zona mínima sin cobertura representado por una zona sin ningún color, prevaleciente de vegetación y no existen proyecciones de viviendas debido a la dificultad de acceso y elevación.

Cobertura Nodo B- Comuna Sorialoma- Guangopolo



Se estima la cobertura hacia el sector de Sorialoma y la parte central de la parroquia de Guangopolo, se encuentra representando por el color celeste (señal fuerte) y el color rosado (señal débil), además se tiene una zona mínima sin cobertura representado por una zona sin ningún color, prevaleciente de vegetación y no existen proyecciones de viviendas debido a la dificultad de acceso y elevación.

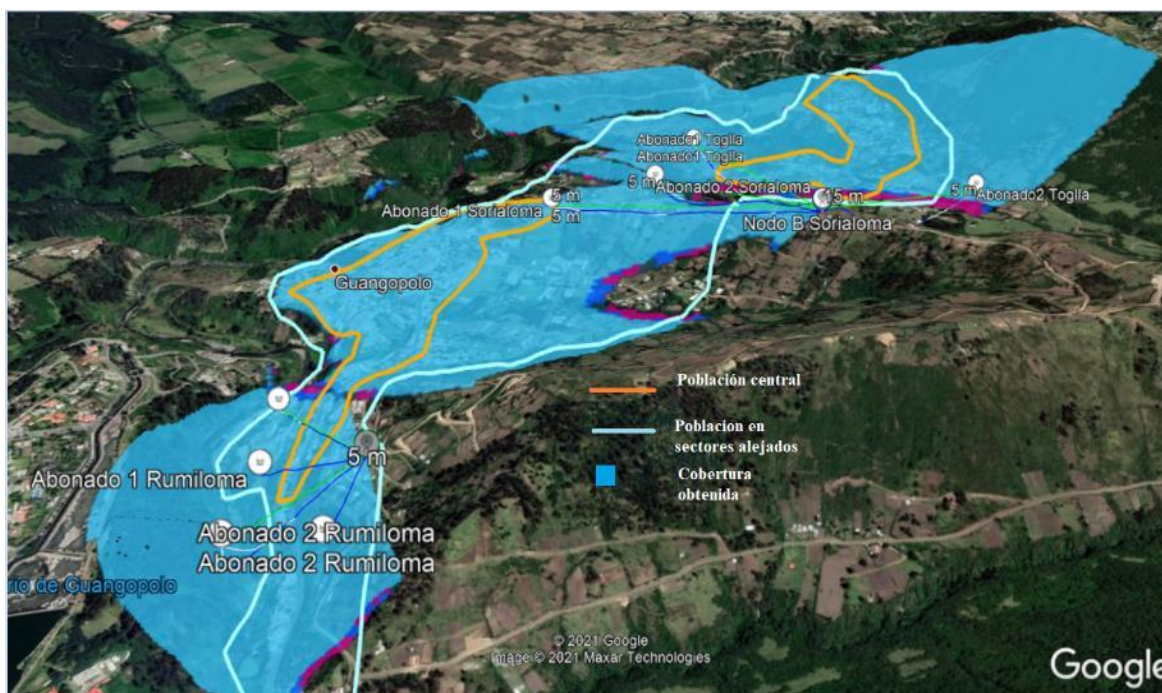
Se logra proporcionar cobertura hacia un sector donde había familias que no poseían el servicio de Internet.

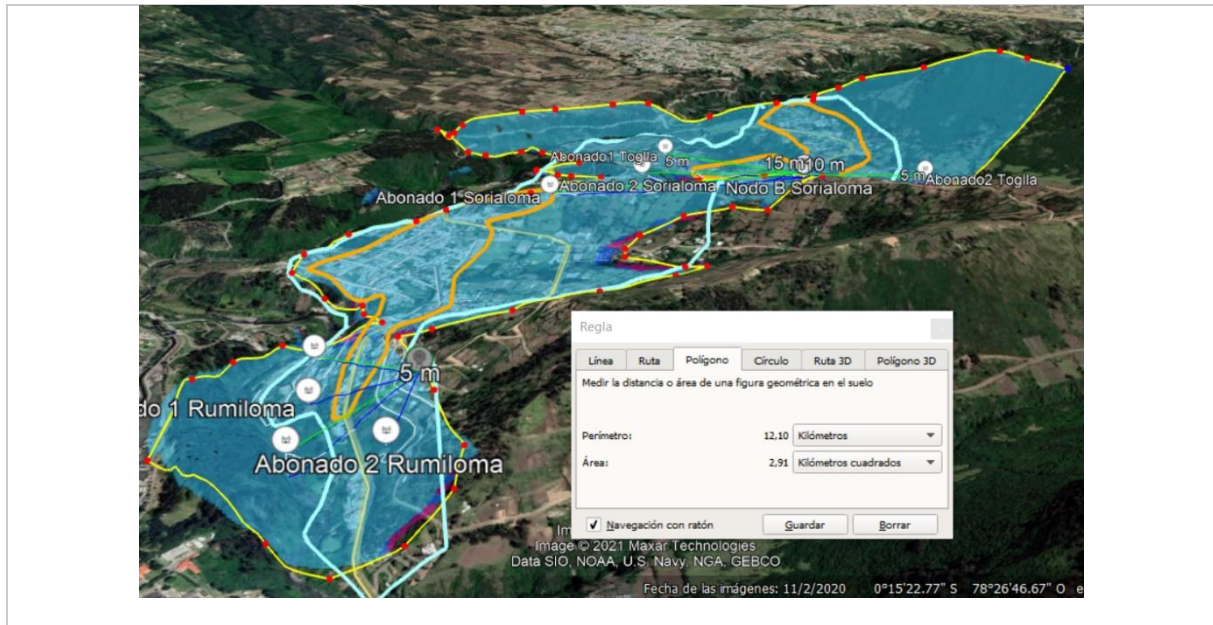
Cobertura Nodo A- Comuna Rumiloma



Se estima la cobertura hacia el sector de Rumiloma, se encuentra representando por el color celeste (señal fuerte) y el color rosado (señal débil). Se logra proporcionar cobertura hacia un sector donde había familias que no poseían el servicio de Internet.

Cobertura total a la parroquia por medio de los 4 Access Point Ubiquiti





Anexo 24 Estimación de parámetros de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados

$$- B = \frac{\sum Y}{n}$$

$$- B = 89,39$$

$$- A = \frac{\sum XY}{\sum X^2}$$

$$- A = 4,97$$

Anexo 25 Ingreso de valores anuales plan básico

Año	Familias plan de 17,5	Precio	Cobro anual	Instalación (solo 1 vez)	Instalación anual	Valor total plan \$ 17,5
2021	27	\$17,50	\$5.722,50	\$50,00	\$1.362,50	\$7.085,00
2022	29	\$17,50	\$5.985,00	\$50,00	\$50,00	\$6.035,00
2023	30	\$17,50	\$6.247,50	\$50,00	\$50,00	\$6.297,50
2024	31	\$17,50	\$6.510,00	\$50,00	\$50,00	\$6.560,00
2025	32	\$17,50	\$6.772,50	\$50,00	\$50,00	\$6.822,50

Anexo 26 Ingreso de valores anuales plan premium

Año	Familias plan de 22,5	Precio	Cobro anual	Instalación (solo 1 vez)	Instalación anual	Valor total plan \$ 22,5
2021	82	\$22,50	\$22.072,50	\$50,00	\$4.087,50	\$26.160,00
2022	86	\$22,50	\$23.085,00	\$50,00	\$200,00	\$23.285,00
2023	89	\$22,50	\$24.097,50	\$50,00	\$200,00	\$24.297,50
2024	93	\$22,50	\$25.110,00	\$50,00	\$200,00	\$25.310,00
2025	97	\$22,50	\$26.122,50	\$50,00	\$200,00	\$26.322,50

Anexo 27 Valor económico que recibirá el personal anualmente

Mano de obra	Cantidad	Valor mensual	Valor anual
Ingeniero	1	\$ 170,00	\$ 2.040,00
Técnico	1	\$ 140,00	\$ 1.680,00
Secretaria	1	\$ 120,00	\$ 1.440,00
Valor total de mano de obra			\$ 5.160,00

Anexo 28 Materia prima año 2021 - 2025

AÑO 2021	Detalles costo materia prima	Valor Monetario
	Equipo CPE	\$ 6.540,00
	Router Inalámbrico	\$ 1.308,00
	Tarifa mensual por asignación de frecuencia	\$ 222,82
	Proveedor de Internet	\$ 16.200,00
	Valor total Costo Materia Prima	\$ 24.270,82

AÑO 2022	Detalles costo Materia Prima	Valor Monetario
	Equipo CPE	\$ 300,00
	Router Inalámbrico	\$ 60,00
	Tarifa mensual por asignación de frecuencia	\$ 222,82
	Proveedor de Internet	\$ 16.500,00
	Valor total Costo Materia Prima	\$ 17.082,82

AÑO 2023	Detalles costo Materia Prima	Valor Monetario
	Equipo CPE	\$ 300,00
	Router Inalámbrico	\$ 60,00
	Tarifa mensual por asignación de frecuencia	\$ 222,82
	Proveedor de Internet	\$ 16.800,00
	Valor total Costo Materia Prima	\$ 17.382,82

AÑO 2024	Detalles costo Materia Prima	Valor Monetario
	Equipo CPE	\$ 300,00
	Router Inalámbrico	\$ 60,00
	Tarifa mensual por asignación de frecuencia	\$ 222,82
	Proveedor de Internet	\$ 17.100,00
	Valor total Costo Materia Prima	\$ 17.682,82

AÑO 2025	Detalles costo Materia Prima	Valor Monetario
	CSS610-8G-2S + IN	\$ 90,00
	Rocket Prism AC + AM-5G20-90	\$ 400,00
	Equipo CPE	\$ 300,00
	Router Inalámbrico	\$ 60,00
	Tarifa mensual por asignación de frecuencia	\$ 222,82
	Proveedor de Internet	\$ 17.400,00
	Valor total Costo Materia Prima	\$ 18.472,82

Anexo 29 Costo de la conexión troncal año 2021

Empresa portadora de servicio			
Descripción	Cantidad	Valor mensual	Valor Anual
Proveedor de Internet	1	\$ 1.350,00	\$ 16.200,00

Anexo 30 Valor de los equipos de red jerárquica

Equipos de red jerárquica				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
Router Borde	CCR2004-1G-12S+2XS	1	\$550,00	\$550,00
Switch distribución	CRS328-4C-20S-4S+RM	1	\$350,00	\$350,00
Switch Acceso	CSS610-8G-2S + IN	3	\$90,00	\$270,00
Total				\$1.170,00

Fuente: <https://mikrotik.com/products>

Anexo 31 Valor de UPS para cada nodo del WISP de la parroquia

Equipos de respaldo eléctrico				
Equipo	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
UPS	Apc 1500 Va Br1500m2-lm 1.5kva 900watts	3	240	720

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-429620420-ups-regulador-apc-15kva-900w-pc-gamer-server-y-forza-cdp-2-_JM#position=5&type=item&tracking_id=7c09294f-bcab-4314-86ad-8b5e4eda2a86

Anexo 32 Valor del equipo inalámbrico empresa Aire.ec

Red de distribución equipamiento de comunicación inalámbrica				
Descripción	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Precio total
Red de distribución enlaces Multipunto Nodo A	Rocket Prism AC	2	\$280,00	\$560,00
	AM-5G20-90	2	\$120,00	\$240,00
Red de distribución enlaces Multipunto Nodo B	Rocket Prism AC	2	\$280,00	\$560,00
	AM-5G20-90	2	\$120,00	\$240,00

Fuente: <https://aire.ec/>

Anexo 33 Valores de equipos pasivos para la implementación del WISP

Equipamiento Pasivo			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Precio total
Rack 6 U Beaucoup	2	100	\$ 200,00
Rack 12 U Beaucoup	1	140	\$ 140,00
Bobina de cable CAT 6 A	1	220	\$ 220,00
Patch Cord Fibra óptica	20	1,6	\$ 32,00
Torre 8 m	1	430	\$ 430,00
Torre 6 m	1	360	\$ 360,00
ODF	4	70	\$ 280,00
TOTAL			\$ 1.662,00