



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO

PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

Tema:

“Estudio y diseño de una red inalámbrica entre el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku para dotar de servicios de telecomunicaciones”

Edison Danilo Mejía Suárez

Quito – 2016

AUTORÍA

Yo, Edison Danilo Mejía Suárez, con cédula de identidad No. 1710112374, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Edison Danilo Mejía Suárez

Contenido

AUTORÍA.....	2
Índice de Figuras.....	7
Índice de Tablas.....	8
Índice de Ecuaciones.....	10
CAPÍTULO I.....	12
DESCRIPCIÓN DEL TEMA.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3 ANTECEDENTES.....	18
1.4 OBJETIVOS.....	20
1.4.1 Objetivo General.....	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO II.....	21
REDES INALÁMBRICAS.....	21
2.1 REDES CON TECNOLOGÍA ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE (<i>FREE SPACE OPTICS, FSO</i>)....	21
2.1.1 Introducción.....	21
2.1.1.1 Principio de Funcionamiento de la Tecnología Óptica de Espacio Libre.....	21
2.1.1.2 Descripción de la Tecnología Óptica de Espacio Libre (<i>Free Space Optics, FSO</i>).....	22
2.1.1.2.1 Transmisor.....	23
2.1.1.2.1.1 Fuentes LED.....	23
2.1.1.2.1.2 Fuentes Láser.....	23
2.1.1.2.2 Receptor Óptico.....	24
2.1.1.2.2.1 Diodo PIN.....	24
2.1.1.2.2.2 Fotodiodo Avalancha APD.....	25
2.1.1.2.3 Funcionamiento de la Tecnología Óptica de Espacio Libre.....	25
2.1.1.2.4 Seguimiento y adquisición.....	27
2.1.1.3 Disponibilidad del Enlace.....	28
2.1.1.3.1 Pérdida Óptica.....	28
2.1.1.3.2 Pérdida Geométrica.....	28
2.1.1.3.2.1 Divergencia del Láser.....	28

2.1.1.3.3	Pérdida Atmosférica	29
2.1.2	Causas que influyen en el medio ambiente de los enlaces FSO.....	30
2.1.2.1	Atenuación Atmosférica	30
2.1.2.1.1	Absorción Atmosférica.....	30
2.1.2.1.2	Dispersión Atmosférica	31
2.1.2.1.2.1	Dispersión de Rayleigh.....	31
2.1.2.1.2.2	Dispersión de Mie	31
2.1.3	Línea de Vista.....	32
2.1.3.1	Determinación de la Línea de Vista	32
2.1.4	Condiciones climáticas.....	32
2.1.4.1	Lluvia.....	32
2.1.4.2	Nieve.....	32
2.1.4.3	Niebla.....	32
2.1.5	Turbulencia.....	33
2.1.5.1	Desviación del Haz.....	33
2.1.5.2	Centelleo.....	34
2.2	REDES INALÁMBRICAS Wi-Fi.....	34
2.2.1	Introducción	34
2.2.2	Clasificación de los estándares más comerciales 802.11	35
2.2.2.1	802.11 a	36
2.2.2.2	802.11 b	36
2.2.2.3	802.11 g	36
2.2.2.4	802.11 n	37
2.2.2.5	802.11 ac.....	37
2.2.3	Arquitectura 802.11.....	37
2.2.3.1	Capa Física	38
2.2.3.1.1	Técnicas de Transmisión de las Subcapas Físicas.....	39
2.2.3.1.1.1	Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (<i>FHSS</i>)	39
2.2.3.1.1.2	Espectro de Extensión de Secuencia Directa (<i>DSSS</i>)	39
2.2.3.1.1.3	Multiplexación por División en Frecuencias Ortogonales (<i>OFDM</i>)	39

2.2.3.2	Capa de Enlace de Datos	39
2.2.3.2.1	Subcapa LLC - Control lógico de enlace.....	40
2.2.3.2.2	Subcapa MAC - Control de acceso al medio.....	40
2.2.3.2.2.1	Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisiones (CSMA/CA).....	41
2.2.3.2.2.2	Acuse de recibido (ACK).....	41
2.2.3.2.2.3	Fragmentación.....	41
2.2.3.2.2.4	Confidencialidad - WEP	39
2.2.4	Radio Frecuencia	42
2.2.5	Pérdidas en espacio libre (FSL)	43
2.2.6	Atenuación por lluvia	44
2.2.7	Zonas de Fresnel:	44
2.2.8	Línea de vista	46
2.2.9	Multitrayectoria.....	46
CAPÍTULO III.....		47
DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA ENTRE EL GAD MUNICIPAL DE PUTUMAYO Y LA COMUNIDAD DE SILVAYAKU		47
3.1	ANÁLISIS COMPARATIVO	47
3.1.1	Redes FSO	47
3.1.1.1	Ventajas de FSO	48
3.1.1.2	Desventajas de FSO.....	48
3.1.2	Redes Wi-Fi	49
3.1.2.1	Ventajas de las redes Wi-Fi.....	49
3.1.2.2	Desventajas de las redes Wi-Fi.....	50
3.1.3	Cuadro comparativo de redes FSO y Wi-Fi.....	51
3.2	ANÁLISIS ACTUAL DE LA RED DEL GAD MUNICIPAL DE PUTUMAYO Y EL INFOCENTRO DE LA COMUNIDAD DE SILVAYAKU	52
3.2.1	Ubicación Geográfica del GAD Municipal de Putumayo	52
3.2.2	Clima del Cantón Putumayo	52
3.2.3	División Político – Administrativo del Cantón Putumayo	53
3.2.4	Ubicación Geográfica de la Comunidad de Silvayaku	53
3.2.5	Población de la Comunidad de Silvayaku.....	54

3.2.6	Infraestructura Física.....	54
3.2.7	Condiciones Tecnológicas del GAD Municipal de Putumayo y la Comunidad de Silvayaku.....	57
3.3	SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	58
3.4	DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA	61
3.4.1	Cálculo de las capacidades requeridas	62
3.4.1.1	Velocidad de transmisión para datos	62
3.4.1.1.1	Navegación Web	64
3.4.1.1.2	Correo electrónico	64
3.4.1.1.3	Descarga de documentos	66
3.4.1.1.4	Transferencia de archivos.....	66
3.4.1.1.5	Streaming de video	66
3.4.1.2	Velocidad de transmisión por voz – VoIP	68
3.4.1.3	Velocidad de transmisión para videoconferencia	70
3.4.1.4	Proyección de usuarios	73
3.4.1.5	Velocidad de transmisión total requerida	75
3.5	CONSIDERACIONES PARA LA RED INALÁMBRICA	76
3.5.1	Ubicación de los enlaces punto a punto	81
3.5.2	Cálculo del radio enlace	82
3.5.3	Resultados del modelo teórico y programa Radio Mobile.....	97
3.5.4	Presupuesto Referencial de Equipos	101
3.5.4.1	Modelos de equipos Wi-Fi	101
3.5.4.2	Selección de equipos	101
3.5.4.3	Antenas	104
3.5.4.4	Presupuesto de los Equipos	104
CAPÍTULO IV.....		106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		106
4.1	CONCLUSIONES	106
4.2	RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		110
ANEXO A: TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA COMUNIDAD DE SILVAYAKU .		116

ANEXO B: COTIZACIÓN DE EQUIPOS INALÁMBRICOS RADWIN 2000 A	119
ANEXO C: COTIZACIÓN DE EQUIPOS INALÁMBRICOS AIRFIBER 5X.....	121
ANEXO D: TUTORIAL PROGRAMA DE SIMULACIÓN RADIO MOBILE	123
ANEXO E: ALTURAS Y CURVA DE NIVEL DE LA ZONA DE ESTUDIO	140
ANEXO F: FICHA DE DATOS EQUIPOS INALÁMBRICOS RADWIN 2000.....	142
ANEXO G: FICHA DE DATOS EQUIPOS INALÁMBRICOS AIRFIBER X	151

Índice de Figuras

Figura 2.1: Tecnología FSO.....	22
Figura 2.2: Descripción de la Tecnología FSO.....	22
Figura 2.3: Diodo P I N.....	25
Figura 2.4: Transceptor FSO.....	27
Figura 2.5: Perdida Geométrica	29
Figura 2.6: Divergencia del Laser.....	29
Figura 2.7: Estándar IEEE 802.11. (<i>Wireless Fidelity, Wi-Fi</i>)	35
Figura 2.8: Arquitectura OSI. IEEE 802.11	38
Figura 2.9: Zona de Fresnel	45
Figura 3.1: Mapa Georeferencial del cantón Putumayo	53
Figura 3.2: Infraestructura civil del GAD Municipal de Putumayo	54
Figura 3.3: Torre del GAD Municipal de Putumayo	55
Figura 3.4: Infraestructura civil Infocentro de la Comunidad de Silvayaku.....	55
Figura 3.5: Torre de la Comunidad de Silvayaku	56
Figura 3.6: Diagrama de Red GAD Municipal de Putumayo	57
Figura 3.7: Red Infocentro de la comunidad de Silvayaku.....	58
Figura 3.8: Razones de uso de Internet por área	62
Figura 3.9: Consumo diario de datos	65
Figura 3.10: Transporte de Flujo de paquetes MPEG-2 sobre red IP/Ethernet	71
Figura 3.11: Calculadora de ancho de banda	73

Figura 3.12: Ubicación Radioenlace G.A.D. M. Putumayo-Silvayaku	82
Figura 3.13: Perfil Topográfico entre PtP1 y PtP2	83
Figura 3.14: Despeje de la Primera Zona de Fresnel	84
Figura 3.15: Radio Mobile, Resultados PTP1 GadPutumayo - PTP2 Silvayaku	98
Figura 3.16: Detalles Radio Mobile GadPutumayo - PTP2 Silvayaku.....	100
Figura D.1: Inicialización de una nueva red	125
Figura D.2: Propiedades de la Red “Parámetros”	126
Figura D.3: Topología de Red	127
Figura D.4: Propiedades de Red “Sistemas”	128
Figura D.5: Propiedades de Red “Estilo”	129
Figura D.6: Propiedades del Mapa.....	130
Figura D.7: Coordenadas PTP1 GAD Putumayo	131
Figura D.8: Relieve Cantón Putumayo	132
Figura D.9: Propiedades de las Unidades	133
Figura D.10: Coordenadas de la Unidad “PTP1 GAD-Putumayo”	133
Figura D.11: Coordenadas de la Unidad “PTP2 Silvayaku”	134
Figura D.12: Ubicación de las Radio Bases.....	134
Figura D.13: Propiedades de la Red “Miembros” PTP1–PTP2.....	135
Figura D.14: Propiedades de la Red “Miembros” PTP2–PTP1.....	136
Figura D.15: Resultado Radio enlace PTP1-PTP2	137
Figura D.16: Detalles del Radio Enlace PTP1 –PTP2.....	138
Figura D.17: Rango del Radio Enlace PTP1 –PTP2.....	139
Figura D.18: Distribución estadística del margen de umbral	139
Figura E.1: Altitud de la Zona	141

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Redes Wi-Fi – 802.11	50
Tabla 3.2: Comparación redes FSO y Wi-Fi – 802.11ac.....	51
Tabla 3.3: Coordenadas GAD Putumayo.....	52

Tabla 3.4: Coordenadas Comunidad Silvayaku.....	53
Tabla 3.5: Requisitos de la red Inalámbrica.....	59
Tabla 3.6: Tipos de Tráficos y el Tiempo Generado por un Computador.....	63
Tabla 3.7: Resoluciones de Video YouTube	67
Tabla 3.8: Resoluciones de la tasa de bits de Video YouTube.....	67
Tabla 3.9: Velocidad de transmisión para la resolución de 480p	68
Tabla 3.10: Ancho de banda requerido por una persona	68
Tabla 3.11: Características códec G.729.....	69
Tabla 3.12: Protocolos y tamaño de paquetes.....	69
Tabla 3.13: Características códec H.264.....	70
Tabla 3.14: Número de usuarios y computadores en Silvayaku	74
Tabla 3.15: Crecimiento de usuarios en 5 y 9 años en comunidad Silvayaku.....	75
Tabla 3.16: Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha	76
Tabla 3.17: Especificaciones Técnicas Ubiquiti airFiber 5x	77
Tabla 3.18: Especificaciones Técnicas Radwin 2000 A.....	78
Tabla 3.19: Parámetros Equipos Punto a Punto.....	78
Tabla 3.20: Resultados Parámetros Equipos Inalámbricos.....	81
Tabla 3.21: Ubicación Radioenlace G.A.D. M. Putumayo-Silvayaku	82
Tabla 3.22: Ubicación y Elevación del G.A.D. M. Putumayo y Comunidad Silvayaku	82
Tabla 3.23: Datos obtenidos en Radio Mobile para PTP1	98
Tabla 3.24: Datos obtenidos en Radio Mobile para PTP2.....	99
Tabla 3.25: Datos Radio Enlace en Radio Mobile.....	99
Tabla 3.26: Comparación resultados teóricos con Programa Radio Mobile	100
Tabla 3.27: Comparación Técnica Equipos Inalámbricos	102
Tabla 3.28: Comparación Técnica Equipos Inalámbricos	103
Tabla 3.29: Comparación de equipos WIFI.....	104
Tabla A.1: Censo de Población y Vivienda 2010	117
Tabla A.2: Censo de Población y Vivienda 2001	117

Índice de Ecuaciones

Ecuación 2.1 Pérdida geométrica.....	28
Ecuación 2.2 Atenuación atmosférica.....	30
Ecuación 2.3 Dispersión Mie	31
Ecuación 2.4 Pérdidas en espacio libre (FSL)	43
Ecuación 2.5 Pérdidas en espacio libre (FSL) expresada en kilómetros	43
Ecuación 2.6 Atenuación por lluvia.....	44
Ecuación 2.7 Zonas de Fresnel	45
Ecuación 3.1 Velocidad de transmisión por voz – VoIP	69
Ecuación 3.2 Numero de tramas	72
Ecuación 3.3 Sobrecarga del fotograma	72
Ecuación 3.4 Datos transmitidos.....	72
Ecuación 3.5 Velocidad de transmisión videoconferencia	72
Ecuación 3.6 Crecimiento Poblacional	74
Ecuación 3.7 Velocidad de transmisión datos	76
Ecuación 3.8 Balance de potencia de un radio enlace	79
Ecuación 3.9 Pérdidas de propagación en espacio libre	80
Ecuación 3.10 Distancia entre dos puntos en coordenadas geográficas	83
Ecuación 3.11 Altura de despeje.....	85
Ecuación 3.12 Altura total de transmisión.....	85
Ecuación 3.13 Altura total de recepción	85
Ecuación 3.14 Protuberancia del terreno	85
Ecuación 3.15 Protuberancia del terreno desarrollada.....	86
Ecuación 3.16 Altura de despeje desarrollada	86
Ecuación 3.17 Primera zona de Fresnel desarrollada	87
Ecuación 3.18 Margen de despeje	87
Ecuación 3.19 Parámetro atenuación producida por obstáculo	88
Ecuación 3.20 Atenuación por difracción.....	88
Ecuación 3.21 Atenuación por difracción.....	88

Ecuación 3.22 Margen de desvanecimiento.....	91
Ecuación 3.23 Tiempo de indisponibilidad del sistema en un año	91
Ecuación 3.24 Confiabilidad del sistema.....	91
Ecuación 3.25 Potencia isotrópica efectiva irradiada	93
Ecuación 3.26 Potencia de entrada de la antena	93
Ecuación 3.27 Ganancia de la antena de transmisión	93
Ecuación 3.28 Nivel de voltaje recibido por el receptor, ley de Ohm.....	94
Ecuación 3.29 Nivel de voltaje recibido desarrollada	94
Ecuación 3.30 Nivel de voltaje recibido desarrollada	94
Ecuación 3.31 Intensidad de campo eléctrico.....	95
Ecuación 3.32 Ángulo de elevación.....	96
Ecuación 3.33 Ángulo de apuntamiento	96
Ecuación 3.34 Azimut 270°	97
Ecuación 3.35 Azimut 90°	97
Ecuación A.1 Tasa de crecimiento promedio anual.....	117

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL TEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente caso de estudio tiene por objeto el estudio y diseño de una red inalámbrica entre el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku para dotar de servicios de telecomunicaciones.

La provincia de Sucumbíos está situada en el extremo nororiental de Ecuador, línea de frontera entre los países vecinos de Colombia y Perú, limita al sur el cantón Cuyabeno, y al oeste el cantón Lago Agrio.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo, es una institución pública que busca el mejoramiento, ampliación y satisfacción de los servicios públicos de calidad, de manera paralela el mejoramiento de la administración en especial en la toma de decisiones con la participación de las comunidades esperando las necesidades y requerimientos para conseguir una mejor calidad de vida.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo presenta un déficit de enlace de redes de comunicaciones con la comunidad Silvayaku, porque no existen enlaces cableados, tampoco inalámbricos para la comunicación debido al difícil acceso a la zona rural por ser montañosa, pantanosa y selvática.

Para la solución de este problema se plantea el estudio y diseño de una red inalámbrica, se pone a consideración al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo y a la Comunidad Silvayaku para dotar de servicios de telecomunicaciones, que permita escoger el tipo de red que ofrezca las ventajas técnicas y económicas más beneficiosas para lograr la transmisión de datos, video y voz entre el GAD Municipal de Putumayo y la Comunidad de Silvayaku.

Es necesaria e importante la realización de la investigación propuesta, porque la conectividad cada día es mayor en nuestro país y hay más personas naturales y jurídicas, que tienen un enlace entre instituciones y comunidades. Dicha red, es de difícil acceso para su construcción, por la situación geográfica y la irregularidad del terreno, requiere de una solución con tecnología inalámbrica, para transmitir información entre dos puntos distantes.

La investigación del caso de estudio planteado es posible porque se tienen los recursos bibliográficos y materiales técnicos, así como también el impulso que tienen los sistemas con tecnologías inalámbricas y la política del gobierno ecuatoriano para el uso de sistemas tecnológicos, tanto a nivel público como privado.

Las redes inalámbricas con el estándar IEEE 802.11, conocido comúnmente como Wi-Fi, operan en el espectro de 2.4 GHz y 5 GHz sin necesidad de licencia y con velocidades dependiendo del estándar comercial requerido.

Además, el uso de redes FSO en reemplazo de redes de fibra óptica, tiene por objetivo el economizar gastos. La instalación de un sistema con tecnología óptica de espacio libre se compone de un láser de luz emitida por diodos emisores punto a punto a través del aire.

Los posibles resultados que se pueden obtener con el caso de estudio y diseño de una red inalámbrica para la consideración, aceptación y aplicación del GAD Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku para dotar de servicios de telecomunicaciones, son:

- Demostrar que las redes inalámbricas con el estándar IEEE 802.11, es una solución punto a punto para enlaces de larga distancia y para aplicaciones de bajo costo que no requieren mucho ancho de banda.

- Demostrar el uso de FSO como una infraestructura sencilla para conectar edificios sin la instalación de cables, operando en cortos alcances y altas frecuencias (THz).
- Demostrar con la investigación del tema que la solución de la implementación de una red inalámbrica en zonas rurales, es técnicamente viable y de bajo costo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El GAD Municipal de Putumayo tiene como finalidad realizar la interconexión con el infocentro de la comunidad Silvayaku, permitiendo el acceso a la tecnología para obtener información de los servicios disponibles en Internet, que permitan el acceso al conocimiento científico y a la interacción cultural.

La comunidad Silvayaku se encuentra en una zona rural amazónica de difícil acceso, a una distancia de 12,28 Km en línea recta de la sede del GAD Municipal de Putumayo. Cuentan con 10 computadoras, las cuales pueden ser usadas como un centro de información virtual consiguiendo beneficios académicos, económicos y sociales.

Existen zonas rurales como el Cantón Putumayo, Provincia de Sucumbíos, en donde las empresas de telecomunicaciones estatales, gubernamentales y privadas del Ecuador no se han interesado en mejorar los sistemas de comunicación por los altos costos de instalación, configuración y mantenimiento, porque han considerado que hay lenta recuperación de sus inversiones y utilidades.

En el mercado existen varios tipos de soluciones de conectividad, que tienen elevados costos de instalación y mantenimiento, como por ejemplo:

- Fibra óptica
- Satelital
- Ondas microondas

Por lo que las zonas rurales quedarían sujetas a las deplorables condiciones de tecnología en dichos sectores.

El uso de redes inalámbricas ha permitido que las empresas de comunicaciones accedan a enlaces sin necesidades de cables, utilizando ondas o luz para propagar la información. En la actualidad se intensifica el uso de redes inalámbricas con la finalidad de tener una comunicación estable, eficiente y económica para llegar a los lugares más lejanos e inaccesibles de nuestro planeta.

Las redes inalámbricas con el estándar 802.11 permite dar soluciones de conectividad siendo competitivas en el mercado tanto técnico como económico.

La tecnología óptica de espacio libre (*Free Space Optics, FSO*), se puede utilizar para establecer una solución de comunicación en zonas rurales remotas de corto alcance, utilizando equipos con tecnología láser.

Definitivamente las empresas estatales y privadas deben considerar la inversión en una solución de red inalámbrica IEEE 802.11 o redes con tecnología óptica de espacio libre (*Free Space Optics, FSO*), para dotar de servicios de telecomunicaciones entre el GAD Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku. La toma de esta decisión será favorable para el crecimiento del sector rural.

Las redes inalámbricas ofrecen satisfactoriamente similares características de conectividad que las redes de fibra óptica, satelital y microondas, como son entre otras:

- Movilidad del sistema
- Transmisión de datos: fast-Ethernet, Ethernet de 100Mb/s, gigabit-Ethernet, Ethernet de 1 Gb/s
- Instalación de bajo costo y en menor tiempo
- Ancho de banda superior a las microondas e igual al de fibra óptica

Las características anteriormente señaladas varían de acuerdo a la tecnología que la empresa decida aplicar.

La importancia de este proyecto radica en el estudio y diseño de una red inalámbrica para ofrecer una conectividad y comunicación entre el GAD Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku, teniendo en cuenta que estamos dando soluciones prácticas a las comunidades amazónicas.

1.3 ANTECEDENTES

Existe una gran variedad de sistemas de redes de conectividad con la finalidad de enlazar los diferentes dispositivos entre sitios cercanos y lejanos, como por ejemplo: WLL (*Wireless Local Loop*), *Broadband Wireless* (Wi-Fi, Wimax, LMDS, MMDS, FSO), Sistemas celulares, cable, Redes híbridas de fibra y cable (HFC), Fibra Óptica (FO), Comunicaciones en línea eléctrica (PLC), etc., pero cada sistema requiere características especiales, equipos sofisticados y personal cualificado que debe ser analizados para ser aplicados en zonas rurales.

Afortunadamente podemos encontrar sistemas de conectividad con características muy similares, menor tiempo de instalación y fácil manejo de los equipos, en las que las instituciones y las comunidades de zonas rurales pueden utilizar, como es el caso de las redes inalámbricas IEEE 802.11 y redes con tecnología óptica de espacio libre (*Free Space Optics, FSO*), las mismas que son de alta velocidad y fácil de implementar en la interconexión.

La tecnología de óptica de espacio libre, utiliza la longitud de onda de la banda de infrarrojo entre 850 y 1550 nm, correspondiente a frecuencias en el orden de los THz, no requieren de licencias de explotación conforme lo indica la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

La tecnología de óptica de espacio libre (FSO) tiene las siguientes características:

- Es un sistema punto a punto
- Utiliza dos transceptores a los dos lados para su transmisión
- Requiere línea de vista entre los dos lugares sin obstáculos sólidos (paredes o árboles)
- Usa luz para su comunicación

La tecnología de redes inalámbricas IEEE 802.11 es la solución óptima para estas zonas por su escalabilidad de ancho de banda, velocidad de despliegue, rentabilidad y movilidad.

Esta tecnología de redes inalámbricas IEEE 802.11 tiene las siguientes características:

- Es un sistema punto a punto
- Requiere línea de vista entre los dos lugares
- Ofrece una velocidad de 11 Mbps
- Opera en la banda de 2,4 GHz y 5 GHz

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el estudio y diseño de una red inalámbrica para que el GAD Municipal de Putumayo dote a la Comunidad Silvayaku de servicios de telecomunicaciones.

1.4.2 Objetivos Específicos

- 1.4.2.1** Realizar el estudio, recopilando información de los diferentes factores que intervienen; Describir las características técnicas y funcionamiento de las redes inalámbricas IEEE 802.11 y redes con tecnología óptica de espacio libre (*Free Space Optics, FSO*).
- 1.4.2.2** Analizar la infraestructura de red actual de la zona de estudio y determinar los requerimientos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku.
- 1.4.2.3** Seleccionar la tecnología más apropiada técnica y económicamente; Realizar el diseño de la red inalámbrica con dicha tecnología entre el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku para dotar de servicios de telecomunicaciones.
- 1.4.2.4** Seleccionar los equipos y determinar los costos referenciales de la tecnología seleccionada.

CAPÍTULO II

REDES INALÁMBRICAS

Una red inalámbrica es un término que se utiliza para la conexión de nodos sin necesidad de utilizar cables, ésta se da utilizando como medios de transmisión el aire o vacío.

En el presente capítulo analizaremos las redes inalámbricas con Tecnología Óptica de Espacio Libre (*Free Space Optics, FSO*) y el conjunto de estándares IEEE 802.11 (*Wireless Fidelity, Wi-Fi*).

2.1 REDES CON TECNOLOGÍA ÓPTICA DE ESPACIO LIBRE (*FREE SPACE OPTICS, FSO*)

2.1.1 Introducción

Dentro del presente capítulo se trataremos los diferentes conceptos que implica la Tecnología Óptica de Espacio Libre (*Free Space Optics, FSO*).

La Tecnología Óptica de Espacio Libre (*Free Space Optics, FSO*), es una tecnología nueva cuyos orígenes datan de aplicaciones militares satelitales desde el año 1940, y que fue desarrollada recientemente solo para usarse en redes del área metropolitana.

El propósito de esta tecnología es proveer una transmisión segura de voz y datos para las comunicaciones basadas en radio frecuencia.

2.1.1.1 Principio de Funcionamiento de la Tecnología Óptica de Espacio Libre

La tecnología óptica de espacio libre se compone de un transmisor y receptor que se colocan en ambos extremos, los cuales envían y reciben información mediante un haz de luz directivo, permitiendo una comunicación full dúplex y transportar

desde mensajes de Internet, vídeo y señales de radio. “Cuando se incorporan LEDs en sistemas FSO, El ancho de banda suele estar limitado a 155 Mbps. Si se utilizan fuentes láser, la velocidad puede ser mucho mayor. Los láseres modulados directamente operan hasta 2.5 Gbps, los cuales están comercialmente disponibles para su uso en sistemas FSO” [1]. En la figura 2.1 se observa el proceso de funcionamiento de FSO.

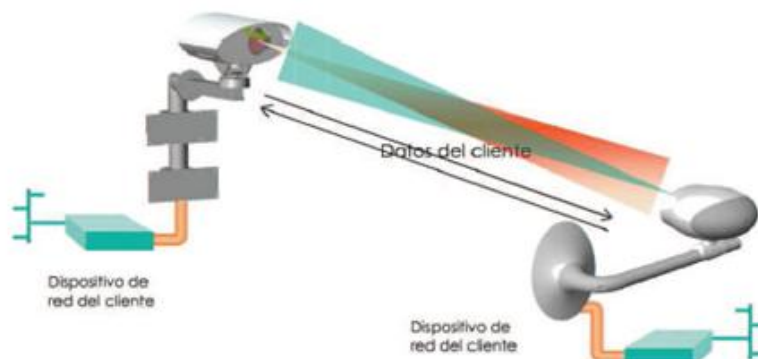


Figura 2.1: Tecnología FSO

Fuente: <http://www.slideshare.net/rivamara/optical-wireless-presentation>

2.1.1.2 Descripción de la Tecnología Óptica de Espacio Libre (*Free Space Optics, FSO*) [1]

“La tecnología óptica de espacio libre es un sistema básico de transmisión punto a punto; se compone de: transmisor, canal de transmisión y receptor” [1], como se indica en la figura 2.2.

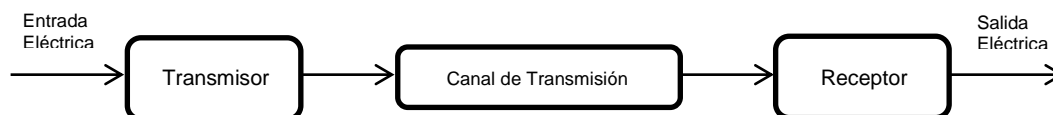


Figura 2.2: Descripción de la Tecnología FSO

Fuente: Lámsberg, 1983

2.1.1.2.1 Transmisor

“Los transmisores tienen como función principal convertir la señal eléctrica en una señal óptica, teniendo como componente más importante la fuente óptica. La tecnología óptica de espacio libre usa una gran variedad de fuentes de luz para la transmisión de datos ópticos basados en láseres semiconductores. Existen tres diferencias entre las fuentes de transmisión: la longitud de onda, la potencia y la velocidad de modulación” [1].

2.1.1.2.1.1 Fuentes LED

Son componentes semiconductores emisores de luz. “Debido a su potencia de transmisión relativamente baja, los LED se usan típicamente en aplicaciones en distancias más cortas con requisitos de ancho de banda moderados de centenas de Mbps. Dependiendo del sistema de materiales, los LED pueden operar en diferentes rangos de longitud de onda. Cuando se compara con fuentes de transmisión láser de banda estrecha (o de longitud de onda única), los LED tienen un rango espectral mucho más amplio de funcionamiento. Las ventajas de las fuentes LED incluyen su vida extremadamente larga y bajo costo” [1].

2.1.1.2.1.2 Fuentes Láser

Un láser (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación), presenta altas potencias de salida y un haz de luz direccional.

Un láser debe cumplir las siguientes condiciones:

- Capacidad de modulación hasta frecuencias por sobre los GHz.
- Coherencia espacial alta, para ser enfocado por lentes.
- Potencias ópticas de emisión por encima de los mW.

La vida media de un Láser es menor, al tener que trabajar en condiciones más extremas que un LED.

Aunque los diodos Láser tienen un ancho espectral estrecho (1 – 5 nm), éstos emiten múltiples longitudes de onda, por lo que este ancho espectral puede causar problemas de dispersión cuando se transmite a muy altas velocidades.

2.1.1.2.2 Receptor ^[1]

“Los receptores de luz detectan la luz utilizando diferentes fenómenos físicos. Al igual que las fuentes láser, la mayoría de los detectores utilizados en sistemas FSO comerciales son basados en semiconductores. Dependiendo del sistema de material específico, pueden operar en diferentes rangos de longitud de onda” ^[1].

Las principales características de los receptores son:

- Bajo consumo eléctrico
- Tamaño pequeño
- Alta eficiencia y rendimiento en la conversión opto-eléctrica
- Alta sensibilidad en la recepción de señales

La tecnología óptica de espacio libre utiliza fotodiodos semiconductores, los cuales son pequeños, rápidos y sensibles y proporcionan muchas longitudes de onda diferentes que son trascendentales para los sistemas FSO ^[1].

Los fotodiodos semiconductores convierte el flujo de los fotones incidentes en un flujo de electrones. Esta corriente es amplificada y procesada ^{[1], [20], [21]}. Existen dos tipos de fotodiodos usuales para recepción óptica ^{[20], [21]}:

- Fotodiodo PIN (Positivo – Intrínseco – Negativo) ^[1]
- Fotodiodo APD (Fotodiodo Avalancha) ^[1]

2.1.1.2.2.1 Diodo PIN

Es una estructura compuesta por tres capas, las externas “P” y “N”, y un intermedio semiconductor intrínseco “I” ^[3]. Figura 2.3.

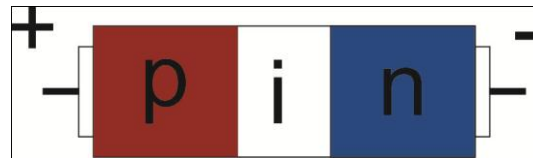


Figura 2.3: Diodo P I N

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solids/imgsol>

Un semiconductor tipo N tiene gran número de electrones libres y un semiconductor tipo P huecos dejados por electrones, al juntarse estos semiconductores generan una región neutral; al no haber un impulso no existe recombinación de portadores.

2.1.1.2.2 Fotodiodo Avalancha APD

Es una estructura conformada por elementos semiconductores “PIN”. El fotodiodo Avalancha es más sensible que el fotodiodo PIN y necesitan menos amplificación extra usada para distancias largas.

2.1.1.2.3 Funcionamiento de la Tecnología Óptica de Espacio Libre ^{[1], [4]}

La tecnología FSO emplea varios diseños tanto de lentes como de espejos. “Los lentes se basan en la física de la refracción de la luz y los espejos se basan en las propiedades de reflexión de los materiales. El diseño elegido a menudo depende de los requisitos de rendimiento para la aplicación específica y costos” ^[1].

“La tecnología de óptica de espacio libre opera en el espectro infrarrojo y utiliza longitudes de onda cercanas al espectro visible alrededor de 850 y 1550 nm, lo que corresponde a frecuencias del orden THz” ^[1].

Los transmisores que envían la señal modulada son colocados hacia los receptores de forma segura y confiable en los sitios dispuestos, transmitiendo haces laser infrarrojos. La velocidad de trasmisión es alrededor de 100Mbps y los 2.5 Gbps.

Las ondas en formato electrónico llegan al transmisor con la información, transformándose en señales ópticas.

La tecnología FSO tiene las siguientes características:

- No se requieren licencias para la tecnología FSO. FSO opera en el espectro no regulado ^[1].
- La tecnología FSO no emiten ni reciben interferencia electromagnética (*ElectroMagnetic Interference, EMI*) ^[1]. La interferencia eléctrica o electromagnética causa una respuesta, degradación o falla indeseables en equipos electrónicos ^[1].
- Un requisito principal para operar con la tecnología FSO es la línea de vista sin obstrucciones entre las dos ubicaciones de red; la tecnología FSO utiliza luz para comunicarse, y la luz no puede atravesar obstáculos sólidos como paredes o árboles ^[1].
- La tecnología FSO puede trabajar en full dúplex. Esto significa que la información puede ser recibida y transmitida en paralelo y al mismo tiempo ^[1]. Por lo tanto, cada cabecera de enlace FSO incluye típicamente un transceptor capaz de funcionar completamente en modo dúplex ^[1].

El transceptor óptico incluye:

- Un transmisor laser y un receptor fotodetector, para proveer capacidad full-dúplex (bidireccional).
- Una fuente laser, un lente transmisor y un lente receptor, que transmiten la luz a través de la atmosfera.
- Tanto el lente receptor como el lente transmisor, se conectan a una fibra receptora y transmisora respectivamente.

En la Figura 2.4 se grafica un ejemplo de un transceptor de tecnología FSO.

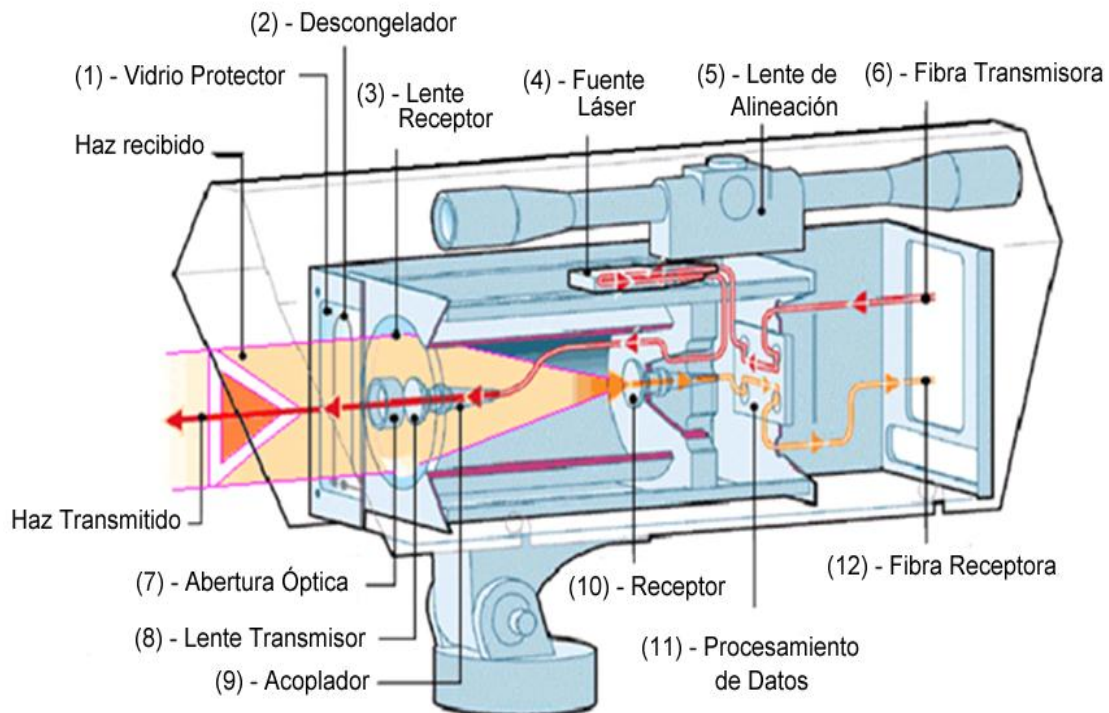


Figura 2.4: Transceptor FSO

Fuente:

http://web.archive.org/web/20090617091544/http://www.hqisec.army.mil/isec/publications/Analysis_of_Free_Space_Optics_as_a_Transmission_Technology_Mar05.pdf

2.1.1.2.4 Seguimiento y adquisición

El seguimiento y la adquisición para las comunicaciones con tecnología FSO, es un aspecto fundamental ^[1]. Los dos terminales, transmisor y receptor deben estar alineados de forma precisa para que el haz de luz este direccionado correctamente ^[1]. Un ligero desacoplamiento del haz luz puede provocar una interrupción completa del enlace de comunicación ^{[1], [24]}.

Para solucionar la alineación del haz de luz existen métodos que son:

- Sistemas de Autorastreo.
- Espejos direccionados.
- Detectores Quad y Gimbals.

2.1.1.3 Disponibilidad del Enlace

La disponibilidad del enlace debe ser menor entre los equipos en donde las fallas pueden producirse por variaciones climáticas como lluvia o niebla, cintilación o el corte de la línea de vista.

2.1.1.3.1 Pérdida Óptica

“Los factores que influyen la pérdida óptica en la tecnología FSO, es debido a lentes imperfectos y otros elementos ópticos como los acopladores. La cantidad de pérdida depende de las características del equipo y la calidad de las lentes. Sin embargo, en la tecnología FSO, pueden encontrarse otras fuentes de pérdida en el canal de comunicación. Estos incluyen pérdida geométrica, pérdida de apuntamiento y pérdida atmosférica” [1].

2.1.1.3.2 Pérdida Geométrica

“Son pérdidas que se producen por la divergencia del láser, la distancia entre el emisor y receptor, así como también el área de la atenuación está dada en función de la divergencia del láser” [1]. Figura 2.5.

La pérdida geométrica se describe de acuerdo a la ecuación 2.1 [1]:

$$At_{GEO} = \frac{S_d}{S_{RECEPTOR}} = \frac{\frac{\pi}{4}(d \cdot \theta)^2}{S_{RECEPTOR}} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

- θ : Divergencia del haz (miliradianes = mrad)
- $S_{RECEPTOR}$: Área del receptor (metros cuadrados = m²)
- d : Distancia del haz (metros = m)
- S_d : Área del haz a una distancia (d)

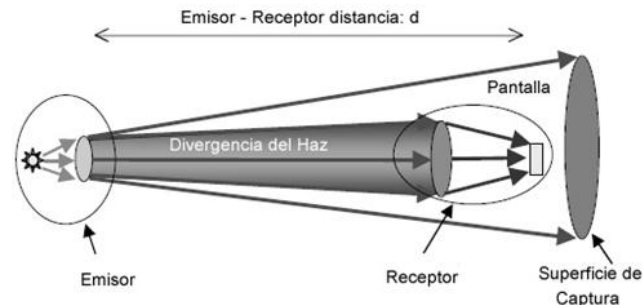


Figura 2.5: Pérdida Geométrica
 Fuente: Ph.D. WILLEBRAND Heinz, BACKSHEESH S. Ghuman, (2002)

2.1.1.3.2.1 Divergencia del Láser

“En la tecnología FSO el haz diverge por una cierta cantidad sobre la trayectoria desde el transmisor al receptor” ^[1]. Existen sistemas que realizan el seguimiento para disminuir la divergencia y los que no usan los sistemas de rastreo, la divergencia del haz se diseña de modo que cuando el haz oscila, una parte de ella siempre golpeará el receptor, y el enlace se mantendrá ^[1]. Figura 2.6.

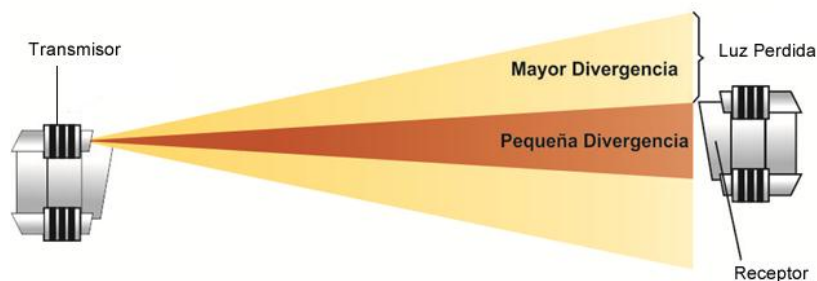


Figura 2.6: Divergencia del Laser
 Fuente: Nogueira D., (2007).

2.1.1.3.3 Pérdida Atmosférica

La pérdida atmosférica aparece por los efectos de:

- La absorción
- Dispersión (Mie)
- Cintilación de la luz infrarroja por moléculas de gas y aerosol presentes en la atmosfera

2.1.2 Causas que influyen en el medio ambiente de los enlaces FSO

“La atmósfera provoca la degradación y atenuación de la señal en un enlace con tecnología FSO, provocando el desvanecimiento del canal, los cuales dependen de las condiciones locales actuales y del tiempo” [1].

2.1.2.1 Atenuación Atmosférica

La atenuación atmosférica es producto de los efectos de la absorción y la dispersión de la luz infrarroja por moléculas de gas y aerosol presentes en la atmosfera. Se describe mediante la ley de Beer-Lambert [1]:

$$\frac{P_R}{P_O} = \tau(R) = e^{-\gamma R} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

P_R : Potencia detectada

P_O : Potencia inicial

$\tau(R)$: Transmisión de la radiación en la atmósfera en función de la distancia R

γ : Coeficiente de atenuación

2.1.2.1.1 Absorción Atmosférica

La señal puede atenuarse dependiendo de la cantidad de variedades absorbentes, provocadas por:

- Absorción por aerosol, se define como una partícula sólida o líquida, disuelta en la atmosfera terrestre, arrastrados por el viento, el humo, las esporas, etc. [6].
- Absorción molecular que son provocadas por gases dispersos en el aire, los cuales absorben ciertas bandas de frecuencia, también denominadas ventanas atmosféricas.

- En la zona de Infrarrojo, se encuentran moléculas de oxígeno, nitrógeno y grandes cantidades de vapor de agua, los cuales dispersan o absorben los fotones infrarrojos que se propagan en la atmósfera [1].

2.1.2.1.2 Dispersión Atmosférica

Dispersión atmosférica es una redirección de la luz causada por pequeñas partículas dispersas en el aire, que pueden llevar a una reducción significativa de la intensidad de la luz recibida en el receptor.

Existen varios tipos de dispersión, dependiendo del tamaño característico de las partículas, la luz viaja a su destino, estos son: dispersión de Rayleigh y dispersión de Mie [1].

2.1.2.1.2.1 Dispersión de Rayleigh

La dispersión de Rayleigh es generada por la radiación que incide en las moléculas en el aire, produciendo un desequilibrio de carga que oscila sobre la frecuencia de la radiación incidente.

2.1.2.1.2.2 Dispersión de Mie

La dispersión de Mie se produce cuando los diámetros de las partículas a las que alcanza la luz son iguales o mayores a la longitud de onda. Es decir las principales causas de dispersión de Mie son: partículas cerca de la longitud de onda infrarroja, niebla, neblina y la contaminación especialmente por aerosoles [1].

$$\delta = \beta_n = \frac{3,91}{V_{(km)}} \left(\frac{\lambda_{(nm)}}{550} \right)^{-q} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

- λ_{nm} : Longitud de onda de la transmisión
 V : Visibilidad
 q : Coeficiente de atenuación

2.1.3 Línea de Vista

La tecnología de espacio libre requiere línea de vista, es decir que entre los equipos tanto emisor como receptor puedan verse entre sí, para que exista una comunicación. Para esta tecnología no se requiere tomar en cuenta las consideraciones de la zona de Fresnel.

2.1.3.1 Determinación de la Línea de Vista

La forma más fácil de averiguar si existe línea de vista entre dos puntos distantes es la observación visual. Para distancia superiores a un Kilómetro se requiere el uso de mapas e instrumentos ópticos

2.1.4 Condiciones climáticas

La tecnología de espacio libre tiene como limitante el clima, pues es vulnerable a ciertas condiciones climáticas como: lluvia, niebla, neblina, etc. ^[1].

2.1.4.1 Lluvia

Las gotas de lluvia tienen un radio de 200 – 2000 μm , por tal razón la lluvia es menos importante que la niebla, es decir el radio de las gotas de lluvia es mayor que la longitud de onda del haz de luz emitida en la tecnología FSO ^[1].

2.1.4.2 Nieve

“Son cristales de hielo que vienen en una variedad de formas y tamaños. Los copos de nieve son más grandes que las gotas de lluvia, por lo que la dispersión no es un problema para la tecnología FSO” ^[1].

2.1.4.3 Niebla

La niebla se compone de pequeñas gotas de agua, producto de la condensación del vapor de agua atmosférico ^[1]. Este fenómeno atmosférico afecta a la tecnología FSO, el radio de cada gota de agua es aproximadamente el tamaño de la longitud de onda del infrarrojo ^[1].

2.1.5 Turbulencia

Además de los fenómenos ópticos expuestos, existe turbulencia atmosférica, que son bolsas de aire generados en la atmosfera debido a que el calor es transferido al aire por estructuras como paredes, edificios, etc. La transferencia de energía provoca la formación de bolsas de aire caliente que pueden influir en la propagación de haces de luz en el espacio libre, teniendo en cuenta que tienen diferentes valores de temperatura, humedad y presión, que causan variaciones en el índice de refracción del aire, provocando errores en el espacio de transmisión libre.

La teoría de la turbulencia de Kolmogorov es uno de los modelos que caracterizan la turbulencia atmosférica. Esta teoría considera que en la atmósfera se forma un fluido viscoso que tiene dos estados de movimiento: laminar y turbulento. La distinción entre estos estados es, de hecho, que no se produce en la mezcla de flujo laminar, las características de velocidad son uniformes. En el flujo turbulento, la velocidad no mantiene sus características uniformes, debido a la dinámica de flujo de la mezcla que genera corrientes parciales aleatorias, conocidas como remolinos.

La turbulencia atmosférica causa dos efectos en el haz óptico de la tecnología de óptica de espacio libre:

- Desviación del haz de luz
- Fluctuaciones en la intensidad de haz (centelleo o parpadeo)

2.1.5.1 Desviación del Haz

La desviación del haz de luz es causada por células de aire turbulentas con dimensiones superiores al diámetro del haz óptico. Estas células actúan como lentes, que reflejan aleatoriamente el haz de luz, mas no altera significativamente

su diámetro. En otras palabras, se produce una desviación del punto focal del haz.

Dado que la formación de bolsas de aire son pequeñas y ocurren rápidamente, este es un efecto que no influye tanto como los efectos de centelleo.

2.1.5.2 Centelleo

El centelleo es uno de los principales efectos causados por la interacción de los haces de luz con las masas de aire turbulento. Las dimensiones de las células turbulentas son pequeñas con relación al diámetro del haz de luz (10 cm – 1 km). La señal es sometida a fluctuaciones, los cuales son influenciados por los cambios inducidos térmicamente en el índice de refracción del aire. En turbulencias fuertes, se requiere utilizar fuentes de haces de luz de mayor potencia.

2.2 REDES INALÁMBRICAS Wi-Fi

2.2.1 Introducción

El estándar 802.11 fue desarrollado por el Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos IEEE. El cual define el protocolo y el equipo necesario para realizar una comunicación inalámbrica, en una red de área local (LAN).

El protocolo IEEE 802.11 incluye:

- Autenticación,
- Prestación de servicios,
- Encriptación de datos, y
- Reducción del consumo de energía en estaciones móviles.

El conjunto de estándares IEEE 802.11 se le conoce con el nombre comercial Wi-Fi (*Wireless Fidelity*).

El estándar IEEE 802, define el uso de dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (*Open Systems Interconnection, OSI*): la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC). Especifica normas de funcionamiento para soportar redes inalámbricas en un área local (WLAN). Además el estándar IEEE 802.11, usa la misma subcapa de control de enlace lógico LLC de la familia 802 (*Logical Link Control, LLC*), con la finalidad de establecer una comunicación entre redes inalámbricas y alámbricas ^[25].

Aplicando la técnica de acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access Protocol with Collision Avoidance, CSMA/CA*), protocolo que evita colisiones en redes inalámbricas en lugar de detectarlas.

Técnicas de transmisión de las subcapas físicas:

- Espectro ensanchado por salto de frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*).
- Espectro expandido por secuencia directa (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*).
- Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiple, OFDM*).

2.2.2 Clasificación de los estándares más comerciales 802.11

A continuación se analizan con más detalle las especificaciones más usadas hasta actualidad. Figura 2.7.



Figura 2.7: Estándar IEEE 802.11. (*Wireless Fidelity, Wi-Fi*)
Fuente: <http://es.slideshare.net/tommy3235/curso-telecom-iii-2013-wifi>

2.2.2.1 802.11 a

Estándar aprobado por el IEEE en julio de 1999. El mismo que funciona en la banda de 5 GHz denominada UNII (*Infraestructura de Información Nacional sin Licencia*) y utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Divison Multiplexing*), técnica de modulación que permite una tasa máxima de velocidad de transmisión de 54 Mbps nominales, minimiza las interferencias y aumenta el número de canales sin solapamiento. Cuenta con 12 canales no solapados, 8 para redes inalámbricas y 4 para conexiones punto a punto ^{[7], [8], [26]}.

2.2.2.2 802.11 b

Estándar aprobado por IEEE en el año 1999. Ofrece una velocidad teórica máxima de 11Mbps, trabaja con un ancho de banda de canal de 25Mhz y utiliza el método de acceso CSMA/CA. Opera en la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2.4Ghz, la cual no necesita licencia y usa la técnica de modulación DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum, Secuencia Directa de Espectro Ensanchado*), permitiendo una selección adaptiva en la tasa de transmisión, razón por la cual, disminuye automáticamente su tasa de transmisión cuando el receptor empieza a detectar una degradación de la señal ^{[7], [8], [26]}.

2.2.2.3 802.11 g

Estándar aprobado por el IEEE en el año 2003. Ofrece una velocidad teórica máxima de 54Mbps en la banda de 2.4Ghz. Aplica la técnica de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Divison Multiplexing*) del estándar 802.11a y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum, Secuencia Directa de Espectro Ensanchado*). El estándar 802.11g reemplazó al estándar 802.11b en las redes inalámbricas por ser compatibles y además usan las mismas frecuencias ^{[7], [8], [26]}.

2.2.2.4 802.11 n

Estándar aprobado por el IEEE en el año 2009. Ofrece velocidades de transferencia de datos de hasta los 600 Mbps, mediante la técnica de multiplexación por división de frecuencia (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*). Opera en la banda de 2,4 GHz al igual que 802.11b y 802.11g; y también en la banda de 5GHz como 802.11a, garantizando una completa compatibilidad. El estándar 802.11n hace uso de la tecnología MIMO (*Multiple Input/Multiple Output*), múltiples-entradas múltiples salidas. MIMO implica utilizar varios transmisores y múltiples receptores para aumentar la tasa de transferencia y el alcance ^{[7], [8], [26]}.

2.2.2.5 802.11 ac

Estándar aprobado por el IEEE en el año 2014. Ofrece velocidades de transferencia de datos de hasta los 1300 Mbps. Opera en la banda de 5 GHz al igual que 802.11a y 802.11n. Simultáneamente es capaz de usar la banda de 5GHz y 2.4GHz, a la vez, según se requiera. El estándar 802.11ac hace uso de la tecnología MU-MIMO (*Multiple User-Multiple Input and Multiple Output*), para crear grupos de dispositivos y comunicar con todos ellos con el máximo ancho de banda disponible. Además usa la técnica de Beamforming, la cual dirige la señal Wi-Fi directamente al lugar donde se encuentran los dispositivos conectados ^{[27], [28]}.

2.2.3 Arquitectura 802.11

El estándar 802.11 usa la misma estructura que el modelo 802. Está compuesto por la subcapa MAC y la capa física, como se indica en la figura 2.8.



Figura 2.8: Arquitectura OSI. IEEE 802.11
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

2.2.3.1 Capa Física

La capa física (*Physical layer, PHY*), es la encargada de llevar a cabo las funciones de detección de portadora, transmisión y recepción de bits de información.

Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes; de la velocidad de transmisión, si esta es uni o bidireccional (*simplex, duplex o full-duplex*). También de aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas. Como resumen de los cometidos de esta capa, podemos decir que se encarga de transformar un paquete de información binaria ("*Frame - trama*") en una sucesión de impulsos adecuados al medio físico utilizado en la transmisión ^[29].

Se divide en dos subcapas que interactúan con el medio inalámbrico:

- Procedimiento de convergencia de capa física (*Physical Layer Convergente Procedure, PLCP*)
- Dependiente del medio físico (*Physical Medium Dependent, PMD*)

2.2.3.1.1 Técnicas de Transmisión de las Subcapas Físicas

2.2.3.1.1.1 Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS)

El espectro ensanchado por salto de frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*), para una frecuencia que está cambiando constantemente durante un intervalo de tiempo (< 400ms) se transmite una parte de la información y con un código específico. El receptor deberá conocer este código para rastrear la frecuencia de la portadora.

2.2.3.1.1.2 Espectro de Extensión de Secuencia Directa (DSSS)

Espectro de extensión de secuencia directa (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*), utiliza la técnica de codificación deseudoruido, el cual modula digitalmente la portadora, con la finalidad de aumentar el ancho de banda de la transmisión y reducir la potencia en cualquier frecuencia dada. Este método es muy eficiente ya que puede decodificar señales muy débiles autorizando a varias estaciones el uso del espectro simultáneamente.

2.2.3.1.1.3 Multiplexación por División en Frecuencias Ortogonales (OFDM)

Multiplexado por división en frecuencias ortogonales (*Orthogonal Frequency Divison Multiplexing, OFDM*), es una técnica de modulación digital, en el cual cada señal se separa en varios canales de ancho de banda muy reducido a diferentes frecuencias, para minimizar la interferencia de frecuencia entre canales cercanos uno al otro.

2.2.3.2 Capa de Enlace de Datos

La capa de enlace de datos (*Data Link Layer*), se enfoca en los algoritmos para lograr una comunicación confiable y eficiente de unidades completas de información llamadas tramas (en vez de bits individuales, como en la capa física) entre dos máquinas adyacentes ^[9].

La capa de enlace de datos toma los paquetes que obtiene de la capa de red y los encapsula en tramas para transmitirlos. Cada trama contiene un encabezado, un campo de carga útil (*payload*) para almacenar el paquete y un terminador, como se muestra en la figura 3-1. El manejo de las tramas es la tarea más importante de la capa de enlace de datos ^[9].

La capa de enlace de datos se divide en:

- Subcapa de control de enlace lógico (*Logical Link Control, LLC*).
- Subcapa de control de acceso al medio (*Medium Access Control, MAC*).

2.2.3.2.1 Subcapa LLC - Control de enlace lógico

La subcapa LLC - control lógico de enlace (*Logical Link Control*), define la forma en que los datos son transferidos sobre el medio físico, proporcionando servicio a las capas superiores ^[29].

La capa LLC trabaja en conjunto con la capa física para establecer y mantener conexiones fiables. Está encargada de agrupar los bits provenientes del nivel físico en tramas de datos libres de errores.

2.2.3.2.2 Subcapa MAC - Control de acceso al medio

La subcapa MAC - control de acceso al medio (*Medium Access Control, MAC*), ordena y orienta la forma como se asignan los canales para transmitir; además actúa como controladora del hardware subyacente (el adaptador de red). De hecho el controlador de la tarjeta de red es denominado a veces "MAC driver", y la dirección física contenida en el hardware de la tarjeta es conocida como dirección MAC (*MAC address H12.4*) ^[29].

La capa MAC encargada del control al acceso físico se encarga de detectar un tiempo de silencio y optar por transmitir. Después de que el host determina que el medio ha estado sin transmisiones tras un periodo mínimo de tiempo opta por

transmitir su paquete. Si el medio se encuentra ocupado, el host deberá esperar. Esta capa también es responsable de identificar el origen y el destino del paquete.

2.2.3.2.2.1 Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisiones (CSMA/CA)

Acceso Múltiple por Detección de Portadora y Prevención de Colisión (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA*), protocolo de control de redes inalámbricas para evitar colisiones entre los paquetes de datos en lugar de detectarlos.

2.2.3.2.2.2 Acuse de recibido (ACK)

Acuse de recibido (*Acknowledgement, ACK*), es un mensaje que se envía al equipo de origen confirmando la recepción del mismo.

2.2.3.2.2.3 Fragmentación

“La función de fragmentación permite que una estación divida los paquetes de datos en tramas más pequeñas, para evitar la necesidad de retransmitir tramas grandes en un ambiente de interferencias de radiofrecuencia. Los bits erróneos ocasionados por las interferencias es más probable que afecten a una simple trama y disminuimos la carga si sólo retransmitimos tramas pequeñas. Como en el caso de RTS/CTS, los usuarios normalmente pueden establecer un umbral de tamaño de trama máximo para que el adaptador active la fragmentación. El tamaño de la trama es mayor que el umbral fijado, el adaptador lo divide en múltiples tramas adaptadas a ese tamaño”^[30].

2.2.3.2.2.4 Confidencialidad - WEP

“La subcapa MAC usa La confidencialidad con la técnica de Privacidad Equivalente a la Cableada (*Wired Equivalent Privac, WEP*), que se puede habilitar en 64,128 ó 156 bits, además es opcional en el estándar 802.11. Cuando tenemos WEP activo, el adaptador de red va a cifrar el cuerpo, no la cabecera, de

cada trama antes de transmitirla. Para cifrar utiliza la clave común, la misma que tiene que utilizar el receptor para descifrarla” [30].

2.2.4 Radio Frecuencia [9], [31]

“La radio frecuencia (RF) se refiere a la gama de frecuencias de 3KHz a 300 GHz. las ondas de radio frecuencia tienen varios usos en redes de comunicación inalámbricas, fija y móvil, radio fusión, radar, sistemas de navegación, comunicación satelital, redes informáticas e innumerables otras aplicaciones” [10]. Se debe tomar en cuenta que diferentes frecuencias de ondas de radio tienen diferentes características de propagación en la atmósfera de la Tierra [10].

La mayoría de las comunicaciones de redes inalámbricas trabajan en la banda de 2,4 GHz comprendido en un rango de 2,402 a 2,483 GHz y la banda de 5 GHz, en un rango de 5,150 a 5,825 GHz.

Causas para la interferencia de Radio Frecuencia [11]:

- Reflexión: “Se produce cuando una onda es incidente sobre una superficie plana con grandes radios de curvatura en comparación con la longitud de onda. La cantidad de la reflexión depende de las propiedades del obstáculo” [10].
- Refracción: “La refracción de la señal implica un cambio en la dirección de la onda a medida que pasa por el obstáculo. Refracción o flexión de la trayectoria de la señal de radio frecuencia es acompañada de un cambio en la velocidad y longitud de onda de cada onda” [10].
- Absorción y Dispersión: “Las ondas de radio que se propagan a través de la atmósfera se atenúan debido a la absorción de potencia y dispersión por partículas encontradas a lo largo de la trayectoria de propagación en la atmósfera. Tanto los efectos de absorción como de dispersión son especialmente frecuentes en frecuencias superiores a 11GHz, y se ven

afectados principalmente por las dimensiones de las partículas y sus propiedades eléctricas. La pérdida de dispersión suele ser pequeña en comparación con la pérdida de absorción. La atenuación debida a las gotas de lluvia depende de la frecuencia y de la intensidad de la lluvia o de la tasa de lluvia” [10].

- Difracción: “Es la capacidad de la onda de radio para girar esquinas agudas y doblar alrededor del obstáculo, que es el resultado del principio de Huygens. La onda de radio de baja frecuencia cuya longitud de onda es más larga que el tamaño máximo de un obstáculo puede propagarse fácilmente alrededor de la obstrucción. Cuando una onda afecta a un obstáculo de dimensiones pequeñas en comparación con la longitud de onda, se reflejará en varias direcciones” [10].

2.2.5 Pérdidas en espacio libre (FSL)

Es la disminución de potencia de la señal por la dispersión del frente de onda. A medida que se aleja del transmisor disminuye la potencia de la señal sobre un frente de onda, por lo que la densidad de potencia disminuye. La fórmula para la pérdida de espacio libre usando decibelios (dB) [12], [32], es:

$$FSL(dB) = 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f + k \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

d : Distancia entre los puntos

f : Frecuencia genérica

k : Constante, se aplica de acuerdo a las unidades expresadas en la fórmula

La pérdida de espacio libre expresada en dB, la distancia d en kilómetros y la frecuencia f en GHz, la fórmula es [12], [32].

$$FSL(dB) = 20 \log_{10} d_{(Km)} + 20 \log_{10} f_{(MHz)} + 92.4 \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

2.2.6 Atenuación por lluvia

“Las ondas de radio que se propagan a través de la atmósfera se atenúan debido a la absorción de potencia y dispersión por partículas encontradas a lo largo de la trayectoria de propagación en la atmósfera. La atenuación debida a las gotas de lluvia depende de la frecuencia y de la intensidad de la lluvia” [10], la cual se expresa mediante la ley exponencial [13], [14].

$$Y_R = kR_\alpha \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

Donde:

k y α : Son constantes que dependen de la frecuencia y de la polarización de la onda electromagnética

R: Intensidad de la lluvia (mm/h)

2.2.7 Zonas de Fresnel:

“La zona de Fresnel simplemente mira una línea de A a B, y luego en el espacio alrededor de esa línea que contribuye a lo que está llegando al punto B. Algunas ondas viajan directamente de A a B, mientras que otras viajan en caminos fuera del eje y alcanzan el receptor por reflexión. Por consiguiente, su recorrido es más largo, introduciendo un desplazamiento de fase entre el haz directo e indirecto. Siempre que el cambio de fase sea de media longitud de onda, se obtiene interferencia destructiva, las señales se anulan. Cuando la trayectoria reflejada es menos que la mitad de una longitud de onda más larga que la trayectoria directa, las reflejadas se agregarán a la señal recibida. Por el contrario, cuando la longitud de la trayectoria reflejada excede la trayectoria directa por más de una media longitud de onda, su contribución disminuirá a la potencia recibida” [11], [12].

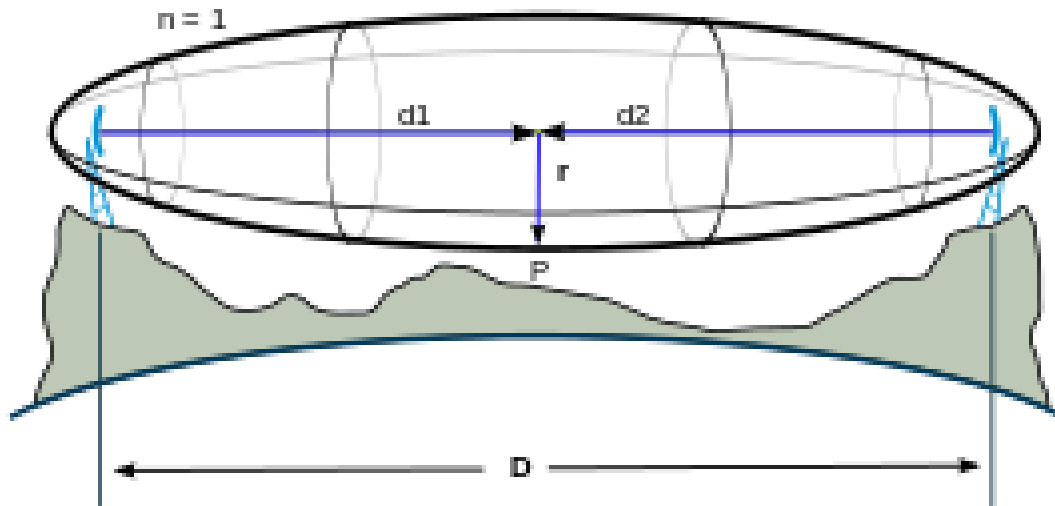


Figura 2.9: Zona de Fresnel
 Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

La zona de Fresnel se describe de acuerdo a la ecuación 2.7 [11]:

$$r = 17,31 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * D}} \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

Dónde:

- r : Es el radio de la zona en Km
- $d1$: Distancia desde el obstáculo hasta el punto extremo del enlace en Km
- $d2$: Distancia desde el obstáculo hasta el punto extremo del enlace en Km
- f : Frecuencia en GHz
- D : Distancia total del enlace en Km

“Existen varias zonas de Fresnel posibles, para realizar el estudio se requiere de la primera zona, porque las contribuciones de la segunda zona son negativas, de la tercera zona vuelven a ser positivas, pero no hay manera práctica de aprovechar las que no tienen la penalización de pasar por la segunda zona de Fresnel. Por lo tanto, si la primera zona de Fresnel está parcialmente bloqueada

por una obstrucción: un árbol o un edificio, la señal que llega al extremo más distante sería disminuida. En la construcción de enlaces inalámbricos la primera zona debe estar libre de obstrucciones aproximadamente al 60%” [12], como se observa en la figura 2.9:

2.2.8 Línea de vista

“Línea de vista (*line of Sight, LOS*), es uno de los requisitos para construir enlaces inalámbricos de larga distancia, ya que no debe existir obstáculos como árboles, montañas, paredes, etc.” [12].

Además sin línea de vista (*Non Line of Sight, NLOS*), se utiliza para describir y anunciar tecnologías que permiten hacer frente a las ondas que llegan al receptor a través de múltiples trayectorias (multitrayecto) o difracción [12].

2.2.9 Multitrayectoria

Al transmitir la energía de radio frecuencia, se esparce y parte de esta energía llega directamente a la antena receptora, mientras que otras rebotan en el suelo. La energía que rebota en el suelo también llega a la antena receptora, tomando en cuenta que la señal llegará con diferencia de tiempo, caso que no ocurre con la señal directa [12], [13].

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA ENTRE EL GAD MUNICIPAL DE PUTUMAYO Y LA COMUNIDAD DE SILVAYAKU

En el presente capítulo realizaremos un análisis comparativo de las redes inalámbricas IEEE 802.11 y redes con tecnología óptica de espacio libre, así como también la situación actual de la red entre el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo y la Comunidad Silvayaku, con la finalidad de seleccionar la tecnología para presentar el diseño entre los nodos.

3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO

3.1.1 Redes FSO ^{[34], [35], [36]}

A continuación realizaremos un análisis comparativo de algunos de los productos que ofrecen los fabricantes, basados en los principales parámetros de operación relacionados con los sistemas de redes FSO.

- La longitud de onda se encuentra entre 800 y 1550nm, es compatible con varios de los sistemas ópticos disponibles en el mercado.
- El rango operacional en distancia varía desde los 50 m hasta los 700 m.
- La velocidad de datos oscila entre 1.5Mbps hasta 1.25Gbps, llegando inclusive hasta 10 Gbps, para aplicaciones más comunes y dependiendo del fabricante.
- La potencia del láser, va desde 100mW hasta 640mW, depende del rango operacional que se desea alcanzar.
- Los interfaces se pueden encontrar dependiendo de las necesidades y usos como son: fibra óptica con conectores duplex-SC para mono-modo o multi-modo, Ethernet y RJ-45 para administración y con interfaces RS-232 y DB9 para el usuario terminal.

- Los protocolos tienen una independencia, entre ellos: ATM, SONET, SDH, IP, Ethernet, Giga Ethernet, G.703.
- La redundancia se proporciona en los enlaces, aplicando en la gran variedad de sistemas y configuraciones. Diferentes fabricantes optan por desarrollar: enlaces que cuenten con tres transmisores y un receptor, enlaces con cuatro transmisores y cuatro receptores, enlaces de radio frecuencia como respaldo. Son técnicas para garantizar la disponibilidad del enlace, ayudan a corregir o mitigar el efecto de los fenómenos atmosféricos.

3.1.1.1 Ventajas de FSO

- Fácil instalación.
- Licencia libre de operación.
- Altas tasas de bits.
- Bajas tasas de error a nivel de bits.
- Inmunidad a las interferencias electromagnéticas.
- Operación de dúplex completo.
- Protocolo transparente.
- Muy seguro debido a la alta direccionalidad y bajo espesor del rayo.
- No se necesita de una zona de Fresnel.

3.1.1.2 Desventajas de FSO

En aplicaciones terrestres, los principales factores que limitan la comunicación son:

- Dispersión:
 - Dispersión de Rayleigh.
 - Esparcimiento de Mie.
- Absorción atmosférica.

- Fenómenos meteorológicos:
 - Lluvia.
 - Nieve.
 - Niebla.
- Turbulencias y fuentes de calor.
- Centelleo.
- Luces de fondo.
- Sombra.
- Puntos de estabilidad del viento.
- Polución / smog.
- Si el sol esta exactamente detrás del transmisor, puede bloquear la señal.

3.1.2 Redes Wi-Fi ^{[34], [35], [36]}

A continuación realizamos un análisis comparativo en base a las redes 802.11:

- Las redes Wi-Fi ofrecen conexiones Ethernet rápidas, transmitiendo la información digitalmente a través de una señal de radio bidireccional.
- Los usuarios pueden estar en contacto en forma inalámbrica.
- Wi-Fi opera a 5 GHz y ofrece velocidades de conexión de hasta 1.3 Gbps, en los estándares n y ac.

3.1.2.1 Ventajas de las redes Wi-Fi

- El precio de esta tecnología es muy competitiva en el mercado por su bajo costo.
- El uso de las redes 802.11 es usada para distancias de corto y largo alcance.
- Por su bajo costo y largo alcance mantiene un dominio en el mercado.
- Es una tecnología de bajo consumo de potencia.

3.1.2.2 Desventajas de las redes Wi-Fi

- No ofrece QoS.
- En largas distancia no mantienen el rendimiento (*throughput*) estable.
- En los enlaces de largas distancia la MAC presenta limitaciones.

Estándar / Protocolo	Aprobado	Frecuencia	Ancho de Banda	Modulación	Velocidades de Transmisión	Flujos MIMO	Alcance aproximado en interiores	Alcance aproximado en exteriores
		(GHz)	(MHz)		(Mbit/s)		(m)	(m)
802.11	jun-97	2.4	20	DSSS, FHSS	1, 2	1	20	100
A	sep-99	5	20	OFDM	6,9,12, 18, 24, 36, 48, 54	1	35	120
B	sep-99	2.4	20	DSSS	1, 2, 5.5, 11	1	35	140
G	jun-03	2.4	20	DSSS, OFDM	6,9,12, 18, 24, 36, 48, 54	1	38	140
N	oct-09	2.4/5	20	OFDM	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	4	70	250
			40		15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 600			
Ac	ene-14	5	20	OFDM	Hasta 87.6	8	100	≈+ 1000, 24000
			40		Hasta 200			
			80		Hasta 433.3			
			160		866.7 / 1300			

Tabla 3.1: Redes Wi-Fi – 802.11

Fuente: <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11ac-2013.html>

De acuerdo al análisis de la tabla 3.1 sobre las redes comerciales Wi-Fi, para nuestro estudio usaremos el estándar 802.11ac, por ser una tecnología de vanguardia, con un mayor ancho de banda, capacidad para funcionar en la banda de 5 GHz menos congestionada, velocidades de transmisión de hasta 1300 Mbps y mayor cobertura de la señal.

3.1.3 Cuadro comparativo de redes FSO y Wi-Fi

En la tabla 3.2, se detallan las características de las redes inalámbricas FSO y redes Wi-Fi (estándar 802.11ac). Podemos observar las diferencias tecnológicas entre los dos tipos de redes inalámbricas:

- La red Wi-Fi 802.11ac usa ondas electromagnéticas para transmitir información con una frecuencia de 5 GHz, mientras que FSO utiliza la propagación de la luz con frecuencias del orden de los THz.
- El ancho de banda, mayor o igual a 1 GHz en el que trabaja FSO es superior al ancho de banda de la red Wi-Fi 802.11ac.
- La velocidad de transmisión máxima de la red Wi-Fi 802.11ac, no supera a la velocidad de transmisión de FSO.
- La distancia máxima de una red FSO es de 5 KM, mientras de que una red Wi-Fi 802.11ac supera los 20 KM.
- La disponibilidad del espectro y la licencia de uso son libres tanto para FSO como para Wi-Fi.

Red Inalámbrica	Frecuencia	Ancho de Banda	Modulación	Velocidades de Transmisión	Tecnología TX – RX	Alcance aproximado (m)	Disponibilidad de espectro y licencias	Interferencias garantizadas y protección de la red	Costo de la tecnología	Tiempo de instalación
Wi-Fi, 802.11ac	5 GHz	20 MHz	OFDM	Hasta 87.6 Mbps	Flujos MIMO = 8	≈+ 1000, 24000	Disponible gratuitamente para su uso sin licencia	NO	Bajo	Horas
		40 MHz		Hasta 200 Mbps						
		80 MHz		Hasta 433.3 Mbps						
		160 MHz		866.7 / 1300 Mbps						
FSO	≥ a THz, con longitudes de onda de: 850 nm - 1550 nm	≥ a 1 GHz	Modulación de Potencia del láser: 100 mW hasta 640 mW	100 Mbps hasta 1.25 Gbps, llegando a 10 Gbps.	Full Duplex	5000	Espectro libremente disponible como tecnología regulada	NO	Medio	Horas / días

Tabla 3.2: Comparación redes FSO y Wi-Fi – 802.11ac

Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

3.2 ANÁLISIS ACTUAL DE LA RED DEL GAD MUNICIPAL DE PUTUMAYO Y EL INFOCENTRO DE LA COMUNIDAD DE SILVAYAKU

En la actualidad no existe una red de datos que enlace al GAD Municipal de Putumayo y al infocentro de la comunidad de Silvayaku, por lo que amerita el estudio para implementar una red inalámbrica, tomando en cuenta que los puntos mencionados se encuentran en una zona rural amazónica de difícil acceso, la cual brindará una comunicación y servicio de Internet a la comunidad Silvayaku.

3.2.1 Ubicación Geográfica del GAD Municipal de Putumayo ^{[38], [39]}

El GAD Municipal de Putumayo, ubicado en la selva Amazónica ciudad de Puerto el Carmen, cantón Putumayo, “provincia de Sucumbíos, en el extremo nororiental de Ecuador línea de frontera entre los países vecinos de Colombia y Perú” ^[39]. La tabla 3.3, detalla las coordenadas geográficas del GAD Municipal de Putumayo.

Coordenadas GAD Putumayo			
Grados	Minutos	Segundos	Orientación
0	7	3	Norte (N)
75	51	51	Oeste (W)

Tabla 3.3: Coordenadas GAD Putumayo
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

“El cantón Putumayo tiene una altitud media de 200 m.s.n.m. Sus límites son: al norte República de Colombia, al Sur el cantón Cuyabeno, al este la República de Colombia y parte del Perú, y al oeste el cantón Lago Agrio. El cantón cuenta con una superficie total de 3559 Km², y la ciudad de Puerto el Carmen con una superficie de 1.165,6 Km²” ^[39].

3.2.2 Clima del Cantón Putumayo ^{[38], [39]}

“La temperatura promedio del cantón es de 22°C donde prevalece el clima de selva tropical, caracterizadas por una temperatura media elevada mayores a los

22°C, y abundante precipitación durante solo una estación lluviosa, superior a los 3500 mm llegando a registrarse lluvias hasta los 5500 mm” [39].

3.2.3 División Político – Administrativo del Cantón Putumayo [38], [39]

“Políticamente el cantón está dividido por la ciudad de Puerto el Carmen y las parroquias rurales de: Palma Roja, Puerto Rodríguez, Puerto Bolívar y Santa Elena” [39], como se observa en la figura 3.1.

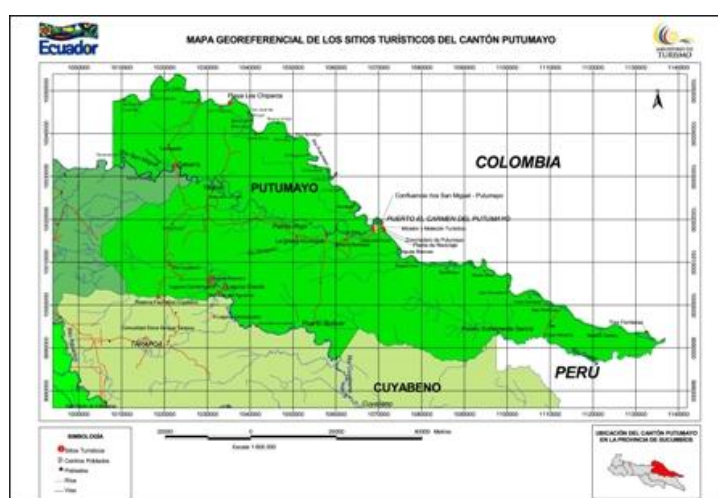


Figura 3.1: Mapa Georeferencial del cantón Putumayo
Fuente: <http://www.putumayo.gob.ec/putumayo/geografia>

3.2.4 Ubicación Geográfica de la Comunidad de Silvayaku [38], [39]

La comunidad Silvayaku se encuentra ubicada en la parroquia Palma Roja, a 12,28 km de distancia de la ciudad Puerto el Carmen del Cantón Putumayo. Las coordenadas geográficas se muestran en la tabla 3.4.

Coordenadas Comunidad Silvayaku			
Grados	Minutos	Segundos	Orientación
0	6	55.8	Norte (N)
75	58	29.38	Oeste (W)

Tabla 3.4: Coordenadas Comunidad Silvayaku
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

3.2.5 Población de la Comunidad de Silvayaku

Según la información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el periodo entre 2001 y 2010 la población de la comunidad de Silvayaku creció de 36 a 138 habitantes, con una tasa de crecimiento del 14.93 % ^[40]. En el anexo A, se detalla el informe del INEC sobre la tasa de crecimiento anual de la comunidad de Silvayaku.

3.2.6 Infraestructura Física

En la figura 3.2 y figura 3.3 se muestra la infraestructura civil del GAD Municipal de Putumayo, de hormigón armado, cuenta con cerramiento, seguridad y torre.

El infocentro de la comunidad de Silvayaku que se observa en la figura 3.4 y figura 3.5, tiene una infraestructura civil de contextura mixta (hormigón y zinc), torre, carece de cerramiento.



Figura 3.2: Infraestructura civil del GAD Municipal de Putumayo
Fotografía tomada por: Danilo Mejía Suárez.



Figura 3.3: Torre del GAD Municipal de Putumayo
Fotografía tomada por: Danilo Mejía Suárez.



Figura 3.4: Infraestructura civil Infocentro de la Comunidad de Silvayaku
Fotografía tomada por: Danilo Mejía Suárez.



Figura 3.5: Torre de la Comunidad de Silvayaku
Fotografía tomada por: Danilo Mejía Suárez.

3.2.7 Condiciones Tecnológicas del GAD Municipal de Putumayo y la Comunidad de Silvayaku

El GAD Municipal de Putumayo tiene una intranet de 102 computadores con una topología estrella. La velocidad de transmisión que actualmente dispone la municipalidad es de 10 Mbps, disponiendo 3 Mbps para el infocentro de la comunidad de Silvayaku. Figura 3.6.

La comunidad de Silvayaku tiene un infocentro con una Intranet de 10 computadoras, conectadas por un switch de 16 puertos, el cual no tiene servicio de Internet. Figura 3.7.

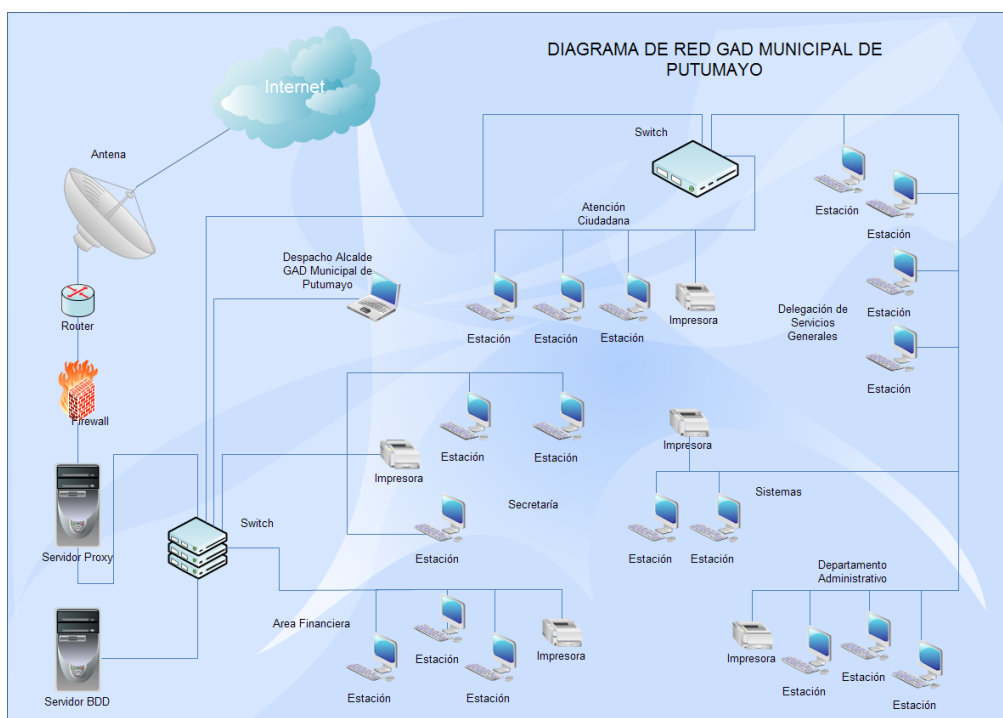


Figura 3.6: Diagrama de Red GAD Municipal de Putumayo
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

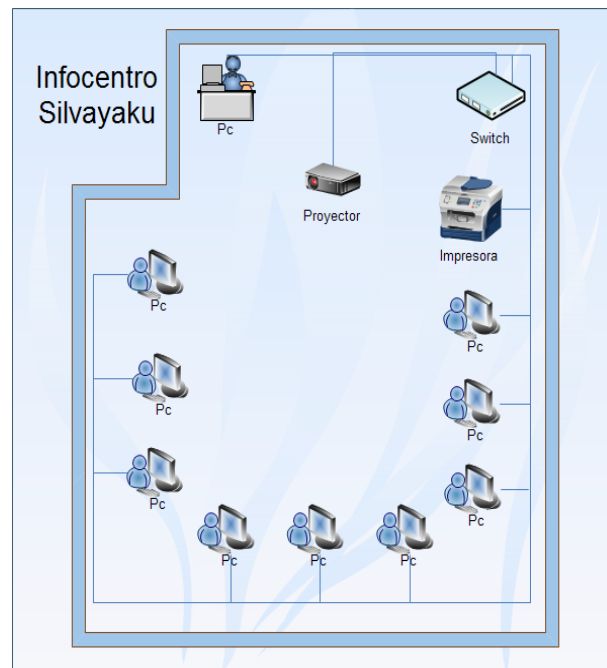


Figura 3.7: Red Infocentro de la comunidad de Silvayaku
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

3.3 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

La comunidad de Silvayaku, con 12,28 km aproximados de distancia al GAD Municipal de Putumayo de la ciudad de Puerto el Carmen, posee un Infocentro con 10 computadores. Separados por una zona montañosa, el río San Miguel y caminos inhóspitos, donde además, por sus características topográficas del terreno, es imposible o muy costoso para las empresas implementar servicios de Internet, debido a la escasa viabilidad técnica y económica.

Además, la comunidad de Silvayaku se encuentra aislada tecnológicamente por lo que se requiere del estudio para diseñar una red que de salida al mundo digital o más conocido como Internet.

Para el diseño de la red tenemos dos soluciones inalámbricas que son FSO y WI-FI, a continuación se presenta los requisitos de la red:

- Las frecuencias de operación deben ser de 2.4 GHz y 5.8 GHz, porque en el Ecuador son las frecuencias destinadas para operar en los sistemas de modulación digital de banda ancha
- Debe trabajar en ambientes para exteriores
- Soportar largas distancias
- Tiene que ser administrable
- Tiene que ser segura

Requisitos de Red	WI-FI	FSO
Frecuencia en 2.4 GHz	Cumple	No cumple
Frecuencia en 5 GHz	Cumple	No cumple
Laser de luz infrarrojo	No cumple	Cumple
Exterior	Cumple	Cumple
Largas distancias	Cumple	Cumple
Velocidades \geq 54 Mbps	Cumple	Cumple
Calidad de servicio	Cumple	Cumple
Alcance	Cumple	No cumple
Administración de red	Cumple	Cumple
Seguridad	Cumple	Cumple
Costo	Medio	Alto

Tabla 3.5: Requisitos de la red Inalámbrica
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

De acuerdo al análisis realizado en la tabla 3.2, los requisitos para el diseño de la red se resumen en la tabla 3.5.

Con la tecnología FSO se puede tener enlaces de hasta 2 Km aproximadamente con línea de vista terrestre ^[35].

Los enlaces de la tecnología FSO necesitan línea de vista total, se tiene pérdida de comunicación por el cruce de pájaros, algún movimiento específico en la zona

de los láser, absorción atmosférica, lluvia, humedad, turbulencias y fuentes de calor, entre otras. Trabaja con una licencia de operación libre.

Por otro lado la tecnología FSO no existe en el mercado local, por lo que se requiere realizar trámites de importación y desaduanizar los equipos, lo que eleva sus costos y dificulta el proceso de garantías. Finalmente el precio de cada par de equipos FSO varía desde los 6 mil dólares, lo que hacen una tecnología muy costosa ^{[41], [42]}.

En cambio la tecnología Wi-Fi, podemos analizar algunas de sus características como son el largo alcance el cual depende del fabricante, que pueden llegar incluso a los 100 Km con línea de vista. Además estos equipos trabajan en bandas de frecuencias no licenciadas y tampoco requieren del permiso adicional para su implementación. En el mercado local existen una gran variedad de marcas y productos Wi-Fi, con lo que facilita el proceso de las garantías. Finalmente los precios para implementar un radio base con tecnología Wi-Fi varían desde los 3.500 dólares. Ver detallas anexo B y anexo C.

De lo expuesto anteriormente se concluye que técnicamente es viable realizar el proyecto tanto con tecnología inalámbrica FSO como con Wi-Fi. En el aspecto regulatorio, las dos tecnologías operan en sistemas de modulación de banda ancha las cuales no requieren licenciamiento para su uso e instalación de equipos. La tecnología FSO tiene cierta pérdida de comunicación por los factores anteriormente mencionados que causan una atenuación en la señal recibida y produce una alta tasa de error. En el aspecto económico FSO es una tecnología que no existe en el mercado local y requiere trámites de importación y desaduanización de equipos, esto eleva sus costos y dificulta el proceso de garantías; mientras que Wi-Fi es una tecnología inalámbrica que existe en el mercado local y es más accesible al consumidor.

La solución del estudio consiste en resumidas palabras, diseñar algún sistema para proveer Internet a la comunidad de Silvayaku, tal medio debería cumplir con condiciones básicas de calidad y economía, de las dos tecnologías planteadas, se ha seleccionado el sistema Wi-Fi con el estándar 802.11ac, que principalmente nos proporciona beneficios económicos y el alcance requerido para el enlace entre el GAD Municipal de Putumayo y el infocentro de la comunidad de Silvayaku, brindado una solución con capacidad del medio aceptables para instalar Internet banda ancha.

A través de una elección de herramientas, materiales eficientes y económicos, con la suficiente investigación, análisis de normas y regulaciones, si es posible efectuar el estudio y diseño de un enlace radioeléctrico, capaz de transmitir datos, voz y video.

Por lo tanto, para realizar la conectividad entre los puntos de estudio geográficamente alejados, se usará equipos adecuados tecnológicamente con accesibilidad económica, menor desvanecimiento de la señal por precipitaciones debido a la frecuencia y clima húmedo-tropical, característico de la zona, por ofrecer seguridad de la información, proporcionar calidad de la señal recibida, compatible con los protocolos de Internet, alcance requerido para el enlace y accesible a un presupuesto relativamente inferior que la tecnología FSO, es que hemos de utilizar el protocolo 802.11 regulado por la norma IEEE 802.11 versión ac.

3.4 DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

Se puede realizar el diseño de la red inalámbrica, la cual permitirá la compartición de recursos y servicios tales como acceso a Internet, VoIP y video conferencia entre el GAD Municipal de Putumayo y la comunidad de Silvayaku.

Primero se empieza calculando las capacidades requeridas (velocidad de transmisión), cálculo de enlaces, tráfico que va a circular y proyección del tráfico.

3.4.1 Cálculo de las capacidades requeridas ^[43]

Con la finalidad de realizar el análisis de la velocidad de transmisión requerida se tomará en cuenta las aplicaciones más comunes: datos, audio y video.

3.4.1.1 Velocidad de transmisión para datos

Un equipo de computación genera tráfico por las aplicaciones de: navegación web, correo electrónico, descarga de documentos y transferencia de archivos.

Para estimar el tiempo de uso del Internet por persona, tomaremos como referencia el Reporte Anual de Estadísticas sobre Tecnología de Información y Comunicación para el año 2013 publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) ^[44]. Figura 3.8.

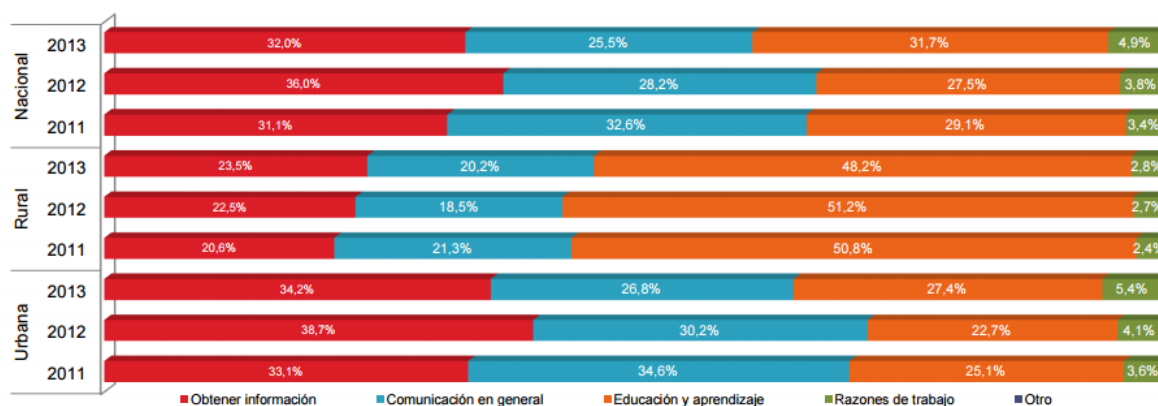


Figura 3.8: Razones de uso de Internet por área

Fuente: "http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/Resultados_principales_140515.Tic.pdf"

Analizando la figura 3.8 se observa que en el año 2013 las personas que se encuentran en una zona rural cuando ingresan a Internet, utilizan el 48.2% de su tiempo por motivos de educación y aprendizaje, el 23.5% para obtener información, el 20.2% para comunicación general, el 2.8% por razones de trabajo y 5.3% por otras razones. Se puede concluir que las personas de las zonas

rurales utilizan el 71.7% de su tiempo en Internet por razones de educación, aprendizaje y para obtener información.

Para estimar el tiempo que una persona destinará por razones de educación, aprendizaje, obtener información, comunicación en general, por razones de trabajo u otras razones, tomaremos como referencia los porcentajes de uso de internet presentados por el INEC para el año 2013 en el área rural del Ecuador (ver figura 3.8). Se hace esta relación porque no existen datos referenciales, debido a que actualmente la comunidad de Silvayaku no cuenta con servicio de Internet.

Se genera tráfico por navegación web cuando una persona utiliza el Internet con motivos de educación y aprendizaje, para obtener información necesita descargar documentos, para comunicación utiliza correos electrónicos y por razones de trabajo necesita transferir archivos.

Asumimos que una persona utiliza el Internet mínimo una hora diaria para realizar todas las actividades mencionadas anteriormente. Por lo tanto para calcular el tiempo para cada tipo de tráfico debemos multiplicar el porcentaje de las razones de uso de Internet por una hora, en la tabla 3.6 se resume los diferentes tipos de tráfico y el tiempo que utiliza cada uno de ellos en una hora de uso de Internet.

RAZONES DE USO DE INTERNET POR AREA	TIPO DE TRÁFICO	PORCENTAJE %	TIEMPO DE USO en minutos
Educación y aprendizaje	Navegación Web	48,2	29
Obtener Información	Descarga de documentos	23,5	14
Comunicación en general	Correo electrónico	20,2	12
Por trabajo y otros	Transferencia de archivos	7,78	5

Tabla 3.6: Tipos de Tráficos y el Tiempo Generado por un Computador
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

En la tabla 3.6 se establece el tiempo que una persona destina para navegar por la web, descargar información, revisar su correo electrónico y transferir archivos, estos datos son utilizados para valorar la velocidad de transmisión de los diferentes tipos de tráfico.

3.4.1.1.1 Navegación Web ^[45]

En la tabla 3.6 se estableció que el tiempo promedio de una persona para navegar por la web es de 29 minutos en una hora. Para calcular la velocidad de transmisión para navegar por el Internet se debe conocer el tamaño promedio y el tiempo de carga de una página web.

Según Google Analytics ^[46] el tiempo de carga de una página web en Ecuador es de 12,2 segundos y de acuerdo a las métricas de Google el tamaño promedio de una página web es de 320 KBytes ^[47].

Por lo tanto para calcular la velocidad de transmisión que una persona usa para navegar por la web, necesita cargar una página web con un tamaño promedio de 320 KBytes en 12,2 segundos, se obtiene:

$$Velocidad\ Transmisión_{web} = \frac{320\ kbyte}{12,2\ seg} \times \frac{8\ bits}{1\ byte} = 209.84\ kbps$$

Entonces, una persona necesita para abrir una página web, una velocidad de transmisión de 209,84 kbps.

3.4.1.1.2 Correo electrónico

En la tabla 3.6 se observa que una persona, requiere 12 minutos en promedio por hora para revisar su correo electrónico, se asume que recibe en promedio 5 correos en un día ^[46]. Figura 3.9.



Figura 3.9: Consumo diario de datos

Fuente: <http://www.carlosnuel.com/aprende-a-calcular-cuantos-mb-puedes-gastar-al-mes.html>

El tamaño promedio de un correo electrónico es de 100 kbits ^[48] sin datos adjuntos y el tamaño de un archivo adjunto de un documento aproximadamente es de 477 KBytes ^[49].

El tamaño total para los 5 correos electrónicos con documentos adjuntos es:

$$Tamaño_{correo} = 5 \times \left(100 \text{ kb} + 477 \text{ kbyte} \times \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ byte}} \right) = 19580 \text{ kb}$$

La velocidad de transmisión necesaria para que una persona revise 5 correos electrónicos con documentos adjuntos en un promedio de 12 minutos al día ^[43], es:

$$Velocidad \ Transmisión_{correo} = \frac{19580 \text{ kb}}{12 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 27,19 \text{ kbps}$$

3.4.1.1.3 Descarga de documentos

En la tabla 3.6 se tiene que una persona, utiliza 14 minutos para obtener información, para efectos de estudio se analiza con un documento PDF (*Portable Document Format*), el cual en promedio tiene un tamaño de 3MB ^[50]. Se tiene:

$$Velocidad Transmisión_{descargas} = \frac{3 MB}{14 min} \times \frac{1 min}{60 seg} \times \frac{1024 kbyte}{1 MB} \times \frac{8 bits}{1 Byte} = 29,26 kbps$$

Por lo tanto para que una persona baje un documento en formato PDF en 14 minutos, necesita una velocidad de transmisión de 29,26 kbps.

3.4.1.1.4 Transferencia de archivos

De acuerdo a la tabla 3.6 una persona utiliza 5 minutos para transferir información. Tomando en cuenta que el tamaño promedio de un archivo comprimido de es de 287 KB ^[46], se calcula la velocidad de transmisión de transferencia de archivos:

$$Velocidad Transmisión_{transferencia archivos} = \frac{287KB}{5 min} \times \frac{1 min}{60 seg} \times \frac{8 bits}{1 Byte} = 7,65 kbps$$

Por lo tanto una persona comparte un archivo comprimido en 5 minutos y usa una velocidad de transmisión de 7,65 kbps.

3.4.1.1.5 Streaming de video ^{[51], [52], [53], [54], [55]}

Las personas tendrán acceso a páginas de video streaming y como referencia de estudio se toma la página de YouTube, por ser el sitio web más visitado a nivel mundial en streaming de video. En la tabla 3.7 se observan las resoluciones de video de YouTube ^[56].

Para estimar la velocidad de transmisión que requiere cada resolución de video, en la tabla 3.7 se resumen las velocidades de transmisión ^[56].

RESOLUCIÓN	PIXELES
426 x 240	240 p
640 x 360	360 p
854 x 480	480 p
1280 x 720	720 p
1920 x 1080	1080 p
2560 x 1440	1440 p
3840 x 2160	2160 p

Tabla 3.7: Resoluciones de Video YouTube

Tabla adaptada por: Danilo Mejía Suárez.

Fuente: <https://support.google.com/youtube/answer/6375112>

RESOLUCIÓN	PIXELES	TASA DE BITS (kbps)	CALIDAD
426 x 240	240 p	300	Baja
640 x 360	360 p	500	Baja
854 x 480	480 p	800	Media
1280 x 720	720 p	1800	Alta
1920 x 1080	1080 p	2400	Alta
2560 x 1440	1440 p	2K	Alta 2K
3840 x 2160	2160 p	4K	Alta 4 K

Tabla 3.8: Resoluciones de la tasa de bits de Video YouTube

Tabla adaptada por: Danilo Mejía Suárez.

Fuente: <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=es>

En la tabla 3.8 se observa las diferentes resoluciones de video que se usa en YouTube y para determinar la resolución de video se toma la opción de 480p, la misma que permite observar eventos como noticias, documentales, etc.

Para determinar la resolución de video que requiere la velocidad de transmisión de 480p, consideramos las 138 personas de la comunidad Silvayaku con un 100% de concurrencia del total de habitantes de la comunidad. Como indica en la tabla 3.9.

RESOLUCIÓN	PIXELES	TASA DE BITS (kbps)	N° PERSONAS
854 x 480	480 p	800	138

Tabla 3.9: Velocidad de transmisión para la resolución de 480p
 Fuente: <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=es>

A continuación en la tabla 3.10 se presenta un resumen de las velocidades de transmisión que necesita una persona para acceder a Internet:

SERVICIO	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN POR PERSONA kbps
Navegación web	209,84
Correo electrónico	27,19
Descarga de documentos	29,26
Transferencia de Archivos	7,65
Streaming de video	800
TOTAL	1073,94

Tabla 3.10: Ancho de banda requerido por una persona
 Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Por lo tanto la capacidad requerida para una persona es:

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{Datos por persona}} \approx 1074 \text{ Kbps}$$

$$\text{Velocidad Transmisión}_{\text{Datos por persona}} \approx 1,04 \text{ Mbps}$$

3.4.1.2 Velocidad de transmisión por voz – VoIP ^{[57], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64]}

VoIP es una tecnología para la transmisión de voz sobre redes Ethernet. Para realizar el cálculo de la velocidad de transmisión necesaria para VoIP se usará el códec G.729, por tener una aceptable calidad de voz, mínimo retardo y consume poca velocidad de transmisión, en la tabla 3.11 se observan sus características.

Códec	Tamaño de la muestra (bytes)	Intervalo de muestreo (ms)	Tasa de bits (kbps)	Tamaño carga útil / Payload (bytes)	Paquetes por segundo (pps)
G. 729	10	10	8	20	50

Tabla 3.11: Características códec G.729

Fuente: <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=es>

“Existen diferentes capas de empaquetamiento en la red. El audio codificado se empaqueta dentro de paquetes RTP. A su vez, los paquetes RTP son empaquetados dentro de paquetes UDP, que luego son empaquetados dentro de paquetes IP. Ethernet es el tipo de red más común, y requiere otro empaquetamiento” ^[59]. Como se indica en la tabla 3.12.

Estándar / Protocolo	Tamaño de la trama (Bytes)
Ethernet	18
IP	20
UDP	8
RTP	12
Muestras de voz / Voice samples	20
Tamaño total	78

Tabla 3.12: Protocolos y tamaño de paquetes

Fuente: http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/7/73/73295_bwidth_consume.html

“La voz sobre IP requiere una cierta cantidad de ancho de banda para funcionar correctamente” ^[59]. La ecuación utilizada para calcular la velocidad de transmisión o ancho de banda requerido ^[57], es:

$$VT_{x_{VoIP}} = \text{Tamaño total del paquete (bits)} \times \text{Tasa se paquete (pps)} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

“Donde PPS significa “paquetes por segundo”, se usa una tasa de bits de códec de 8Kbps y un tamaño de carga útil de voz de 20 bytes (160 bits), la cual calculamos de la siguiente manera” ^{[57], [59]}.

$$Tasa\ de\ paquete\ [pps] = \frac{Tasa\ de\ bits\ de\ códec}{Tamaño\ de\ la\ carga\ útil\ de\ voz\ [payload]}$$

$$Tasa\ de\ paquete\ [pps] = \frac{8000\ bps}{160\ bits/paquete} = 50\ pps$$

Entonces, se tiene que para realizar una llamada utilizando el códec G.729 el tamaño total del paquete es de 78 bytes (624 bits) con una tasa de bits por paquete de 50 pps y una velocidad de transmisión de 31,2 kbps como se comprueba a continuación:

$$VT_{x_{VoIP}} = 624\ bits/paquete \times 50\ pps = 31200\ bps$$

$$VT_{x_{VoIP}} = 31,2\ kbps$$

3.4.1.3 Velocidad de transmisión para videoconferencia ^{[65], [66], [67], [68]}

Para realizar el cálculo de la velocidad necesaria de una videoconferencia, se utiliza el códec H.264 ya que cuenta con un buen nivel de compresión y calidad permitiendo realizar videoconferencias desde el navegador sin uso de plugins. La resolución será de 1280 x 720 a 25 imágenes por segundo con un tamaño promedio de un fotograma (frame) de 8 Kbyte, como se indica en la tabla 3.13.

Formato	Resolución	Tamaño Trama / Frame (Kbyte)	Fotogramas por segundo (fps)
H. 264	1280 x 720	18	25

Tabla 3.13: Características códec H.264

Fuente: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Video/pktvideoaag.html#wp>

Para realizar el cálculo de la velocidad de transmisión de la videoconferencia se toma en cuenta las cabeceras que se añaden a la capa en la red Ethernet.

Un fotograma tiene el siguiente proceso para ser transmitido ^{[65], [66], [67], [68]}:

- El flujo elemental de paquetes (*Packetized Elementary Stream, PES*), se divide en paquetes de 188 bytes.
- Este flujo elemental de paquetes se encapsulan en una trama IP, porque la trama IP tienen una carga útil de hasta 1500 bytes.
- En una trama IP pueden encajar solo 7 PES.
- La trama IP final es de 1316 bytes sin incluir los encabezados.
- El protocolo de datagramas de usuario (*User Datagram Protocol, UDP*) se puede utilizar para permitir comunicación entre aplicaciones cuando se transmite voz o video.
- El protocolo de tiempo real (*Real-time Transport Protocol, RTP*), es un protocolo de nivel de sesión utilizado para la transmisión de información en tiempo real como es la comunicación de audio y vídeo en una videoconferencia.
- Los protocolos UDP y RTP proporcionan un método para múltiples canales como audio y video.
- Por lo tanto la sobrecarga por trama para transmitir video es de 58 bytes, como se observa en la figura 3.10.

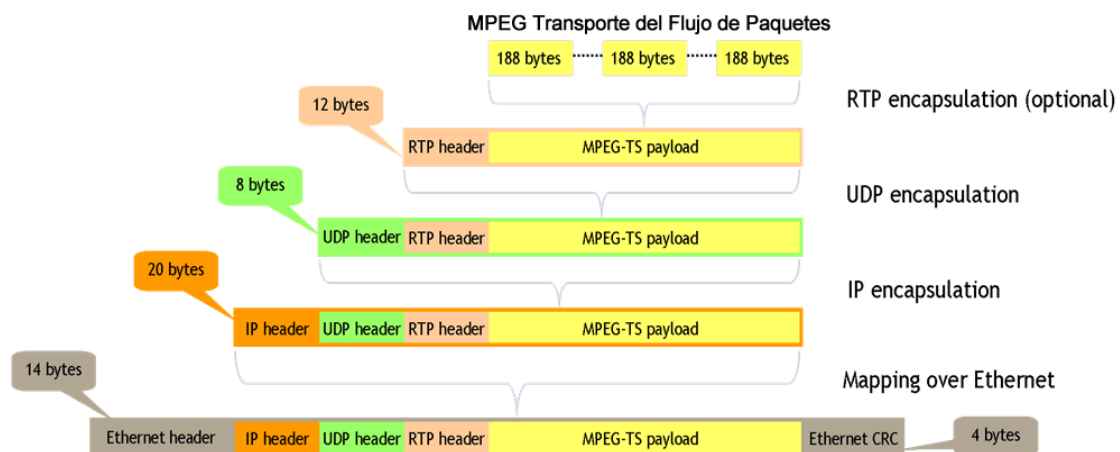


Figura 3.10: Transporte de Flujo de paquetes MPEG-2 sobre red IP/Ethernet
Fuente: <http://www.viavisolutions.com/en-us>

Ahora procedemos a calcular el número de tramas necesarias para transportar un fotograma de 18 kbytes sobre una red Ethernet con una carga útil de 1316 bytes [65].

$$\text{Numero Tramas} = \frac{\text{Tamaño Fotograma}}{\text{Red Ethernet carga útil}} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$$\text{Numero de Tramas} = \frac{18 \text{ kbytes}}{1316 \text{ bytes}} = \frac{18432 \text{ bytes}}{1316 \text{ bytes}}$$

$$\text{Numero de Tramas} = 14.006 \approx 14$$

La sobrecarga total es igual al número de tramas por los 58 bytes de las cabeceras de los protocolos RTP, UDP, IP y Ethernet [65]:

$$\text{Sobrecarga Total} = \text{Numero de Tramas} \times \text{Sobrecarga de encabezados} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$\text{Sobrecarga Total} = 14 \times 58 \text{ bytes}$$

$$\text{Sobrecarga Total} = 812 \text{ bytes}$$

Entonces para transmitir un fotograma es necesario añadir 812 Bytes por sobrecarga, por lo tanto la cantidad de datos transmitidos es [65]:

$$\text{Total de datos Transmitidos} = \text{Datos de 1 fotograma} + \text{Sobrecarga Total} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$\text{Total de datos Transmitidos} = 18 \text{ kbytes} + 812 \text{ bytes}$$

$$\text{Total de datos Transmitidos} = 18432 \text{ bytes} + 812 \text{ bytes}$$

$$\text{Total de datos Transmitidos} = 19244 \text{ bytes}$$

$$\text{Total de datos Transmitidos} = 153952 \text{ bits}$$

Finalmente la velocidad de transmisión para realizar una videoconferencia es [65]:

$$VTx_{\text{videoconferencia}} = \frac{\text{Total de datos transmitidos}}{1 \text{ fotograma}} \times \text{Fotogramas por segundo}(fps) \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$VTx_{\text{videoconferencia}} = \frac{153952 \text{ bits}}{1 \text{ fotograma}} \times 25 \text{ fps}$$

$$VTx_{\text{videoconferencia}} = 3848800 \text{ bps}$$

$$VTx_{\text{videoconferencia}} = 3.67 \text{ Mbps}$$

Se valida el resultado con la calculadora de ancho de banda de videoconferencia que se encuentra disponible en Internet, observar figura 3.11:

Bandwidth and Storage Calculator

Stream Type: MJPEG H.264

Resolution: D1 (704x480) 720P HD 1080P HD 1.3 Megapixel 3 Megapixel 5 Megapixel 10 Megapixel

Video Quality: Low Medium High

Average Frame Size: KB

Number of Cameras:

Frame Rate per Camera: FPS

Hours of Motion: Hours a Day

Storage in Days (per camera):

Total Bandwidth: Mbps

Average Bandwidth per Camera: Mbps

Estimated Storage: GB

Notes:

- 30/25 FPS applies to D1, 720P, 1080P and 1.3MP resolutions
- Max FPS: 10MP=6, 5MP=10, 3MP=12, 1080P=25, 1.3MP=30
- "Hours of Motion" only alters storage (in this calculator)
- On some NVRs, StarDot's "Video on Motion" mode also reduces bandwidth

Figura 3.11: Calculadora de ancho de banda

Fuente: <http://www.stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator>

3.4.1.4 Proyección de usuarios ^[44]

Una vez determinada la velocidad de transmisión requerida para los diferentes tipos de tráfico, realizamos una estimación de crecimiento de usuarios, para así poder determinar la velocidad de transmisión requerida para la comunidad Silvayaku.

De acuerdo al censo realizado por Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC en el año 2010, en la comunidad de Silvayaku existen 138 habitantes. Tabla 3.14. Ver detalles en el anexo A.

Comunidad	Año 2010	
	N° de usuarios	N° de Computadores
Silvayaku	138	10

Tabla 3.14: Número de usuarios y computadores en Silvayaku
 Fuente: "http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/Resultados_principales_140515.Tic.pdf"

Por lo tanto en el año 2010 el número de habitantes es de 138 personas, estimando un crecimiento del 14,93% anual ^[40], y para el año 2016 de 103 personas, es decir un total de 241. Ver detalles en el anexo A.

Para tener una estadística de computadoras por usuario, en el informe presentado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) del año 2011 ^[71] para Ecuador se tiene que por cada 20 usuarios existe una computadora. Para disminuir la brecha de acceso a la tecnología se debe invertir en equipamiento durante los próximos 5 años y se establece que debe existir 1 computador por cada 10 usuarios; y de esta forma en un futuro llegar a tener 1 computador por cada usuario.

Con todos estos precedentes se calcula la población para un periodo de 5 años con una tasa de crecimiento del 14,93 % y el número de computadoras que deberá existir, será de 1 computador por cada 10 usuarios.

Para calcular el crecimiento poblacional durante 5 años, se debe usar la fórmula de crecimiento poblacional compuesto ^[72].

$$Pf = Po (1 + r)^t \quad \text{(Ecuación 3.6)}$$

Donde:

P_f : Es la población final después de t años.

P_o : Es la población inicial.

r : Es la tasa de crecimiento poblacional anual, expresada en decimales.

t : Es el número de años después del año inicial.

En la tabla 3.15 se presenta el número de usuarios y el número de computadores, desde el año 2012, proyectados hasta el 2016 y finalmente al 2021:

Comunidad	Año 2012		Año 2016 / 14,93% Crecimiento		Año 2021 / 14,93% Crecimiento	
	N° de usuarios	N° de Computadores	N° de usuarios	N° de Computadores	N° de usuarios	N° de Computadores
Silvayaku	138	10	241	18	483	35

Tabla 3.15: Crecimiento de usuarios en 5 y 9 años en comunidad Silvayaku

Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

3.4.1.5 Velocidad de transmisión total requerida ^{[73], [74]}

La velocidad de transmisión total requerida para la red a implementarse es la suma de las velocidades de: datos (Internet), voz (VoIP) y videoconferencia.

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) en su norma técnica del servicio de valor agregado de acceso a Internet, establece un factor de compartición de 1 a 4. El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Putumayo tiene un factor de compartición de 1 a 1.

En la tabla 3.10 se determinó la velocidad de transmisión para un usuario en 1074 Kbps. Por otro lado el factor de compartición es de 1 a 1 con el 50% de continuidad, el mismo que es entregado por el GAD Municipal de Putumayo y su proveedor de Internet al momento.

Por lo tanto la velocidad de transmisión de datos (Internet) que necesitará un usuario por cada computador es igual a 1074 kbps, por los 35 computadores

estimados para el año 2021, dividido para el factor de compartición y multiplicado por la continuidad, se obtiene [9]:

$$Velocidad\ Transmisión\ Total_{Datos} = \frac{Velocidad\ Transmisión_{Datos\ por\ persona} \times 35}{1} \times 50\% \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

$$Velocidad\ Transmisión\ Total_{Datos} = \frac{1074\ kbps \times 35}{1} \times 50\%$$

$$Velocidad\ Transmisión\ Total_{Datos} = 18795\ kbps$$

$$Velocidad\ Transmisión\ Total_{Datos} = 18,4\ Mbps$$

La velocidad de transmisión que debe soportar la red es:

$$Velocidad\ Transmisión\ Total_{Datos} = 18,4\ Mbps$$

3.5 CONSIDERACIONES PARA LA RED INALÁMBRICA [75]

Los enlaces punto a punto trabajan en frecuencias de 5.8 GHz, ya que las antenas tienen mayor ganancia con una potencia máxima de 1000 mw según CONATEL. Ver detalles en la tabla 3.16.

Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha - Resolución No. TEL-560-18-CONATEL-2010				
Técnicas de Modulación	Bandas de Frecuencias (MHz)	Potencia Transmitida (mW)	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente P.I.R.E. (mW)	Densidad de P.I.R.E. (mW/Hz)
Punto-punto	902 – 928	500	---	---
Punto-multipunto				
Móviles				
Punto-punto	2400 - 2483.5	1000	---	---
Punto-multipunto				
Móviles				
Punto-punto	5150 – 5250	50	200	10
Punto-multipunto				
Móviles				
Punto-punto	5250 – 5350	---	200	10
Punto-multipunto		250	1000	50

Móviles				
Punto-punto				
Punto-multipunto	5470 – 5725	250	1000	50
Móviles				
Punto-punto				
Punto-multipunto	5725-5850	1000	---	---
Móviles				

Tabla 3.16: Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha
 Fuente: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Norma+MDBA.pdf>

Para realizar el diseño de enlaces punto a punto es necesario conocer las características de los equipos que existen en el mercado, la marca Ubiquiti airFiber 5x, es un referente en equipos de telecomunicaciones de alto desempeño, por esta razón tomaremos como referencia los valores de los equipos Ubiquiti airFiber 5x. La potencia de transmisión máxima es de 26 dBm y la sensibilidad está dentro del rango de -60 dBm y -90 dBm ^[76].

Ver detalles (*Datasheet*) anexo G. Estos valores se observan en la tabla 3.17.

Especificaciones Técnicas Ubiquiti airFiber 5x	
Potencia de transmisión máxima / Maximum transmit power	Hasta 26 dBm; varía el modo de modulación y los ajustes
Rango de despliegue / Deployment range	Canal de 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, 40 MHz, 50 MHz – más de 100 Km, Subida y bajada programables de forma independiente
Sensibilidad / Sensivity (dBm)	Adaptativo, que varía entre -90 dBm y -60 dBm

Tabla 3.17: Especificaciones Técnicas Ubiquiti airFiber 5x
 Fuente: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf

Otra marca que brinda un buen desempeño en equipos de telecomunicaciones es Radwin para enlaces punto a punto específicamente, el modelo del equipo es Radwin 2000 serie A. La potencia de transmisión máxima es de 25 dBm y la sensibilidad está dentro del rango de -67 dBm y -88 dBm ^[78]. Ver detalles (*Datasheet*) anexo F. Sus características se observan en la tabla 3.18.

Especificaciones Técnicas Radwin 2000 A	
Potencia de transmisión máxima / Maximum transmit power	Hasta 25 dBm; varía el modo de modulación y los ajustes
Rango de despliegue / Deployment range	Canal de 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, 40 MHz, 50 MHz – más de 120 Km, Subida y bajada programables de forma independiente
Sensibilidad / Sensivity (dBm)	Adaptativo, que varía entre -88 dBm y -67 dBm

Tabla 3.18: Especificaciones Técnicas Radwin 2000 A

Fuente: <http://es.radwin.com/contentManagement/uploadedFiles/folletos/RADWIN-2000-es.pdf>

Para los enlaces punto a punto utilizaremos antenas directivas Ubiquiti AF-5G30-S45 con ganancias de 30 dBi, para alcanzar largas distancias. Observar la tabla 3.19 en la que se observa los parámetros de los equipos. Ver detalles (*Datasheet*) anexo G.

Parámetro	Enlace Punto a Punto	
	Radwin 2000 A	Ubiquiti airFiber 5x
Frecuencias de Operación	5725 - 5875 [MHz]	5725 - 5875 [MHz]
Frecuencia central	5800 [MHz]	5800 [MHz]
Potencia de Transmisión Tx	25 [dBm]	26 [dBm]
Ganancia de Tx	28 [dBi]	30 [dBi]
Ganancia de Rx	28 [dBi]	30 [dBi]
Sensibilidad mínima de Rx	-88 [dBm] -> -67 [dBm]	-90 [dBm] -> -60 [dBm]

Tabla 3.19: Parámetros Equipos Punto a Punto

Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Para el diseño de enlaces punto a punto se toma un valor para la sensibilidad de -75 dBm para obtener una mayor velocidad de transmisión.

Con los parámetros de los enlaces punto a punto que se observan en la tabla 3.19, los fabricantes proponen distancias mayores a 30 Km para enlaces PtP. Para el diseño de la red, el enlace PtP no será mayor a 20 Km, por lo tanto se procede a calcular la distancia máxima que se puede tener con los parámetros establecidos en la tabla 3.19.

Para calcular la distancia máxima se debe establecer la magnitud de la potencia de recepción mínima que puede recibir el equipo; en la tabla 3.19 se observa la sensibilidad mínima de recepción para el enlace PtP es de -75 dBm, se establece un margen de desvanecimiento mínimo de 10 dB, pero existen pérdidas adicionales en los enlaces, por lo tanto la potencia de recepción mínima para el enlace PtP será de -65 dBm.

A continuación procedemos a calcular las pérdidas de propagación en espacio libre con la ecuación 3.8 (balance de potencia de un radio enlace), se considera 2 dB por pérdidas de la línea de transmisión, estas pérdidas son por el cable coaxial RG-58 (0.7 dB/m a 5.8 GHz) y los dos conectores tipo N (0.5 dB por conector) ^[80].

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

Donde:

- P_{RX} : Potencia de recepción (dBm)
- P_{TX} : Potencia de Transmisión (dBm)
- G_{TX} : Ganancia de la antena de transmisión (dBi)
- L_{TX} : Pérdida de la línea de transmisión (dB)
- L_f : Pérdida de espacio libre (dB)
- L_M : Pérdidas misceláneas (dB)
- G_{RX} : Ganancia de la antena de recepción (dBi)
- L_{RX} : Pérdida de la línea en el receptor (dB)

De la ecuación 3.8 se despeja la pérdida de espacio libre L_f , por lo tanto se tiene:

$$L_f = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - P_{RX} - L_M + G_{RX} - L_{RX}$$

$$L_{fUbiquiti} = 26 \text{ dBm} + 30 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - (-65 \text{ dB}) - 0 + 30 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$L_{fUbiquiti} = \mathbf{147 \text{ dB}}$$

Para determinar la distancia máxima del enlace con los parámetros de la tabla 3.19, utilizamos la ecuación de pérdidas de propagación en espacio libre ^[15].

$$L_f(dB) = 32,45 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Donde:

L_f : Pérdida de propagación en espacio libre expresada en dB

f : Frecuencia en MHz

d : Distancia entre el transmisor y el receptor en Km

De la ecuación 3.9 se despeja la distancia, por lo que se tiene:

$$(d)_{\text{Km}} = \text{antilog} \left(\frac{L_f(dB) - 32,45 - 20 \log_{10}(f) \text{ MHz}}{20} \right)$$

$$(d)_{\text{Km-Ubiquiti}} = \text{antilog} \left(\frac{147 - 32,45 - 20 \log_{10}(5800) \text{ MHz}}{20} \right)$$

$$(d)_{\text{Km-Ubiquiti}} = \mathbf{92,06 \text{ Km}}$$

La distancia máxima para un enlace PtP con los parámetros establecidos en la tabla 3.19 para el equipo Ubiquiti airFiber 5x es de 92,06 Kilómetros. Sin embargo el fabricante indica que el rango de cobertura de los equipos, es de más de 200 Km². Ver detalles (*Datasheet*) anexo G.

“La característica más importante de una antena es la ganancia. Esto viene a ser la potencia de amplificación de la señal. La ganancia representa la relación entre la intensidad de campo que produce una antena en un punto determinado, y la intensidad de campo que produce una antena omnidireccional (llamada isotrópica), en el mismo punto y en las mismas condiciones. Cuanto mayor es la ganancia, mejor es la antena. La unidad que sirve para medir esta ganancia es el decibelio (dB). Esta unidad se calcula como el logaritmo de una relación de

valores. Para calcular la ganancia de una antena, se toma como referencia la antena isotrópica, el valor de dicha ganancia se representa en dBi” [81].

En la tabla 3.20 se observa la ganancia de 30 dBi de los equipos Ubiquiti airFiber 5x:

Parámetro	Distancia Máxima Enlace Punto a Punto
	Ubiquiti airFiber 5x
Frecuencias de operación [MHz]	5800
Potencia de transmisión Tx [dBm]	26
Ganancia de Tx [dBi]	30
Ganancia de Rx [dBi]	30
Sensibilidad mínima de recepción Rx [dBm]	-75
Margen de desvanecimiento mínimo [dB]	10
Potencia de recepción mínima [dBm]	-65
Pérdidas por línea de transmisión [dB]	2
Pérdida en espacio libre Lf [dB]	147
Distancia máxima del enlace "d" [Km]	92,06

Tabla 3.20: Resultados Parámetros Equipos Inalámbricos
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Como se observa en la tabla 3.20, con los parámetros establecidos en la tabla 3.19, la distancia máxima para los enlaces punto a punto con equipos Ubiquiti airFiber 5x es de 92,06 kilómetros, por lo tanto justificamos las distancias aconsejadas por los fabricantes.

3.5.1 Ubicación de los enlaces punto a punto

Luego de analizar la topografía del GAD Municipal de Putumayo y la comunidad de Silvayaku con ayuda del software Radio Mobile, se obtiene la distancia entre los dos puntos que es de 12,30 Km. En la figura 3.12 se muestra la ubicación específica de cada punto, y en la tabla 3.21 se detalla la ubicación de cada uno de ellos.

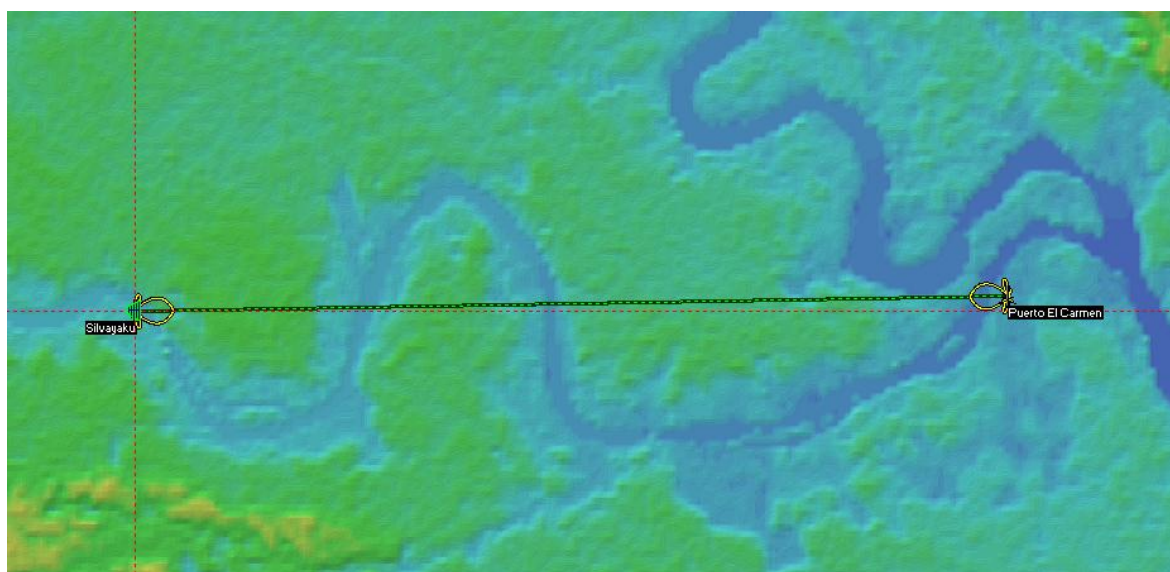


Figura 3.12: Ubicación Radioenlace G.A.D. M. Putumayo-Silvayaku
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Enlace Punto a Punto	Latitud	Longitud	Localidad
PtP1	0°7'3"N	75°51'51"W	G.A.D. M. de Putumayo
PtP2	0°6' 55.8"N	75°58'29.38"W	Comunidad de Silvayaku

Tabla 3.21: Ubicación Radioenlace G.A.D. M. Putumayo-Silvayaku
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

3.5.2 Cálculo del radio enlace

A continuación se describe el cálculo del desempeño del radio enlace entre el GAD Municipal de Putumayo y la comunidad de Silvayaku.

Primer Paso. Determinamos la posición geográfica de las dos estaciones, para luego construir el perfil topográfico con la ayuda de mapas topográficos y digitales.

Parámetros	PtP1-G.A.D. M. de Putumayo	PtP2-Comunidad de Silvayaku
Latitud	0°7'3"N	0°6' 55.8"N
Longitud	75°51'51"W	75°58'29.38"W
Elevación	217 [m]	222 [m]

Tabla 3.22: Ubicación y Elevación del G.A.D. M. Putumayo y Comunidad Silvayaku
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

En la figura 3.13 y la tabla 3.22 se presenta el perfil topográfico de los dos puntos.

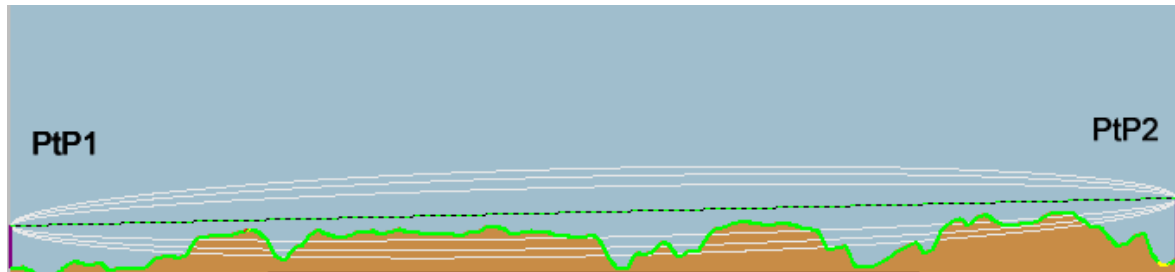


Figura 3.13: Perfil Topográfico entre PtP1 y PtP2
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Segundo Paso. Determinamos la distancia que existe entre la estación de transmisión y recepción ^[16]:

$$(D)_{\text{Km}} = \sqrt{(\Delta \text{longitud} \times 111)^2 + (\Delta \text{latitud} \times 111)^2 + (\Delta h)^2} \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

Donde:

D : Distancia entre los dos puntos PtP1 y PtP2 en Km

$\Delta \text{longitud}$: Diferencia entre longitudes de las dos coordenadas en grados

$\Delta \text{latitud}$: Diferencia entre latitudes de las dos coordenadas en grados

Δh : Diferencia entre elevaciones de la estación de transmisión y recepción en Km

111: Factor para transformar grados a Km (1° equivale aproximadamente 111 Km)

Se transforma las coordenadas geográficas a grados decimales:

$$\text{Latitud}_{\text{PtP1}} = 0^\circ + \frac{7}{60} + \frac{3}{3600} = 0,1175^\circ$$

$$\text{Latitud}_{\text{PtP2}} = 0^\circ + \frac{6}{60} + \frac{55,8}{3600} = 0,1155^\circ$$

$$\text{Longitud}_{\text{PtP1}} = 75^\circ + \frac{51}{60} + \frac{51}{3600} = 75,8642^\circ$$

$$\text{Longitud}_{\text{PtP2}} = 75^\circ + \frac{58}{60} + \frac{29,38}{3600} = 75,9748^\circ$$

Calculamos las diferencias entre latitudes y longitudes, respectivamente:

$$\Delta \text{longitud} = 75,8642^\circ - 75,9748^\circ = -0,1106^\circ$$

$$\Delta \text{latitud} = 0,1175^\circ - 0,1155^\circ = 0,002^\circ$$

Calculamos las diferencias entre las elevaciones:

$$\Delta h = 217 - 222 = -5$$

$$\Delta h = -0,005 \text{ Km}$$

Por lo tanto la distancia que existe entre la estación de transmisión y recepciones:

$$(D)_{\text{Km}} = \sqrt{(-0,1106 \times 111)^2 + (0,002 \times 111)^2 + (-0,005)^2}$$

$$(D)_{\text{Km}} = 12,28$$

Tercer Paso. Una vez determinada la distancia entre los dos puntos, tomamos la altura del obstáculo más alto del trayecto para determinar si la primera zona de Fresnel está despejada.

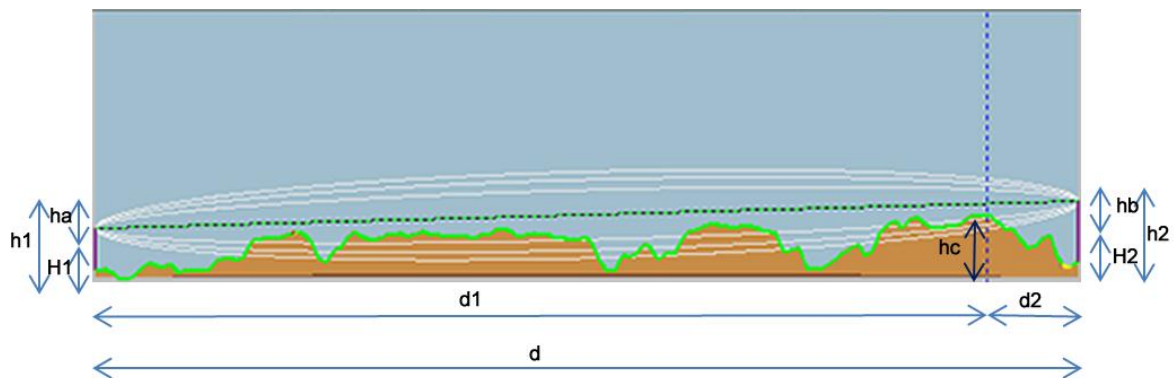


Figura 3.14: Despeje de la Primera Zona de Fresnel
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Dónde:

d_1 : Distancia desde PtP1 al punto más alto en km

d_2 : Distancia desde PtP2 al punto más alto en km

- d : Distancia total en km
- h_c : Altura sobre el nivel del mar del obstáculo en metros
- H_1 : Altura sobre el nivel del mar de PtP1 en metros
- h_a : Altura de la antena PtP1 en metros
- h_1 : Altura total de PtP1 en metros
- H_2 : Altura sobre el nivel del mar en PtP2 en metros
- h_b : Altura de la antena de PtP2 en metros
- h_2 : Altura total de PtP2 en metros

En la figura 3.14 se observa el perfil del terreno y se obtienen los siguientes datos:

$$d_1 = 11 \text{ km}$$

$$d_2 = 1.28 \text{ km}$$

$$h_c = 244 \text{ m}$$

En la figura 3.14 se observa que existe obstrucción por una cumbre, la diferencia entre el punto PtP1 y la cumbre es de 27 metros ($244 - 217 = 27$ [m]) por esta razón asumimos un valor inicial de 30 metros para la altura de la antena de la radio base PtP1 y PtP2; para calcular la altura de despeje se aplica ^[17]:

$$h_{\text{despeje}} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - (h_c + h_{ab}) \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

Donde:

$$h_1 = H_1 + h_a \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

$$h_2 = H_2 + h_b \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

La protuberancia del terreno se calcula con ^[16]:

$$h_{ab} = \frac{d_1 d_2 10^3}{2ka} \quad (\text{Ecuación 3.14})$$

Donde:

a : Radio real de la tierra 6370 en km

k : Factor de corrección del radio de la tierra, adimensional (4/3)

Reemplazando valores y simplificando se obtiene:

$$h_{ab} = \frac{1000(d_1 d_2)}{(2 \times 6370)k}$$

$$h_{ab} = 0,0785 \frac{d_1 d_2}{k} \quad \text{(Ecuación 3.15)}$$

Reemplazando la ecuación 3.15 en la ecuación 3.11 se tiene:

$$h_{\text{despeje}} = h_1 + \frac{d_1}{d} (h_2 - h_1) - \left(h_c + 0,0785 \frac{d_1 d_2}{k} \right) \quad \text{(Ecuación 3.16)}$$

Para calcular la altura total PtP1 y PtP2 utilizaremos las ecuaciones 3.12 y 3.13:

$$h_1 = H_1 + h_a \quad \text{(Ecuación 3.12)}$$

$$h_2 = H_2 + h_b \quad \text{(Ecuación 3.13)}$$

$$h_1 = H_1 + h_a = 217 + 30$$

$$h_1 = 247 \text{ [m]}$$

$$h_2 = H_2 + h_b = 222 + 30$$

$$h_2 = 252 \text{ [m]}$$

Por lo tanto reemplazando los valores en la ecuación 3.11 se tiene:

$$h_{\text{despeje}} = 247 + \frac{10.30}{12.28} (252 - 247) - \left(243 + 0,0785 \frac{10.30 \times 1.98}{4/3} \right)$$

$$h_{\text{despeje}} = 247 + 4.193 - 244.201$$

$$h_{\text{despeje}} = 6.99 \text{ [m]}$$

Para calcular el radio de la primera zona de Fresnel, aplicamos la ecuación 2.7, en la tabla 3.20 se estableció la frecuencia en 5.8 GHz para un enlace punto a punto, por lo tanto la primera zona de Fresnel será ^[16]:

$$r_{F1} = 547,72 \sqrt{\frac{d_1(km)d_2(km)}{f(MHz)d(km)}} \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

Donde:

“ r_{F1} ”: Radio de la primera zona de Fresnel en metros

d_1 : Distancia desde el obstáculo hasta el transmisor en Km

d_2 : Distancia desde el obstáculo al receptor en km

d : Distancia del enlace en km. $d = d_1 + d_2$

f : Frecuencia en MHz” ^{[16], [32]}

Reemplazando valores se tiene:

$$r_{F1} = 547,72 \sqrt{\frac{10.30 \times 1.98}{5800 \times 12,28}}$$

$$r_{F1} = 9.268 \quad \text{(Ecuación 3.17)}$$

El margen de despeje está dado por la ecuación ^[16]:

$$M_D \% = \left(\frac{h_{despeje}}{r_{F1}} \right) \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.18)}$$

Condición que debe cumplirse con el margen de despeje $M_D \%$ ^[82]:

Si $h_{despeje} < 0$ (negativo), hay obstrucción por cumbre, existe dos casos por obstrucción:

$$h > 0 \quad \text{y} \quad h < 0$$

Donde:

“h: Altura de la cima del obstáculo sobre la recta que une los dos extremos del trayecto” [82]

h Es positiva (+) si $h_{despeje} < 0$

h Es negativa (-) si $h_{despeje} > 0$

Por lo tanto reemplazando valores en la ecuación 3.18:

$$M_D \% = \left(\frac{6.99}{9.268} \right) \times 100$$

$$M_D \% = 75$$

La primera zona de Fresnel se encuentra liberada al 75%, por lo tanto no existe pérdidas por obstrucción.

Cuarto paso. En caso que la primera zona de Fresnel no esté despejada mínimo al 60%, determinamos las pérdidas por obstrucción. Basándonos en las recomendaciones UIT-R P.526 en la cual se indica la forma de calcular la atenuación producida por un obstáculo en función del parámetro adimensional v , definido por la ecuación [16], [82].

$$v = \sqrt{2} \left(\frac{-h_{despeje}}{r_{F1}} \right) \quad \text{(Ecuación 3.19)}$$

La atenuación por difracción en función v , se halla con las siguientes ecuaciones [16], [82].

$$L_D(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \text{ [dB]}; \quad \text{si} \quad \text{(Ecuación 3.20)}$$

$$v > 1$$

$$L_D(v) = 0; \quad \text{si } v > 1 \quad \text{(Ecuación 3.21)}$$

Quinto paso. Determinamos las pérdidas de propagación en espacio libre. El modelo de propagación en espacio libre (*Free Space Path Loss Modell, FSPL*), es un conjunto de expresiones matemáticas que se utilizan para calcular la propagación de una señal de radiofrecuencia. Para nuestro caso se representa el rango de comunicación como un círculo alrededor del transmisor, cobertura permitida para obtener una comunicación exitosa ^[15].

FSPL define la cantidad de potencia que la señal pierde durante la propagación entre el transmisor y el receptor. La propagación en espacio libre depende de la frecuencia y la distancia del enlace. El cálculo se realiza mediante el uso de la ecuación 3.9 ^[16]:

$$L_f(dB) = 32,45 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Donde:

L_f : Pérdida de propagación en espacio libre expresada en dB

f : Frecuencia en MHz

d : Distancia entre el transmisor y el receptor en Km

$$L_f(dB) = 32,45 + 20 \log_{10}(12,28) + 20 \log_{10}(5800)$$

$$L_f(dB) = 32,45 + 14,9145 + 75,2685$$

$$L_f(dB) = 122,633 [dB]$$

Sexto paso. Calculamos la potencia de recepción a partir de la ecuación 3.8 de balance de potencia ^[80]:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

Donde:

P_{RX} : Potencia de recepción (dBm)

P_{TX} : Potencia de Transmisión (dBm)

G_{TX} : Ganancia de la antena de transmisión (dBi)

- L_{TX} : Pérdida de la línea de transmisión (dB)
- L_f : Pérdida de espacio libre (dB)
- L_M : Pérdidas misceláneas (dB)
- G_{RX} : Ganancia de la antena de recepción (dBi)
- L_{RX} : Pérdida de la línea en el receptor (dB)

Para conectar el radio con la antena direccional o sectorial se utiliza cable coaxial RG-58 y dos conectores tipo N, la pérdida en el cable coaxial por metro a una frecuencia de 5.8 GHz es de 0.7 dB ^[83], mientras las pérdidas en los conectores dependen de la calidad del conector usado y varían entre 0.1 y 0.5 dB ^[84].

El radio y la antena serán instalados en el exterior, consideraremos 1.5 m de cable para conectarlos, por lo tanto las pérdidas por transmisión serán de 1 dB por cable coaxial y 1 dB por los dos conectores, teniendo un total de 2 dB por pérdidas en línea de transmisión.

Las pérdidas misceláneas son el resto de pérdidas que se pueden presentar en un radio enlace y para el diseño de la red no serán consideradas debido a que son despreciables como por ejemplo pérdidas de polarización ^[80].

La potencia de transmisión para un enlace punto a punto se estableció en 26 dBm con una ganancia de 30 dBi (ver tabla 3.19), por lo tanto la potencia de recepción es:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_f - L_M + G_{RX} - L_{RX}$$

$$P_{RX} = 26 \text{ dBm} + 30 \text{ dB} - 2 \text{ dB} - 122,633 \text{ dB} - 0 + 30 \text{ dB} - 2 \text{ dB}$$

$$P_{RX} = -40,63 \text{ dBm}$$

Séptimo paso. Calculamos el margen de desvanecimiento el cual se define como la diferencia entre la potencia de recepción y la sensibilidad del receptor, se calcula con la ecuación ^[16]:

$$MD = P_{RX} - U_{RX} \quad (\text{Ecuación 3.22})$$

Donde:

MD : Margen de desvanecimiento (dB)

P_{RX} : Potencia de recepción (dBm)

U_{RX} : Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor (dBm)

La sensibilidad para un enlace punto a punto se estableció en -75 dBm (ver tabla 3.19), por lo tanto el margen de desvanecimiento es:

$$MD = -40,63 - (-75)$$

$$MD = 34,37$$

Octavo paso. Determinamos la indisponibilidad y confiabilidad del radioenlace. La confiabilidad corresponde al porcentaje de tiempo probable que un enlace no se interrumpe por consecuencia del desvanecimiento. A partir del margen de desvanecimiento (MD), se puede obtener la confiabilidad del sistema^[16]:

$$U_{ndp} = 2,5 * a * b * 10^{-6} * f * D^3 * 10^{-MD/10} \quad (\text{Ecuación 3.23})$$

$$C = (1 - U_{ndp}) \times 100 \quad (\text{Ecuación 3.24})$$

Donde:

U_{ndp} : Tiempo de indisponibilidad del sistema en un año

C : Confiabilidad del sistema, expresada en porcentaje

f : Frecuencia de la portadora [GHz]

D : Distancia entre el transmisor y receptor [millas]

MD : Margen de desvanecimiento [dB]

“ a ”: Factor geográfico o de rugosidad, adimensional:

- ✓ 4, sobre agua o sobre un terreno muy liso
- ✓ 1, sobre un terreno promedio

✓ 0,25, sobre un terreno muy áspero y montañoso

b: Factor climático, adimensional:

✓ 0,5, región costera, cálida, áreas húmedas

✓ 0,25, región interior, temperatura moderada

✓ 0,125, región montañosa o muy seca” [18]

En la sesión 3.2.2 se describe al Cantón Putumayo como una extensa llanura con clima húmedo, por lo tanto los factores geográficos y climáticos son:

- $a = 1$, sobre un terreno promedio
- $b=0,5$, región costera, cálida, áreas húmedas

Indisponibilidad:

$$U_{ndp} = 2,5 * a * b * 10^{-6} * f * D^3 * 10^{-MD/10}$$

$$U_{ndp} = 2,5 * 1 * 0,5 * 10^{-6} * 5,8 * \left(\frac{12,28}{1,609}\right)^3 * 10^{-34,37/10}$$

$$U_{ndp} = 1,178 * 10^{-6} [\text{Año}]$$

$$U_{ndp} = 1,178 * 10^{-6} * 365 * 24 * 60 * 60$$

$$U_{ndp} = 37,149 [\text{Segundos}]$$

Por lo tanto el enlace no estará disponible 37,149 segundos en un año de funcionamiento.

Confiabilidad:

$$C = (1 - U_{ndp}) \times 100$$

$$C = (1 - 1,178 * 10^{-6}) \times 100$$

$$C = 99,9998 \%$$

Noveno paso. Determinamos la potencia isotrópica efectiva irradiada PIRE (*Effective Isotropic Radiated Power, EIRP*). PIRE es la potencia equivalente de

una señal transmitida en términos de un radiador isotrópico. Escribimos en función de la potencia de entrada y de la ganancia de potencia de la antena, así [17].

$$PIRE_{(W)} = P_{entrada} \times A_t \quad (\text{Ecuación 3.25})$$

Donde:

$PIRE$: Potencia efectiva radiada [watts]

$P_{entrada}$: Potencia de entrada a la antena [watts]

A_t : Ganancia de la antena de transmisión, adimensional.

Se tiene:

$$P_{entrada} = P_{TX} (dBm) - L_{TX} (dB) \quad (\text{Ecuación 3.26})$$

$$P_{entrada} (dBm) = 26 - 2 = 24$$

$$P_{entrada} (w) = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{P_{entrada} (dBm)}{10} \right)$$

$$P_{entrada} (w) = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{24}{10} \right)$$

$$P_{entrada} (w) = 0.251$$

$$A_t = \text{antilog} \left(\frac{A_t (dBi)}{10} \right) \quad (\text{Ecuación 3.27})$$

$$A_t = \text{antilog} \left(\frac{30}{10} \right)$$

$$A_t = 1000$$

Por lo tanto se tiene:

$$PIRE_{(W)} = 0,251 \times 1000 = 251,2$$

Si la ganancia de la antena es de 30 dBi, con una potencia de transmisión de 26 dBm llegando a obtener una potencia de entrada de 0,251 w, obtenemos un PIRE de 251,2 w. [85].

“Mientras más alto es el PIRE más pequeña es la antena, debido a que la huella está dirigida directamente hacia ese punto, y con un tamaño como ese, es matemáticamente suficiente para recibir la señal fuerte” [86].

Decimo paso. Determinamos el nivel de voltaje recibido por el receptor, aplicando la ley de Ohm, se tiene [17], [87]:

$$P_{RX} = \frac{V_{RX}^2}{R} \quad \text{(Ecuación 3.28)}$$

Donde:

P_{RX} : Potencia de recepción [w]

V_{RX} : Nivel de voltaje [v]

R : Impedancia nominal de la antena [Ω]

$$V_{RX(V)} = \sqrt{P_{RX(w)} * R(\Omega)} \quad \text{(Ecuación 3.29)}$$

$$P_{RX(w)} = 0.001 * \text{antilog} \left(\frac{P_{RX(dBm)}}{10} \right) \quad \text{(Ecuación 3.30)}$$

$$P_{RX(w)} = 0,001 * \text{antilog} \left(\frac{-40,63}{10} \right)$$

$$P_{RX(w)} = 2,34 \times 10^{-8}$$

Reemplazando el resultado de $P_{RX(w)}$ en la ecuación 3.29 se tiene:

$$V_{RX(V)} = \sqrt{2,34 \times 10^{-8} * 50}$$

$$V_{RX(V)} = 0,00108264232$$

$$V_{RX} (\mu V) = 1082,64$$

Por lo tanto, el nivel de voltaje que se recibe en el receptor es de 1082,64 uV.

Décimo Primer Paso. Determinamos la intensidad del campo eléctrico. El campo eléctrico es la región del espacio en donde se deja sentir el efecto de una carga eléctrica, se lo define mediante la intensidad en cada uno de sus puntos ^[16].

La intensidad del campo eléctrico E, es un punto situado a una cierta distancia del transmisor, su intensidad se mide en voltios por metro (V/m). La intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente ^[16].

Tomando como referencia la recomendación de UIT-R PN.525-2 ^[88], la intensidad del campo eléctrico se mide mediante la ecuación ^[88]:

$$E_{dB\left(\frac{\mu V}{m}\right)} = EIRP_{(dBW)} - 20 \log(d)_{Km} + 74,28 \quad (\text{Ecuación 3.31})$$

$$E_{dB\left(\frac{\mu V}{m}\right)} = 10 \log(EIRP_{(W)}) - 20 \log(d)_{Km} + 74,28$$

$$E_{dB\left(\frac{\mu V}{m}\right)-Ubiquiti} = 10 \log(251,2) - 20 \log(12,28) + 74,28$$

$$E_{dB\left(\frac{\mu V}{m}\right)-Ubiquiti} = 76,49$$

Décimo Segundo Paso. Finalmente alineamos las antenas de transmisión y recepción, para ello se determina el ángulo de elevación, apuntamiento y azimut.

Ángulo de elevación, es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena y el plano horizontal. Mientras menor sea el ángulo de elevación, la distancia que se debe recorrer una onda propagada a través de la atmosfera terrestre es mayor, de la siguiente manera ^[89]:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta H}{D} \quad (\text{Ecuación 3.32})$$

Dónde:

ΔH : Diferencia de alturas

D : Distancia total

$H1$: Elevación inicial h1 mas altura de la antena (217+30=247)

$H2$: Elevación inicial h2 mas altura de la antena (222+30=252)

$$\Delta H = H2 - H1$$

$$\Delta H = 252 - 247$$

$$\Delta H = 5 \text{ m}$$

$$D = 12280 \text{ m}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{5}{12280}$$

$$\alpha = \tan^{-1}(0,000407)$$

$$\alpha = 0.000407$$

$$\alpha = 0.0233^\circ$$

Basándonos en la figura 3.14, obtenemos la diferencia de elevaciones de 5 m y la distancia total entre los dos puntos de 12280 m, se aplica la ecuación 3.32 para obtener el ángulo de elevación de 0,0233°, valor que nos da para elevar las antenas y direccionarlas entre sí.

Ángulo de apuntamiento, determinamos relacionando la variación de latitud con la variación de longitud, de la siguiente manera:

$$\theta = \arctang \left(\frac{\Delta \text{Latitud}}{\Delta \text{Longitud}} \right) \quad (\text{Ecuación 3.33})$$

$$\theta = \arctang \left(\frac{0.002}{-0.1106} \right)$$

$$\theta = \arctang (-0.01808318264)$$

$$\theta = -0.018085153973912294$$

$$\theta = -1,03620^\circ$$

El cálculo obtenido del ángulo de apuntamiento de $-1,03620^\circ$, con el que se orienta las antenas de forma precisa entre ellas.

Azimut, es el ángulo horizontal que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena y el plano vertical. El ángulo de azimut se suele medir en grados a partir del norte verdadero, en el sentido de las manecillas del reloj, así:

$$Azimut_{PtP1} = 270^\circ + |\theta| \quad (\text{Ecuación 3.34})$$

$$Azimut_{PtP1} = 270^\circ + 1,03620^\circ$$

$$Azimut_{PtP1} = 271,036^\circ$$

Dato obtenido de $271,036^\circ$ del ángulo de azimut hacia el oeste, con la orientación del norte geográfico.

$$Azimut_{PtP2} = 90^\circ + |\theta| \quad (\text{Ecuación 3.35})$$

$$Azimut_{PtP2} = 90^\circ + 1,03620^\circ$$

$$Azimut_{PtP2} = 91,036^\circ$$

Dato obtenido de $91,036^\circ$ del ángulo de azimut hacia el este, con la orientación del norte geográfico.

3.5.3 Resultados del modelo teórico y programa Radio Mobile

El programa Radio Mobile es una herramienta para analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones fijo o móvil^[90]. Ver detalles anexo D.

Ingresamos los datos de los equipos inalámbricos del transmisor y el receptor con la finalidad de presentar en pantalla los resultados.

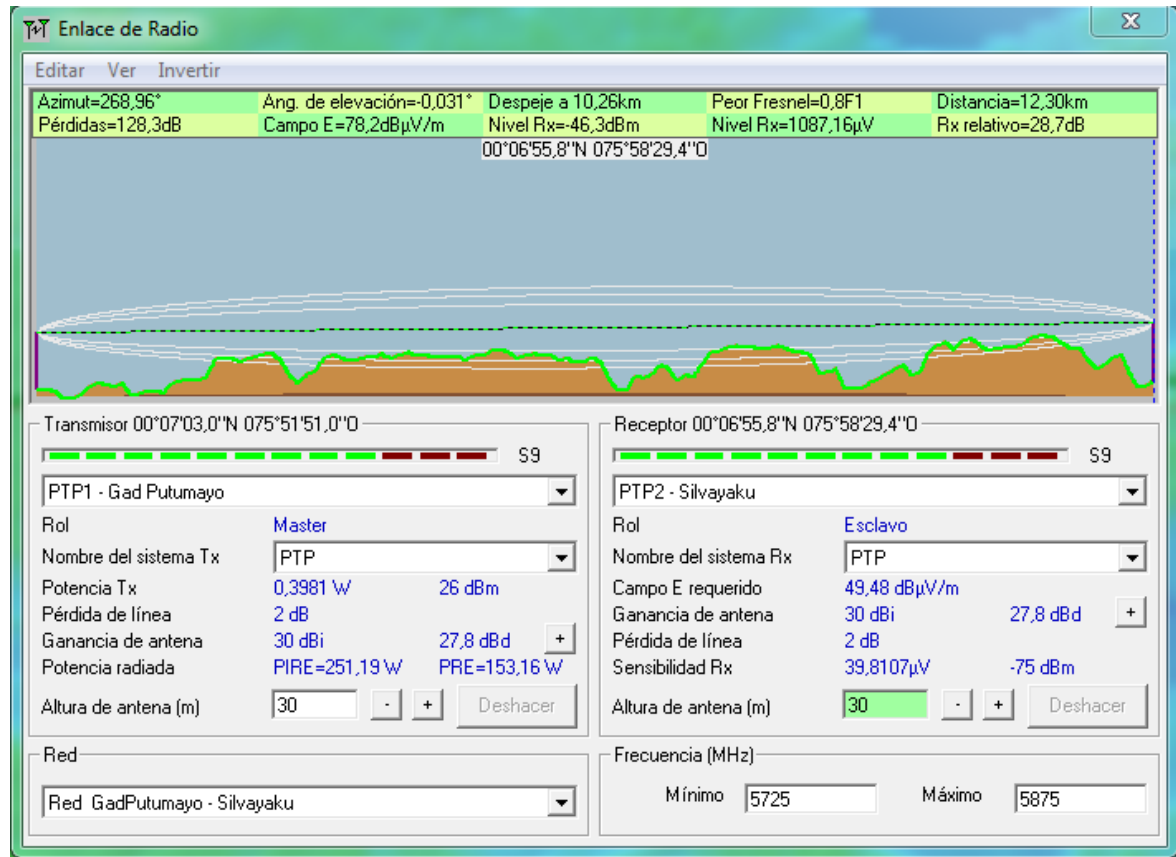


Figura 3.15: Radio Mobile, Resultados PTP1 GadPutumayo - PTP2 Silvayaku
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

En la figura 3.15 se muestran los resultados que se describen en la tabla 3.23, tabla 3.24 y tabla 3.25:

a. Transmisor PTP1-GAD Putumayo

Parámetro PTP1	Valores	
Ubicación Geográfica	Latitud	00°07'03,0"N
	Longitud	075°51'51,0"O
Potencia de transmisión Tx	0,3981 (w)	26 (dBm)
Pérdidas por línea de transmisión (Loss)	2 (dB)	
Ganancia de antena	30 (dBi)	27,8 (dBd)

Potencia isotrópica efectiva irradiada "PIRE"	251,19 (w)
Altura de la antena	30 (m)

Tabla 3.23: Datos obtenidos en Radio Mobile para PTP1
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

b. Receptor PTP2-Silvayaku

Parámetro PTP2	Valores	
Ubicación Geográfica	Latitud	00°06'55,8"N
	Longitud	075°58'28,4"O
Intensidad del campo eléctrico requerido "E"	49,48 (dBuV/m)	
Ganancia de antena	30 (dBi)	27,8 (dB)
Pérdidas por línea de transmisión (Loss)	2 (dB)	
Sensibilidad del equipo Rx	-75 (dBm)	
Altura de la antena	30 (m)	

Tabla 3.24: Datos obtenidos en Radio Mobile para PTP2
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- c. El rango de frecuencia de operación se encuentra en la parte inferior derecha, en este caso será de 5725 – 5875 MHz.
- d. Resultado de los datos del enlace en la parte superior:

Datos Radio Enlace	Valores
Azimet	268,96 (°)
Pérdidas por espacio libre (Loss)	128,3 (dB)
Ángulo de elevación	0,031 (°)
Intensidad del campo eléctrico requerido "E"	78,2 (dBuV/m)
Distancia a la cumbre más elevada (Despeje)	10,28 (km)
Potencia de recepción (Nivel Rx)	-46,3 (dBm)
Margen de despeje (Peor Fresnel)	0,8
Nivel de voltaje recibido en el receptor (Nivel Rx)	1086,78 (uV)
Distancia entre las dos radios bases	12,30 (km)
Margen de desvanecimiento (Rx Relativo)	28,7 (dB)

Tabla 3.25: Datos Radio Enlace en Radio Mobile
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

En la figura 3.15 observamos una barra de menú, al entrar en la opción Ver, Detalles, se genera un resumen de los datos anteriores, como se observa en la figura 3.16:

La distancia entre PTP1 - Gad Putumayo y PTP2 - Silvayaku es 12,3 km (7,6 miles)
 Azimut norte verdadero = 268,96°, Azimut Norte Magnético = 273,78°, Angulo de elevación = -0,0307°
 Variación de altitud de 33,0 m
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,8F1 a 10,3km
 La frecuencia promedio es 5800,000 MHz
 Espacio Libre = 129,5 dB, Obstrucción = -1,8 dB TR, Urbano = 0,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 0,6 dB
 La pérdida de propagación total es 128,3 dB
 Ganancia del sistema de PTP1 - Gad Putumayo a PTP2 - Silvayaku es de 157,0 dB (yagi.ant a 269,0 °-0,03° ganancia = 30,0 dBi)
 Ganancia del sistema de PTP2 - Silvayaku a PTP1 - Gad Putumayo es de 157,0 dB (yagi.ant a 89,0 °-0,08° ganancia = 30,0 dBi)
 Peor recepción es 28,7 dB sobre el señal requerida a encontrar
 50,000% de tiempo, 50,000% de situaciones

Figura 3.16: Detalles Radio Mobile GadPutumayo - PTP2 Silvayaku
 Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Para validar los resultados obtenidos con el programa Radio Mobile comparamos con el modelo teórico, ver tabla 3.26:

Parámetro	Calculo Teórico Equipo Ubiquiti	Radio Mobile	Tasa de Error en %
Distancia del enlace D [Km]	12,28	12,30	0,16
Ángulo de elevación PtP1-PtP2 [°]	0,0233	0,031	33,05
Azimut PtP1-PtP2 [°]	271,036	269	0,75
Azimut PtP2-PtP1 [°]	91,036	89	2,24
Altura de despeje hdespeje [m]	6,99	6,51	6,87
Margen de despeje Mdespeje/RF1	0,75	0,8	6,67
Pérdida en espacio libre Lf [dB]	122,63	128,3	4,62
Pérdidas por obstrucción LD(v) [dB]	0	0	0
Potencia de recepción PRX [dBm]	-40,63	-47,48	16,86
Margen de desvanecimiento MD / Rx Relativo [dB]	34,37	28,7	16,49
Potencia isotrópica efectiva irradiada PIRE [w]	251,2	251,19	0,003
Nivel de voltaje recibido en el receptor VRX [uV]	1082,64	1086,78	0,38
Intensidad de campo eléctrico E [dB(uV/m)]	76,49	78,2	2,23
Confiabilidad	99,99		
Indisponibilidad Año	0.000001178		
Indisponibilidad Segundos	37,15		

Tabla 3.26: Comparación resultados teóricos con Programa Radio Mobile
 Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

Observamos en la tabla 3.26 los errores entre el cálculo teórico y los resultados de Radio Mobile son similares, excepto en el margen de despeje, esto se debe a que el programa trabaja con una cifra decimal, si se redondea el valor teórico el error será del 0%

Por lo tanto se valida los resultados del programa Radio Mobile y los cálculos teóricos.

3.5.4 Presupuesto Referencial de Equipos

Realizamos el presupuesto referencial considerando dos fabricantes diferentes, los equipos deben cumplir con los requerimientos técnicos que establecimos en el capítulo anterior para ser considerados en el presupuesto.

Detallamos las cantidades y precios de los diferentes equipos para el radio enlace y así poder obtener un costo aproximado.

3.5.4.1 Modelos de equipos Wi-Fi

Para el diseño del enlace punto a punto es necesario conocer las características de los equipos que existen en el mercado y tomamos como referente a dos marcas de equipos:

- RADWIN-2000 A (Ficha de datos en el Anexo F).
- Ubiquiti AirFiber 5x (Ficha de datos en el Anexo G).

3.5.4.2 Selección de equipos

En la tabla 3.27 detallamos las características técnicas de los equipos de redes inalámbricas RADWIN-2000 A y Ubiquiti AirFiber 5x.

En la tabla 3.19 se establecieron los requerimientos mínimos que deben cumplir los equipos para el enlace de red.

ESPECIFICACIONES	RADWIN-2000 A ^[79]	Ubiquiti airFiber 5x ^[77]
Potencia TX máxima (dBm)	25	26
Frecuencia (MHz)	2402-2482	-
	4890-5960	FCC 15.407: 5150 - 5350, 5470 - 5850
		IC RSS-210: 5470 - 5600, 5650 – 5850
		ETSI EN 301 893, EN 302 502: 5470 – 5875
Otras: 5150 – 5950		
Velocidad de Transmisión (Mbps)	10, 25, 50	500+
Rango Máximo (Km)	Hasta 120	200+
Encriptación / Seguridad EE.UU.	AES128, FIPS-197	128-bit AES
Ancho de banda (MHz)	5/10/20	10/20/30/40/50
Modulación	64 QAM; 2x2 MIMO – OFDM, MIMO/Diversidad/Un solo puerto	256QAM MIMO, 64QAM MIMO, 16QAM MIMO, QPSK MIMO, 1/2 Tasa QPSK xRT
Sensibilidad de Recepción (dBm)	10 MHz a (-72, -70, -67); 20 MHz a (-72, -70, -67)	10 MHz a (-66, -74, -81, -88, -90); 20 MHz a (-64, -71, -78, -85, -87); 30 MHz a (-62, -69, -76, -83, -85); 40 MHz a (-61, -68, -75, -82, -84); 50 MHz a (-60, -67, -74, -81, -83)
Tecnología	TDD (Dúplex)	HDD (<i>Hybrid Division Duplexing</i>)
Protocolos	SNMPv1, SNMPv3 y Telnet. RADWIN NMS (RNMS)	SNMP, SNP, Telnet
Puertos	Dispositivo POE: 1 puerto 10/100/1000BaseT IDU-C e IDU-E: 2 puertos 10/100BaseT y 10/100/1000BaseT en IDU-C EO IDU-H: 6 puertos POE, 10/100/1000BaseT 2 puertos LAN, 10/100/1000BaseT, 2 puertos SFP GbE	Datos: (1) 10/100/1000 Puerto Ethernet. Alimentación: (1) 10/100 Puerto Ethernet. POE.
Conectores	RJ-45. Tipo N. ODU con conectores de Serie A: 17.1 cm (ancho) x 19.6 cm (alto) x 7.2 cm (prof.); 1.1 kg/ 2.4 lbs	RJ-45. Tipo N. (2) RP-SMA a prueba de la intemperie (CH0, CH1) (1) SMA a prueba de la intemperie (GPS)
Alimentación Eléctrica	-20 a -60 VDC (alimentación dual en IDU-C); 100-240VCA, 50/60 Hz. Serie A: 15W (ODU+IDU); 10W (ODU + dispositivo PoE)	24V, 1A adaptador PoE Gigabit (incluido)
Temperatura de Operación	ODU: -35°C a 60°C	-40° a 55° C
Regulaciones de Radio	FCC, IC, EN, WPC, MII,	CE, FCC, IC
Administración	RADWIN manager	airOS F
Antena	Unidad de exteriores con antena integrada – ODU	AF-5G30-S45
Ganancia (dBi)	24	30
Dimensiones y peso	Serie A: ODU con antena integrada: 21.4 cm (ancho) x 19.7 cm (alto) x 7.7 cm (prof.); 1.3 kg/ 2.8 lbs	224x82x48 mm (8.82x3.23x1.89). Ancho: 0.35 kg (0.77 lb). Tamaño del diámetro 650 mm

Tabla 3.27: Comparación Técnica Equipos Inalámbricos

Adaptado por: Danilo Mejía Suárez

Fuentes: <http://es.radwin.com/contentManagement/uploadedFiles/folletos/RADWIN-2000-es.pdf>,

https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf

Los costos comparativos de los equipos se observan en la tabla 3.28. El valor del IVA no está incluido en estos presupuestos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
RADWIN 2000A ANEXO F	Enlace de radios Radwin-2000 A Enlace Carrier Class IP-67 Capacidad 10 Mbps Incluye antenas de 24 dBi Garantía de un año contra defectos de fabricación	2	842,75	1685,5	3560,5
	Instalación, configuración y pruebas de enlace de radio. Incluye: Movilización de personal y equipos a Putumayo. Montaje, configuración y pruebas (24 horas) del enlace. Materiales y accesorios de instalación.	1	1875	1875	
airFiber AF-5x ANEXO G	Kit airFiber 5X airFiber Dish, 5GHz 30 dBi, Slant 45 Antena AF-5G 30.S45 Garantía de un año contra defectos de fabricación	2	1580	3160	5035
	Instalación, configuración y pruebas de enlace de radio. Incluye: Movilización de personal y equipos a Putumayo. Montaje, configuración y pruebas (24 horas) del enlace. Materiales y accesorios de instalación.	1	1875	1875	

Tabla 3.28: Comparación Técnica Equipos Inalámbricos
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

De los requerimientos expuestos, se puede realizar un cuadro comparativo del cumplimiento de los requerimientos mínimos entre las soluciones que proponen los fabricantes, ver tabla 3.29.

Las dos opciones cumplen con los requisitos, pero el equipo Ubiquiti airFiber 5x tiene un rendimiento optimizado y la arquitectura de radio están diseñados específicamente para aplicaciones de larga distancia y al aire libre. El AirFiber 5X cuenta 10.6 bps de eficiencia espectral, velocidad de línea de procesamiento de paquetes de datos de hasta 500 Mbps de rendimiento de datos reales, y

tecnología de alcance Xtreme (XRT) para un rango máximo de más de 200 km ^[76], [77], [91], [92], lo que justifica un costo un poco más elevado respecto al equipo de RADWIN-2000 A, por lo tanto se escoge la marca Ubiquiti para el enlace punto a punto.

CARACTERÍSTICA	RADWIN-2000 A	Ubiquiti airFiber 5x
Equipo outdoor	CUMPLE	CUMPLE
Frecuencia de operación: 5.8 GHz	CUMPLE	CUMPLE
Potencia mínima de transmisión: 22 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Antena: conector tipo N	CUMPLE	CUMPLE
Sensibilidad: -75 dBm	CUMPLE	CUMPLE
Velocidad de transmisión mínima: 50 Mbps	CUMPLE	CUMPLE
Soporta SNMP	CUMPLE	CUMPLE
Encriptación AES	CUMPLE	CUMPLE
Interfaz Ethernet	CUMPLE	CUMPLE
Temperatura (-40°C a 60°C)	CUMPLE	CUMPLE
Precio (no incluye IVA)	3560,50 USD	5035 USD

Tabla 3.29: Comparación de equipos WIFI
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

3.5.4.3 Antenas

Ciertos fabricantes de equipos de radio enlace punto a punto tienen incluido la antena, en la tabla 3.27 se indica los fabricantes con sus antenas incluidas.

3.5.4.4 Presupuesto de los Equipos

En la tabla 3.28, detallamos el costo referencial de los equipos Ubiquiti airFiber 5x, instalación, configuración y pruebas de enlace de radio que incluyen: movilización de personal y equipos airFiber 5x al cantón Putumayo, montaje, configuración y pruebas (24 horas) del enlace, materiales y accesorios de instalación.

El presente proyecto tiene un alto beneficio social para la región Amazónica, con una inversión mínima lograremos la integración de la comunidad de Silvayaku al cantón Putumayo y a las TICs.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El presente caso de estudio planteado es viable, se obtuvo un evidente resultado que determinó que existe línea de vista entre los puntos para implementar el enlace y la distancia está dentro de los márgenes técnicos.
- Las redes inalámbrica con tecnología Wi-Fi, se pueden desplegar rápidamente y con pocos recursos económicos por lo que son una solución más viable para zonas rurales.
- El dotar de acceso a Internet a los habitantes de la comunidad de Silvayaku, permite reducir el analfabetismo digital e incursionar con mayor facilidad a un mundo globalizado de la información.
- El estudio y diseño de este proyecto de una Red Inalámbrica de Telecomunicaciones es de carácter social, cumple con la responsabilidad de atender las áreas rurales en la comunidad de Silvayaku.
- Hoy en día las redes WLAN son ampliamente utilizadas para ambientes en exteriores, esto se debe a los equipos robustos que existen en el mercado.
- La tecnología FSO ofrece comunicaciones punto a punto a velocidad de la luz por medio del aire, la cual es implementada especialmente en ciudades para conectar edificios que tengan línea de vista con una distancia aproximada de 2 Km ^[35].
- Las comunicaciones inalámbricas tienen la ventaja de poder acceder a lugares en los cuales las redes cableadas no lo hacen. En el capítulo 3 se definió que Wi-Fi es la tecnología que cumple con todos los requerimientos, y además presenta precios más accesibles, que van desde los 3.500 dólares (ver

detalles anexo A y anexo C), que los precios de FSO van desde los 12 mil dólares ^{[41], [42]}.

- La proyección de la población de la comunidad de Silvayaku dentro de 5 años, permite que la red sea escalable.
- La zona de cobertura de un radio depende de la potencia de transmisión y de la ganancia de la antena, estos dos factores se los analiza en función de las características del equipo a implementar y de las normas de regularización.
- Con una altura de 30 metros de las torres, logramos obtener línea de vista entre las radios bases.
- La máxima velocidad de transmisión del enlace punto a punto será de aproximadamente 18.4 Mbps, velocidad que es soportada por la tecnología Wi-Fi, y permitirá escalar la red.
- El modelo teórico de desempeño de un radio enlace permite evaluar la factibilidad para la implementación de una red inalámbrica.
- El programa de simulación Radio Mobile es una herramienta capaz de ofrecernos resultados fiables de radioenlaces que facilita el diseño de redes inalámbricas a través de una interfaz muy amigable para el usuario. La ventaja de utilizar este programa es que su utilización es gratuita y no conlleva ninguna limitación en cuanto a los parámetros de los equipos.
- Los precios de los equipos Wi-Fi para exteriores dependen del fabricante, debido a que unos utilizan protocolos propietarios para hacer más robustos sus equipos, mientras que otros fabricantes utilizan protocolos estándares y como consecuencia las prestaciones de sus equipos son limitadas.
- Debemos tener en cuenta que una correcta configuración, instalación y mantenimiento de los equipos, garantizarán el correcto funcionamiento de la red durante su tiempo de vida útil.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la distancia máxima para un enlace punto a punto con equipos Ubiquiti airFiber 5x no sea mayor de 92,06 Km (ver detalles tabla 3.20), para garantizar su cobertura y calidad de servicio.
- Para la elección de los equipos se debe tomar en cuenta el criterio de costo beneficio, que no siempre quiere decir que el menor precio es el más recomendable, porque un bajo costo inicial puede implicar un gran costo en el futuro debido a que los equipos se dañan o no son estables.
- Se recomienda que en la instalación de los equipos se siga las recomendaciones de los fabricantes para garantizar un correcto funcionamiento.
- La altura calculada para la antena receptora en la comunidad de Silvayaku, es el mínimo que debe tener para que exista línea de vista, recomendamos realizar pruebas de conectividad antes de establecer la altura definitiva de las antenas.
- Para la instalación de las antenas debemos tener en cuenta que éstas no deben ser ubicadas cerca de superficies conductoras como techos de zinc, porque esta superficie reflejará la señal y por ende se tendrá pérdidas adicionales en el balance de potencia del radio enlace.
- Se recomienda considerar mantenimientos preventivos de los equipos como mínimo una vez al año, para de esta forma optimizar el tiempo de vida útil de los mismos, y así evitar inconvenientes por mal funcionamiento.
- Se debe tomar en cuenta que este proyecto está trabajando en la banda de frecuencia 5.7 GHz que es no licenciada pero a pesar de eso se debe acudir al CONATEL a cancelar un valor de Derecho de Concesión Anual.
- Al momento de seleccionar la ubicación del transmisor y receptor debemos tomar en cuenta que la altura garantice línea de vista y cuenten con infraestructura como torres, energía eléctrica, casetas y seguridad.

- Al momento de adquirir los equipos verificar su óptimo funcionamiento y la garantía de los mismos.
- Es aconsejable en el caso de implementar la red inalámbrica, elaborar un diagrama de red y documentar las configuraciones para que el personal del GAD Municipal de Putumayo pueda dar soporte e incluso realizar modificaciones.
- Capacitar al personal del GAD Municipal de Putumayo que estarán a cargo de los equipos de comunicaciones, porque ellos serán los encargados de solucionar problemas en el caso de que se presenten.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ph.D. WILLEBRAND Heinz, BACKSHEESH S. Ghuman, (2002), "Free Space optics: Enabling Optical Connectivity in Today's Networks". Indianapolis, SAMS Publishing.
- [2] LÁMSBERG, (1983).
- [3] Ingeniera Ma. Soledad Jiménez MSc., "Material de Apoyo, módulo Fibra Óptica", PUCE Febrero 2008.
- [4] TERESI Dick, HECHT Jeff, "El rayo láser", (1997).
- [5] Nogueira D., (2007).
- [6] SEINFELD John H., PANDIS Spyros N., "Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change". Second Edition.
- [7] GAST Mathew. 802.11 Wireless Networks The Definitive Guide. Abril 2002.
- [8] ENGST Adam, FLEISHMAN Glenn. The Wireless Networking Starter Kit. Segunda Edición. 2004.
- [9] TANENBAUM Andrew S, (2012), Redes de Computadoras, 5ª. Edición, Prentice Hall Hispanoamérica S.A.
- [10] GEYI Wen. Foundations for Radio Frequency Engineering. Nanjing University of Information Science & Technology, China. 2015 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [11] ARIGANELLO Ernesto, (2011), Redes Cisco, Guía de Estudio para la Certificación CCNA 640-802, 2ª. Edición, RA-MA Editorial.
- [12] Authors is licensed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 3.0. Wireless Networking in the Developing World by the WNDW. Third Edition. February 2013.
- [13] Fleishman Glenn, (2013), Radio Enlaces, Wireless Networking in the Developing World. 3ª. Edición.

- [14] Dr. Rafael Belloso Chacín, Cálculo del Parámetro de Radio Atenuación Troposférica por Lluvia en las Frecuencias de 0.4 Y 60 GHz, . Venezuela. Sexta Edición. 2007.
- [15] VIJAY K., (2007). Wireless Communications and Networking. Amsterdam: Morgan Kaufman Publishers.
- [16] MURILLO Fuentes, Juan José. Tema 7. Radio propagación. Radiación y Radiocomunicación, 4º Ingeniería de Telecomunicación. Universidad de Sevilla. 2008.
- [17] Ingeniero Iván Bernal Carrillo PhD., “Material de apoyo y apuntes, Comunicaciones Inalámbricas, Conceptos Básicos de Antenas y Propagación”, PUCE 2008.
- [18] TOMASI Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta edición, 2003. DeVry Institute of Technology, Phoenix, Arizona.
- [19] <http://www.slideshare.net/rivamara/optical-wireless-presentation> (Julio 2016).
- [20] [http://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-5-transmisores-y-receptores-opticos-/](http://telecomunicaciones2.webnode.mx/unidad-6/a6-5-transmisores-y-receptores-opticos/) (Julio 2016).
- [21] <https://www.itu.int/itudoc/itu-d/question/studygr2/q16-2-1-es.pdf> (Julio 2016).
- [22] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solids/imgsol> (Julio 2016).
- [23] http://web.archive.org/web/20090617091544/http://www.hqisec.army.mil/isec/publications/Analysis_of_Free_Space_Optics_as_a_Transmission_Technology_Mar05.pdf (Julio 2016).
- [24] <http://www.spie.org/> (Julio 2016).
- [25] <http://es.slideshare.net/tommy3235/curso-telecom-iii-2013-wifi> (Julio 2016).
- [26] <http://www.wificlub.org/featured/wifi-historia-evolucion-aplicaciones-desarrollos> (Julio 2016).
- [27] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11-2012.html> (Julio 2016).
- [28] <http://computerhoy.com/noticias/internet/wifi-ac-wifi-mas-rapido-que-cable-conoces-25517> (Julio 2016).
- [29] http://www.ecured.cu/Modelo_OSI (Julio 2016).

- [30] http://www.bdat.net/seguridad_en_redes_inalambricas/c113.html (Julio 2016).
- [31] <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace/> (Julio 2016).
- [32] http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/viabilidad_enlace_WiFi.pdf (Julio 2016).
- [33] https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel (Julio 2016).
- [34] <http://www.cablefree.net/cablefree-free-space-optics-fso/> (Julio 2016).
- [35] https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_%C3%B3ptica_por_el_espacio_libre (Julio 2016).
- [36] https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/trabajos/resumenes/gr15-FSO.pdf (Julio 2016).
- [37] <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11ac-2013.html> (Julio 2016).
- [38] <http://gadpalmaroja.gob.ec/> (Julio 2016).
- [39] <http://www.putumayo.gob.ec/putumayo/geografia> (Julio 2016).
- [40] <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/sucumbios.pdf> (Julio 2016).
- [41] http://www.wni.mx/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=15&Itemid=53 (Julio 2016).
- [42] <http://www.ebay.com/itm/2-Lightpointe-FlightLite-155E-Laser-Optical-Wireless-Bridge-Point-to-Point-LAN-/201507806994?hash=item2eeacd1f12:g:sMsAAOSw~bFWHY9E> (Julio 2016).
- [43] <https://prezi.com/abgu7yue-of3/calculo-de-velocidad-de-internet/> (Julio 2016).
- [44] http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/Resultados_principales_140515.Tic.pdf (Julio 2016).
- [45] <http://www.bloomberg.com/news/articles/2012-04-19/who-s-fastest-google-measures-web-speeds-around-the-world> (Julio 2016).
- [46] <https://analytics.googleblog.com/2012/04/global-site-speed-overview-how-fast-are.html> (Julio 2016).
- [47] http://www.google.com/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&ctype=c&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=it_net_user&scale_y=lin&ind_y=false&idim=country:JPN:SWE:CAN:GBR:USA:DEU:RUS:VNM:CHN:POL:ITA:ESP:AUS:CHL:MEX:MAR:BR

- A:ZAF:ARG:DZA:IND:EGY:KEN&ifdim=country&tunit=Y&pit=1271649600000&icfg#!
ctype=l&strail=false&bcs=d&nseim=h&met_y=it_net_bbnd&scale_y=lin&ind_y=false
&rdim=region&idim=country:ECU&ifdim=region&hl=es&dl=es&ind=false (Julio
2016).
- [48] <http://www.carlosnuel.com/aprende-a-calcular-cuantos-mb-puedes-gastar-al-mes.html> (Julio 2016).
- [49] <http://www.xatakamovil.com/conectividad/cuantos-mb-son-suficientes-para-un-smartphone-ahorra-mas-ajustando-la-tarifa-de-datos-a-tus-necesidades> (Julio 2016).
- [50] <https://www.safaribooksonline.com/blog/2009/11/16/how-big-is-the-average-epub-book/> (Julio 2016).
- [51] <https://support.google.com/youtube/answer/6375112> (Julio 2016).
- [52] <https://support.google.com/youtube/answer/2853702?hl=es-419> (Julio 2016).
- [53] <http://www.mundodivx.com/varios/bitrate.php> (Julio 2016).
- [54] <http://www.xatakafoto.com/guias/todo-lo-que-siempre-quisiste-saber-sobre-video-codecs-parte-1> (Julio 2016).
- [55] <http://www.elandroidelibre.com/2016/02/video-4k-mejor-full-hd.html> (Julio 2016).
- [56] <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=es> (Julio 2016).
- [57] http://www.cisco.com/cisco/web/support/LA/7/73/73295_bwidth_consume.html (Julio 2016).
- [58] <https://www.sinologic.net/blog/tag/codec> (Julio 2016).
- [59] <http://elastixtech.com/calcular-ancho-de-banda-en-voip/> (Julio 2016).
- [60] <http://agustinespindola.blogspot.com/2014/05/como-se-realiza-el-calculo-de-ancho-de.html> (Julio 2016).
- [61] <https://jesusvilchez.wordpress.com/2011/09/21/como-calcular-el-ancho-de-banda-digital-teorico-de-un-paquete-voip/> (Julio 2016).
- [62] http://www.cisco.com/c/en/us/products/unified-communications/networking_solutions_products_genericcontent0900aecd804f00ce.html (Julio 2016).

- [63] <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html> (Julio 2016).
- [64] <http://www.cisco.com/c/en/us/tech/voice/ip-telephony-voice-over-ip-voip/index.html> (Julio 2016).
- [65] <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Video/pktvideoaag.html#wp> (Julio 2016).
- [66] <http://www.tvtechnology.com/media-systems/0191/monitoring-mpeg-in-an-ip-network/262284> (Julio 2016).
- [67] <http://www.jvsg.com/bandwidth-storage-space-calculation/> (Julio 2016).
- [68] [https://technet.microsoft.com/es-es/library/jj688118\(v=ocs.15\).aspx](https://technet.microsoft.com/es-es/library/jj688118(v=ocs.15).aspx) (Julio 2016).
- [69] <http://www.viavisolutions.com/en-us> (Julio 2016).
- [70] <http://www.stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator> (Julio 2016).
- [71] http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6182/S2011014_es.pdf (Julio 2016).
- [72] <http://www.cca.org.mx/cca/cursos/matematicas/cerrada/cpcomp/introcaso4.htm> (Julio 2016).
- [73] http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/001-TEL-01-CONATEL-2015_GE.pdf (Julio 2016).
- [74] <http://181.188.199.8/images/files/NormadeCalidad2009.pdf> (Julio 2016).
- [75] <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Norma+MDBA.pdf> (Julio 2016).
- [76] <https://www.ubnt.com/airfiber/airfiberx/> (Julio 2016).
- [77] https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf (Julio 2016).
- [78] <http://www.radwin.com/products/point-to-point/radwin2000> (julio 2016).
- [79] <http://es.radwin.com/contentManagment/uploadedFiles/folletos/RADWIN-2000-es.pdf> (Julio 2016).
- [80] https://en.wikipedia.org/wiki/Link_budget (Julio 2016).
- [81] <http://www.radiocomunicaciones.net/teoria-antenas.html> (Julio 2016).
- [82] <http://www.xirio-online.com/help/es/rec526.html> (Julio 2016).
- [83] <http://www.qsl.net/cx1ddr/cable.htm> (Julio 2016).

- [84] <http://www.qsl.net/cx1ddr/wifi/cables.htm> (Julio 2016).
- [85] http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf (Julio 2016).
- [86] http://www.coimbraweb.com/documentos/radio/8.5_calculo_enlace.pdf (Julio 2016).
- [87] http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esofisicaquimica/3quincena11/3q11_contenidos_5d.htm (Julio 2016).
- [88] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-2-199408-1!!PDF-S.pdf (Julio 2016).
- [89] <http://www.aulafacil.com/cursos/l11093/ciencia/matematicas/trigonometria-plana/angulos-de-elevacion-y-depresion-seno-y-coseno-de-un-angulo> (Julio 2016).
- [90] <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/utilidades/RadioMobile/leeme> (Julio 2016).
- [91] https://dl.ubnt.com/guides/airfiber/airFiber_AF-5X_QSG.pdf (Julio 2016).
- [92] <http://www.ebay.es/itm/Ubiquiti-af-5x-Airfiber-5x-Full-Duplex-500mbps-Ptp-Gigabit-Radio-af5x-/172005139495> (Julio 2016).
- [93] <http://www.ecuadorencifras.gob.ec> (Julio 2016).
- [94] <http://www.cplus.org/rmw/english1.html> (Julio 2016).
- [95] http://radiomobile.pe1mew.nl/?Calculations:ITM_model_propagation_settings (Julio 2016).
- [96] http://radiomobile.pe1mew.nl/?The_program:File_menu:Network_prop.._Parameters (Julio 2016).
- [97] <http://www.igm.gob.ec/index.php/en/> (Julio 2016).

ANEXO A

**TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DE LA
COMUNIDAD DE SILVAYAKU**

A. TASA DE CRECIMIENTO - INEC



Consulta realizada directamente al INEC, obteniendo la siguiente información disponible de la comunidad del área dispersa denominada Silvayaku, ubicada en la cabecera cantonal Puerto el Carmen del Putumayo, cantón Putumayo, provincia de Sucumbíos, proveniente de los censos 2001 y 2010, ver detalles en las tablas A.1 y A.2.

A.1 Población Silvayaku CPV 2010

DPA_LOCALI	DPA_ANIO	DPA_SECDIS	DPA_DESLOC	POBLACIÓN
21035099900201	2010	210350999002	SILVAYACU	138

Tabla A.1: Censo de Población y Vivienda 2010

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC

A.2 Población Silvayaku CPV 2001

DPA_LOCALI	DPA_ANIO	DPA_SECDIS	NOM_LOC_ET	POBLACIÓN
21035099900201	2001	210350999002	SILVAYACU	46

Tabla A.2: Censo de Población y Vivienda 2001

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC

A.3 Tasa de Crecimiento Promedio Anual

Es el crecimiento anual por cada 100 habitantes. Para el cálculo de la tasa de crecimiento intercensal, se aplica la ecuación A.1 ^[93].

$$r = \ln\left(\frac{Nt}{No}\right) * \frac{1}{t} (100) \quad (\text{Ecuación A.1})$$

Donde:

N_t : Población en el año t

N_0 : Población en el año base

t : Tiempo en años

r : Tasa de crecimiento promedio anual

\ln : Logaritmo natural

ANEXO B
COTIZACIONES DE EQUIPOS RADWIN 2000 A

B. COTIZACIÓN DE EQUIPOS INALÁMBRICOS RADWIN 2000 A

Quito, Julio 11 de 2016



Señor:
Danilo Mejía

Referencia: Cotización Radios

Nos complacemos en presentarle nuestra propuesta económica del equipamiento descrito a continuación:

Item	CANT	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
		EQUIPOS - OPCION 1		
1.1	1	ENLACE DE RADIOS RADWIN-2000A ENLACE CARRIER CLASS IP-67 CPACIDAD 10 MBPS INCLUYE ANTENAS DE 24 dBi	\$ 1.687,50	\$ 1.687,50
		EQUIPOS - OPCION 2		
2.1	1	ENLACE DE RADIOS UBIQUITI POWER BEAM M5 AC 400 ENLACE PUNTO A PUNTO CPACIDAD HASTA 400 MBPS, DEPENDIENTE DE LA DISTANCIA Y CONDICIONES EXTERNAS INCLUYE ANTENAS DE 25 dBi	\$ 450,00	\$ 450,00
		SERVICIOS		
2.1	1	INSTALACION CONFIGURACION Y PRUEBAS DE ENLACE DE RADIO INCLUYE: MOVILIZACION DE PERSONAL Y EQUIPOS A PUTUMAYO MONTAJE , CONFIGURACION Y PRUEBAS (24 HORAS) DEL ENLACE MATERIALES Y ACCESORIOS DE INSTALACION. NO INCLUYE TORRE DE COMUNICACIONES, EQUIPOS Y ACOMETIDAS ELECTRICAS	\$ 1.875,00	\$ 1.875,00

Validez de la oferta: 30 días

Entrega: local

Forma de pago: Contra entrega de los equipos

Tiempo de entrega: Inmediato, equipos en stock sujetos a venta

Garantía: UN AÑOS contra defectos de fabricación, la garantía no incluye daños ocasionados por agentes externos o mala operación de los equipos

Atentamente

Paola Escobar

ANEXO C
COTIZACIONES DE EQUIPOS AIRFIBER 5X

C. COTIZACIÓN DE EQUIPOS INALÁMBRICOS AIRFIFER 5X



PROFORMA P... 7567

Fecha: 26/02/2016

CLIENTE:

ROMULO EDISON MEJIA LOPEZ
EKYPOS

DIRECCION:

Item	Descripcion	Cant.	Valor Unit.	Total:
AF-5X	KIT DE OFERTA airFiber 5X	2	0.01	0.02T
AF-5G30-S45	airFiber Dish,5GHz 30dBi,Slant 45	2	1,580.00	3,160.00T
AF5-AIRFIBER 5...	2 OPCION AF5-(AIRFIBER 5GHZ) (Ultimo Kit que se Utilizó para pruebas)	2	1,519.00	3,038.00T
GESTION	Gestion de Envio // PENDIENTE		0.00	0.00T

* Garantia equipos un año, los POE 30 dias * Validez de la proforma: 8 dias.

* Girar cheque a nombre de Andewireless Cia.Ltda

1. Banco del Pichincha Cta Cte. 3455091604

2. Banco de Guayaquil Cta Cte. 9438580

3. Banco Internacional Cta.Cte. 0630608499

4. Banco del Pacifico Cta.Cte.7498257

5. Cta. Paypal: ventas@aire.ec - financie su compra sin recargo y al plazo que necesita!

Subtotal: \$6,198.02

Iva: (12.0%) \$743.76

Total: \$6,941.78

ANEXO D
TUTORIAL PROGRAMA DE SIMULACIÓN RADIO
MOBILE

D. RADIO MOBILE ^{[90], [94]}

“Es un programa gratuito utilizado para predecir el rendimiento de un sistema de radio. Utiliza datos digitales de elevación del terreno para la extracción automática del perfil de trayectoria entre un emisor y un receptor. Estos datos se agregan a los parámetros del sistema, ambientales y estadísticos para alimentar el modelo de propagación radioeléctrica del Modelo de Terreno Irregular. Los datos de elevación también se utilizan para producir mapas virtuales en segundo plano” ^[94].

D.1 Ingreso de datos

Ingresamos los datos con la finalidad de analizar los resultados que se obtienen en la aplicación Radio Mobile. Se procesa de con los siguientes pasos:

D.2 Ingresar al programa y crear un nuevo proyecto de trabajo

- Clic en Archivo. Ver figura D.1.
- Clic en Nuevas Redes.
- Ingresamos los datos para la configuración.
- Número de redes “1”, Red GadPutumayo-Silvayaku.
- Número de unidades “2”.
- Numero de sistemas “1”, PTP.
- Memoria necesaria estimada “2K”.

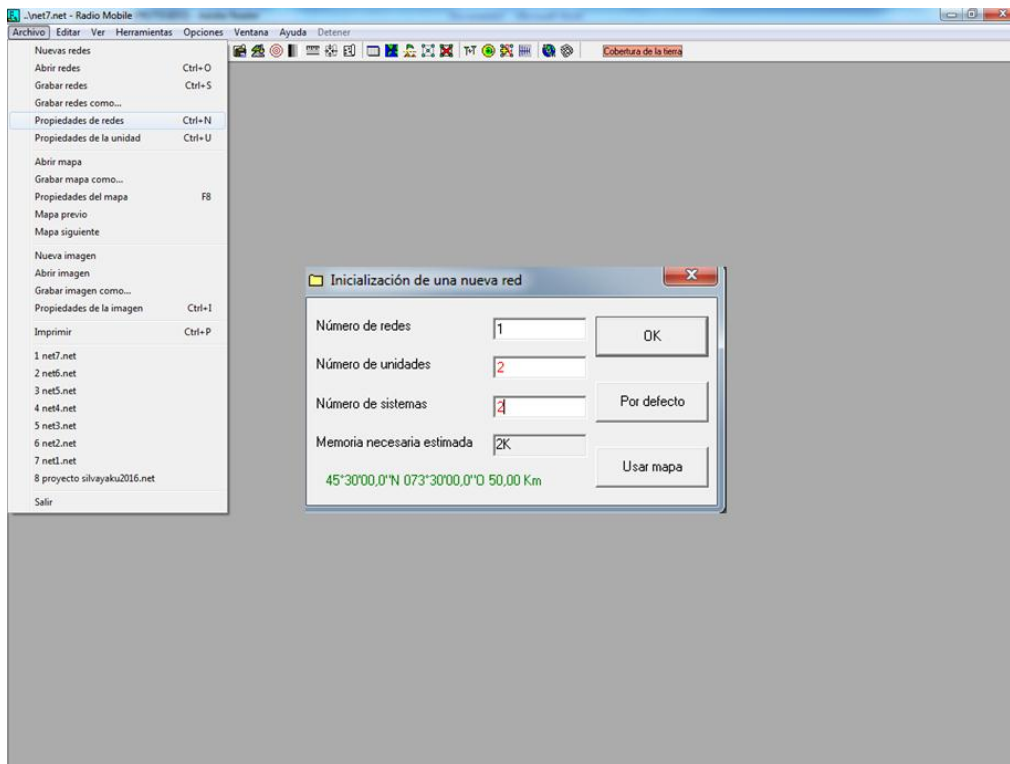


Figura D.1: Inicialización de una nueva red
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.3 Propiedades de Redes

Se define las características de la red que se va a utilizar.

- Clic en Archivo.
- Clic Propiedades de Redes.

D.4 Propiedades de Redes “Parámetros”

- Clic Parámetros. Figura D.2.
- Nombre de la red: “Red GadPutumayo-Silvayaku”.
- Frecuencia mínima [MHz]: 5725 MHz.
- Frecuencia máxima [MHz]: 5875 MHz.
- Polarización: la antena usa una polarización “Vertical”.

- Modo Estadístico: seleccionamos el entorno “Móvil”, para operativos de campo y en condiciones extremas.
- Porcentaje de tiempo: 50%.
- Probabilidad de situaciones: 50%.
- Clima: considerando el modelo de longley-rice, se selecciona el clima continental temperado con refractividad de 301 [N-units] y el tipo de suelo que escogemos es “tierra promedio” con conductividad de 0,005 [S/m] y permitividad relativa de 15 [95], [96].

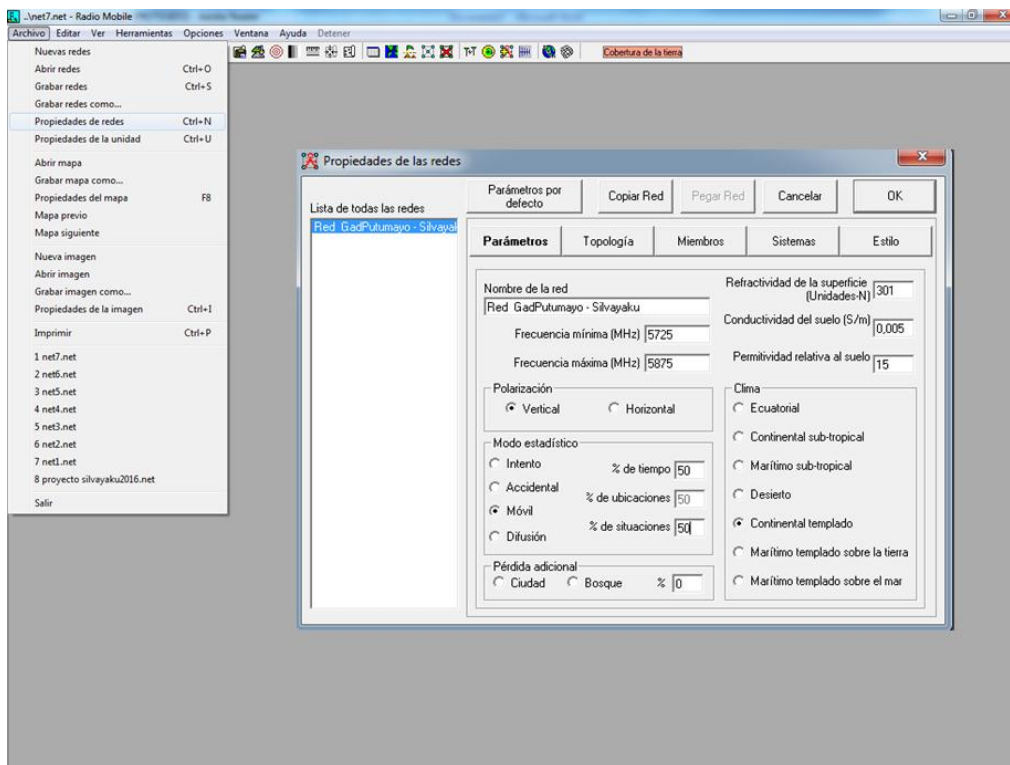


Figura D.2: Propiedades de la Red “Parámetros”
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.5 Propiedades de Redes “Topología”

- Clic en topología. Figura D.3.
- Escoger los valores solicitados.

- Visible: si está marcado, hace que la red sea visible en el mapa de trabajo.
- Existen tres tipos de topología: Red de voz; Red de datos (topología estrella) y Red de datos (cluster). Escogeremos la red de datos de topología en estrella que es la que se acopla a nuestro diseño.

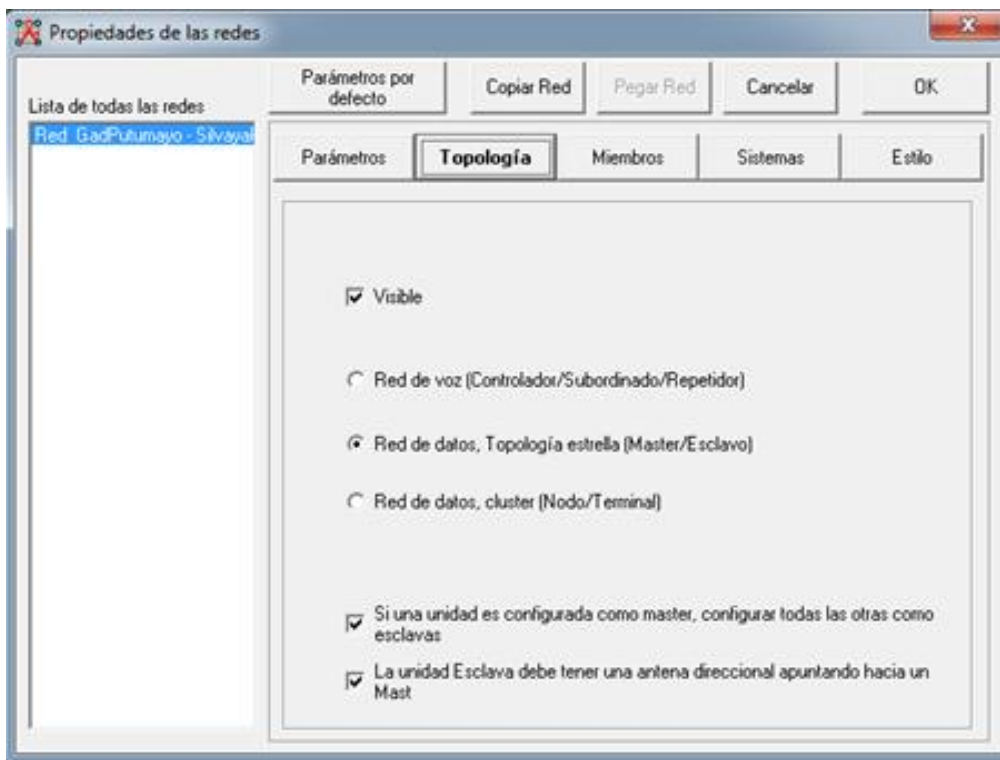


Figura D.3: Topología de Red
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.6 Propiedades de Redes “Sistemas”

- Clic en Sistemas. Figura D.4.
- Ingresaremos los datos de los parámetros de los equipos que se va a utilizar.
- Nombre del sistema: Especificamos un nombre para el equipo, en este caso PTP.
- Potencia del transmisor (Watt): Definimos la potencia de transmisión en Watt o decibles 26 dBm.
- Umbral de Receptor (uV): Definimos una sensibilidad del receptor de -75 dBm.

- Pérdida de la línea, Loss (dB): Corresponde a las pérdidas generadas en cables y conectores, asumimos un valor de 2 dB.
- Tipo de antena: Se especifica el tipo de antena utilizado en el diseño, escogemos una antena direccional “yagi.ant”.
- Ganancia de antena: Corresponde a la ganancia de una antena referida a una antena isotrópica (dBi) o la del dipolo de media longitud de onda (dBd). Para el caso de la antena escogida, la ganancia es 30 dBi.
- Altura de la antena: Corresponde a la altura de referencia sobre el terreno de emplazamiento. Para el diseño la altura será de 30 m.
- Pérdida adicional del cable: Corresponde a la atenuación por unidad de longitud de la línea de transmisión debida al cable que conecta la antena con el radio “0”.

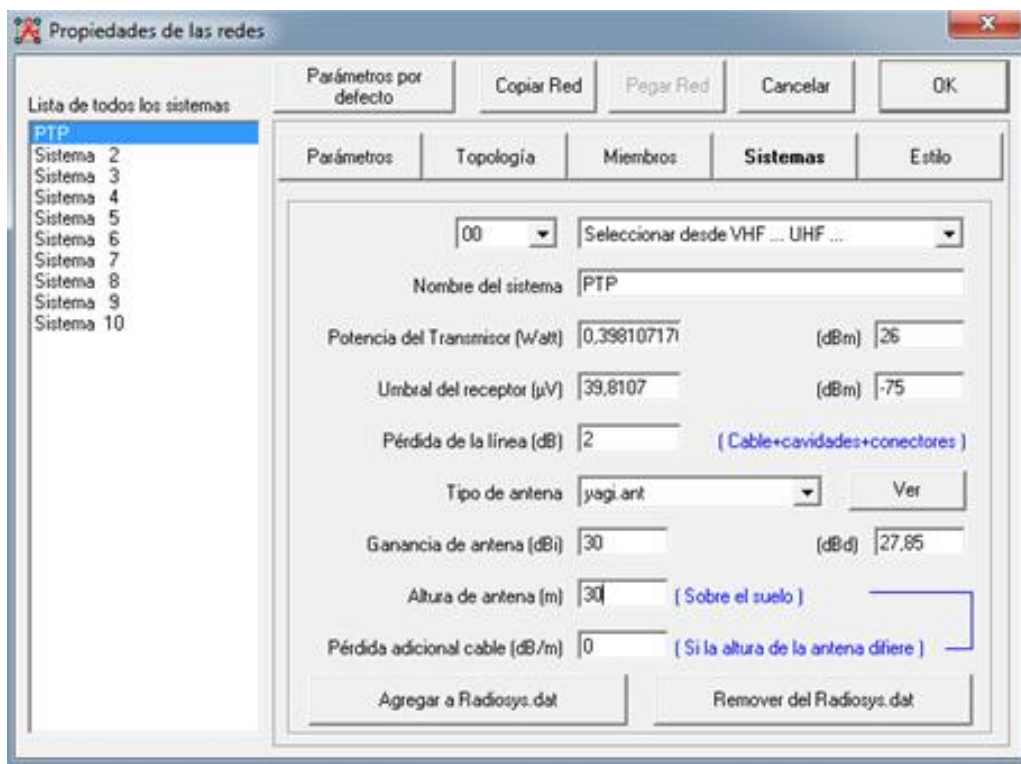


Figura D.4: Propiedades de Red “Sistemas”
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.7 Propiedades de Redes “Estilo”

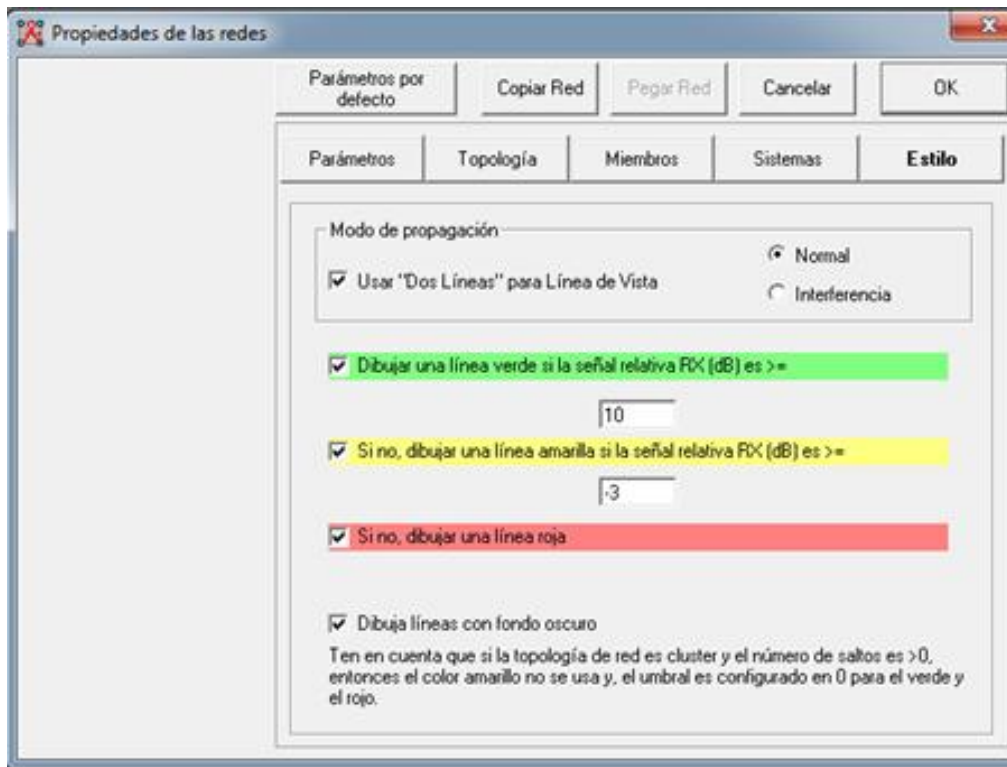


Figura D.5: Propiedades de Red “Estilo”
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- Modo de Propagación: Seleccionamos “Normal”, ya que en este diseño no se contempla el cálculo de interferencias que ocasionaran otras redes.
- Usar “Dos Líneas” para línea de vista: Permite habilitar o deshabilitar la aplicación del método de dos rayos (directo y reflejado en la superficie terrestre). Simplifica los cálculos y el tiempo de procesamiento en caso de radioenlaces de visión directa.
- Dibujar una línea verde si la señal Relativa Rx (dB) es ≥ 10 . Se dibuja una línea verde en el perfil, si la señal recibida en un punto del mapa supera el valor “10dB”.

- Si no, dibujar una línea amarilla si la señal Relativa Rx (dB) es ≥ -3 . Se dibuja una línea amarilla en el perfil, si la señal recibida en un punto del mapa supera el valor “-3dB”.
- Si no, dibujar una línea roja. Si no se cumplen los dos casos anteriores, dibujar una línea roja, es decir si la señal recibida no supera -3dB y 10dB.
- Dibujar líneas en fondo oscuro.
- Clic en OK. Procedemos a cargar los mapas necesarios para visualizar correctamente los puntos. Figura D.5.

D.8 Propiedades de del Mapa

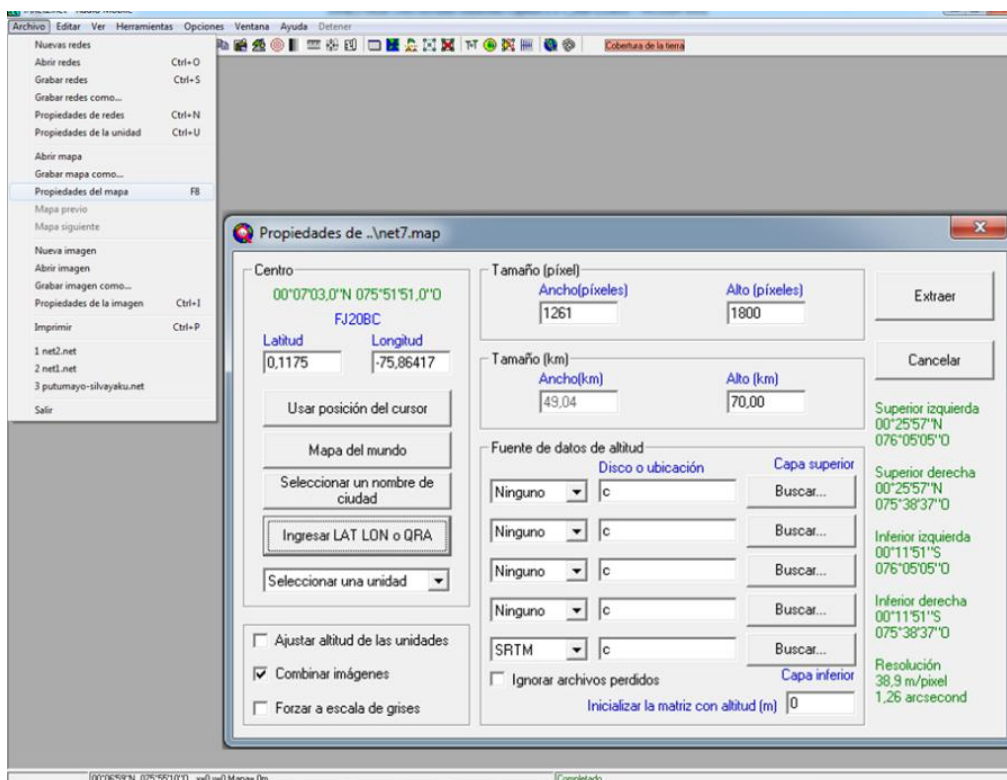


Figura D.6: Propiedades del Mapa
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- Cargar el mapa de relieve topográfico de la zona.
- Clic Archivo. Figura D.6.

- Clic Propiedades del Mapa.
- Configurar el mapa.
- Centro (Latitud/Longitud): Corresponde a las coordenadas del punto que queremos sea el centro del mapa de trabajo, de acuerdo a los mapas digitales utilizados.
- Clic Ingresar LAT LON o QRA e ingresamos los datos de una de las ubicaciones de la red, de esta manera se obtiene el mapa centrado en ese punto (no debe olvidarse seleccionar correctamente el hemisferio). Figura D.7.

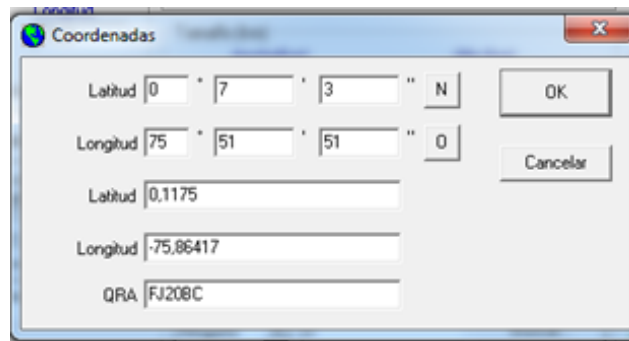


Figura D.7: Coordenadas PTP1 GAD Putumayo
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- Tamaño (Km) Ancho/Alto: Corresponde al tamaño de la porción del mapa de trabajo que se representará en pantalla, tomando como punto central el definido anteriormente.
- Fuente de datos de altitud: Indica la ubicación de los ficheros que almacenan los datos de elevación del modelo digital del terreno.
- Clic en Extraer para generar una imagen. Figura D.8.

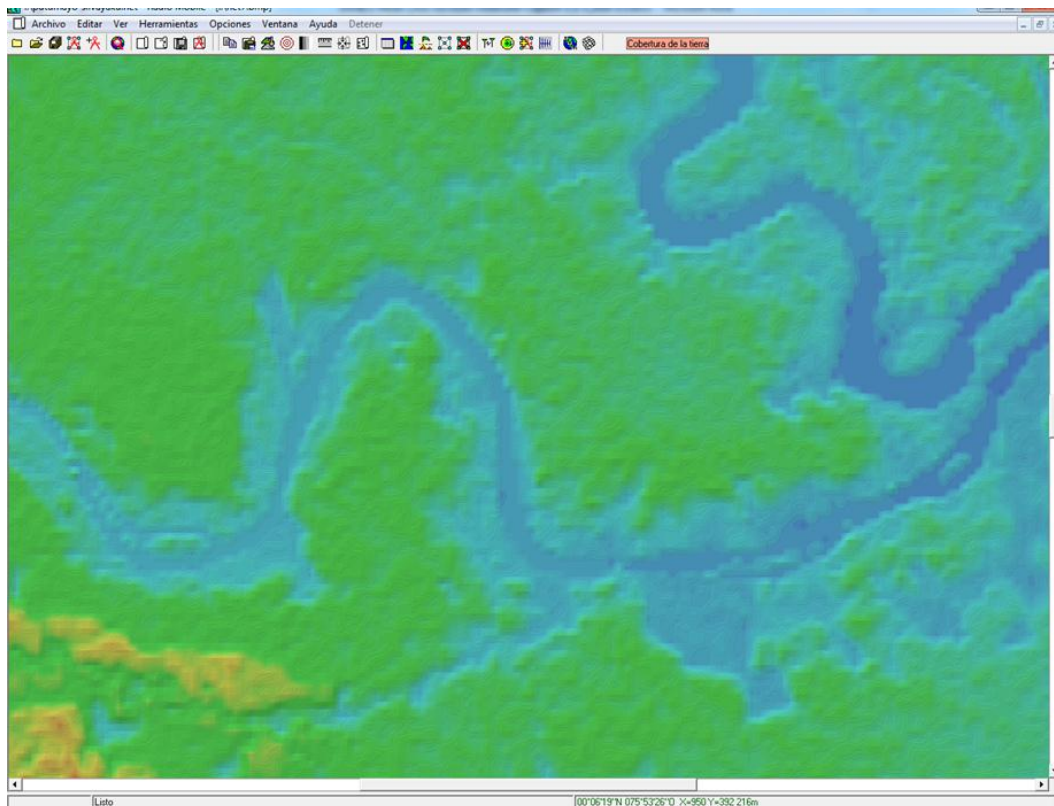


Figura D.8: Relieve Cantón Putumayo
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.9 Propiedades de la Unidad

- Propiedades de la unidad, define el posicionamiento de las estaciones.
- Clic en Archivo. Figura D.9.
- Clic Propiedades de la Unidad.
- Seleccionamos la “Unidad” e ingresamos el nombre de cada estación.
- Clic el en “Ingresar LAT LON o QRA”, para introducir las coordenadas de las ubicaciones de las estaciones.
- Los otros parámetros no mencionados, se usan para añadir, suprimir y definir estilos para las estaciones.

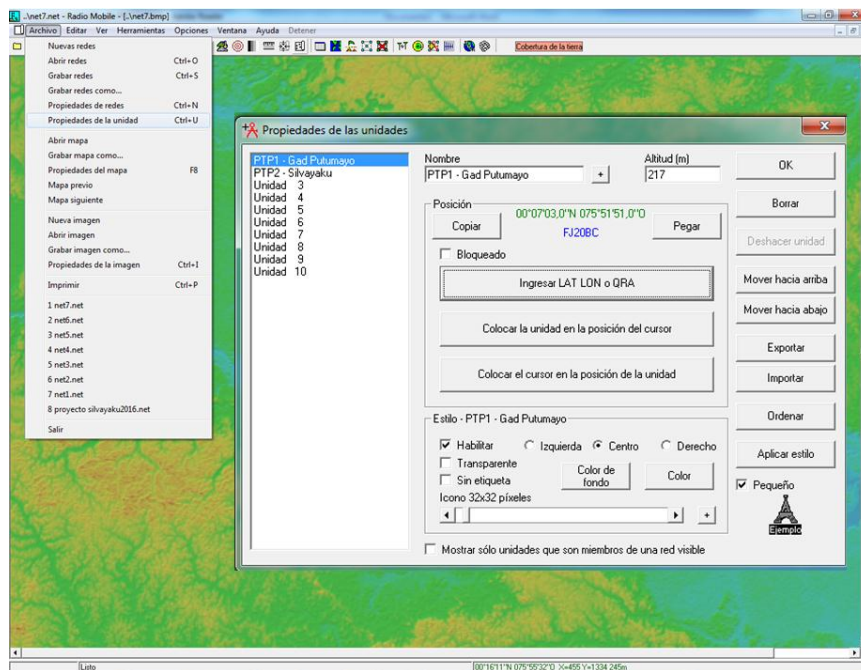


Figura D.9: Propiedades de las Unidades
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- Coordenadas de la unidad “PTP1 GAD-Putumayo”. Figura D.10.

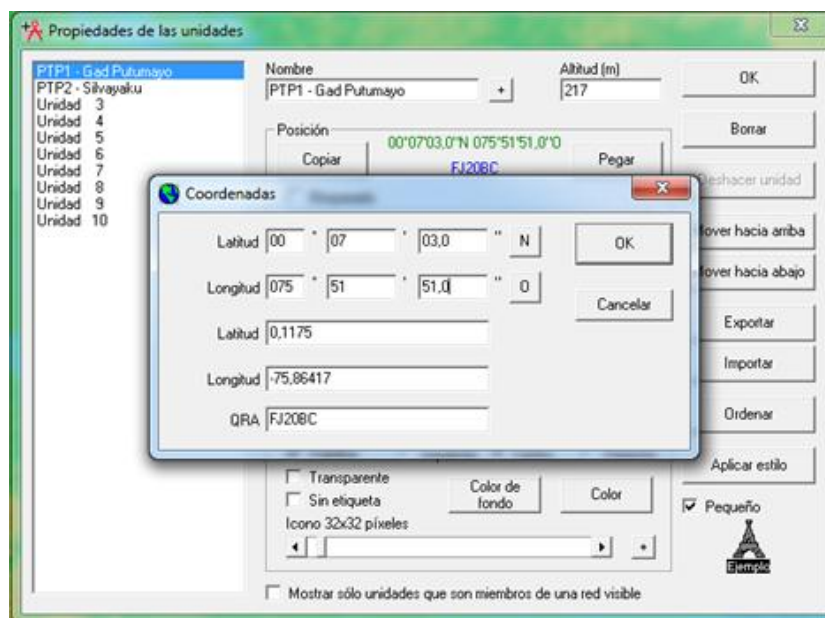


Figura D.10: Coordenadas de la Unidad “PTP1 GAD-Putumayo”
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- Coordenadas de la unidad “PTP2 Silvayaku”. Figura D.11.

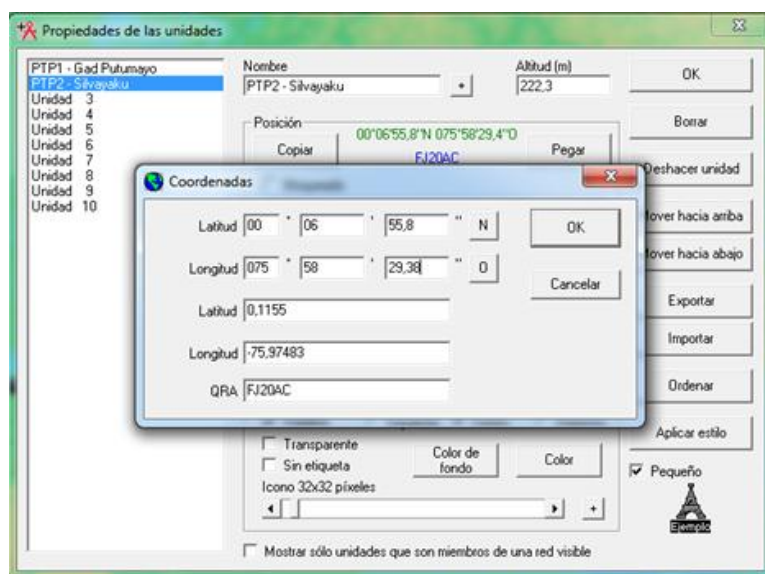


Figura D.11: Coordenadas de la Unidad “PTP2 Silvayaku”
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

- Clic Ok, para obtener las ubicaciones de las radio bases en el mapa. Figura D.12.

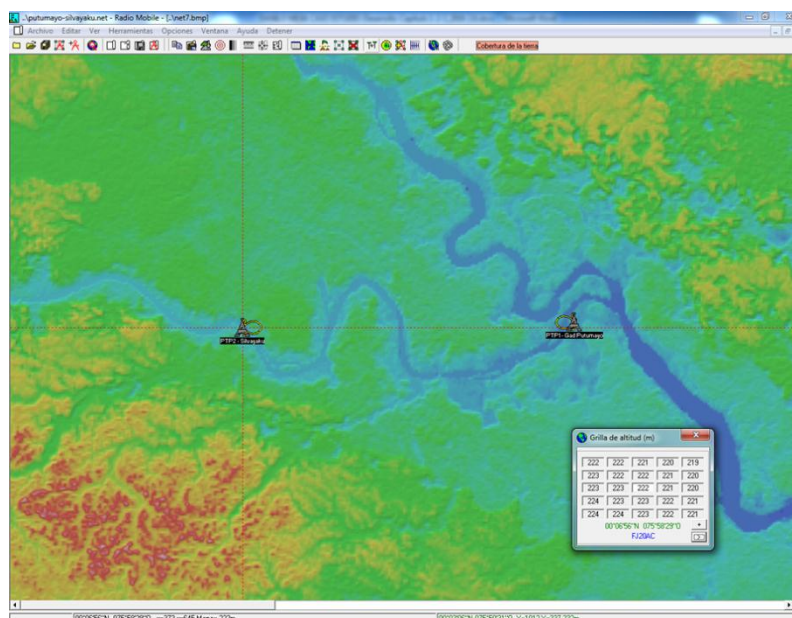


Figura D.12: Ubicación de las Radio Bases
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.10 Propiedades de Redes “Miembros”

- Definimos los parámetros de las propiedades de las redes de los Miembros.
- Clic Archivo. Figura D.13 y Figura D.14.
- Clic Propiedades de las redes.
- Clic en Miembros.
- Seleccionamos el sistema asociado a cada unidad, en este caso PTP1 y PTP2.
- En dirección de la antena seleccionar para PTP1 escogemos PTP2, y para PTP2 lo contrario, para alinear las antenas.
- Clic Ok.

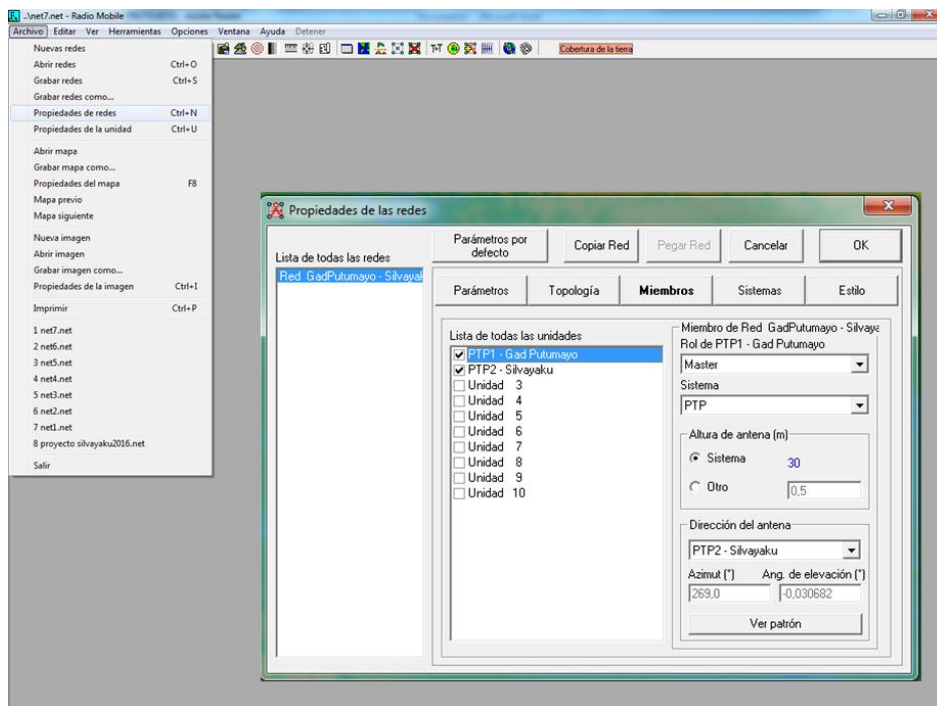


Figura D.13: Propiedades de la Red “Miembros” PTP1–PTP2
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

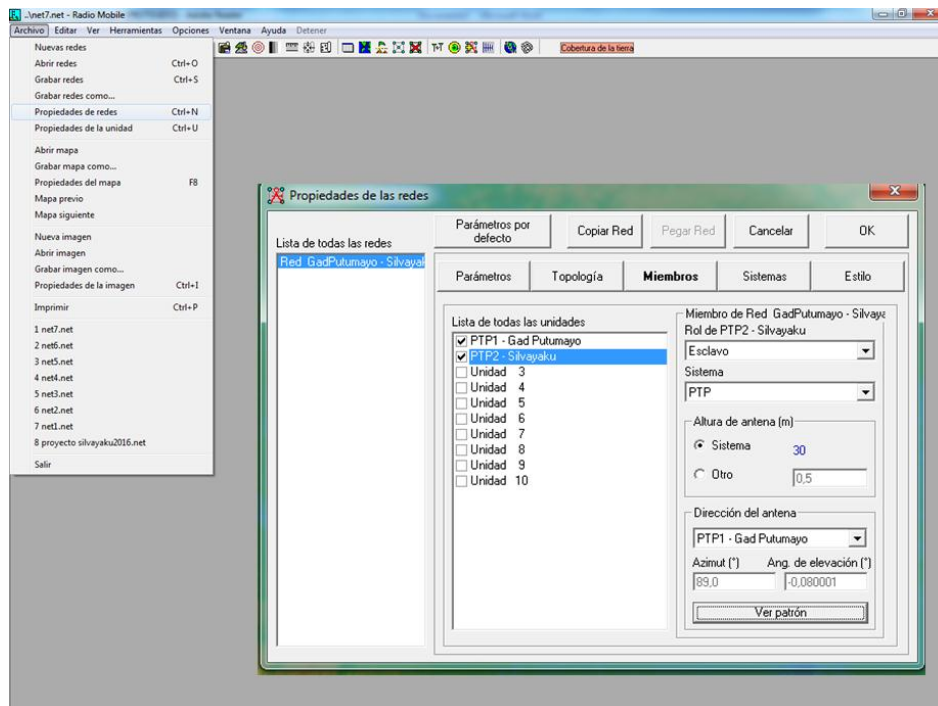


Figura D.14: Propiedades de la Red “Miembros” PTP2–PTP1
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.11 Enlace de Radio

- Visualización de resultado. Figura D.15.
- Clic Herramientas.
- Clic Enlace de radio.
- De esta manera se ingresa al espacio donde se puede verificar la altura que tendrá cada antena. Seleccionamos 30 m en la altura de PTP1 y 30 m en la altura de PTP2 y verificamos que efectivamente el enlace es posible.

D.12 Características del Radio Enlace

- Po otro lado, Radio Mobile nos facilita:
 - ✓ La potencia isotrópica radiada equivalente “PIRE” del transmisor y una medida de la señal recibida en el receptor (Rx Relativo).
 - ✓ Para alinear las antenas se requiere los parámetros: azimut y el ángulo de elevación.

- ✓ Se utiliza el azimut magnético para trabajar con la brújula y el geográfico para trabajar con mapas.

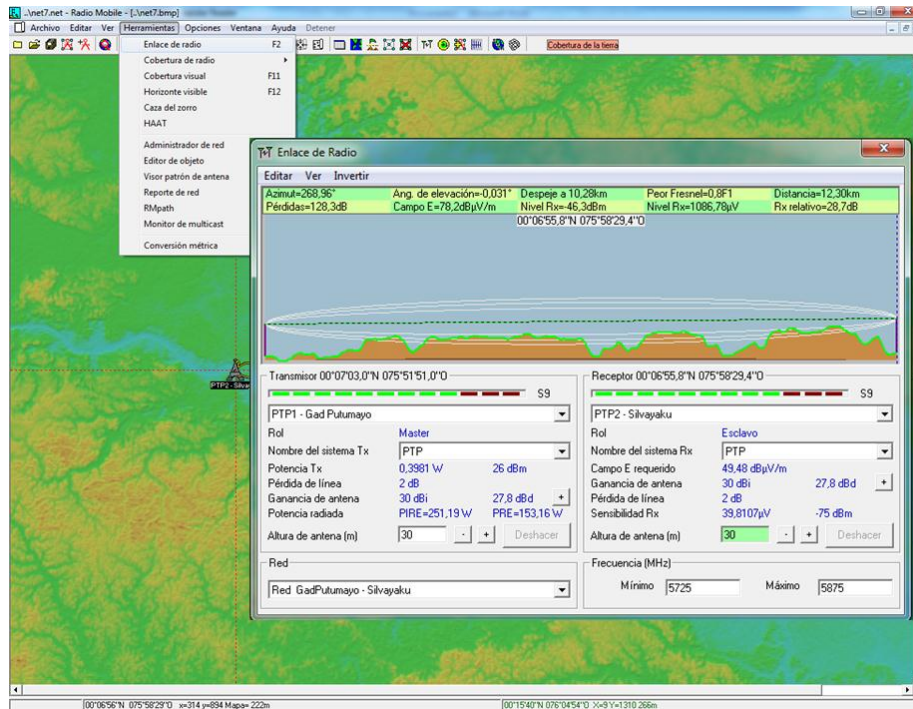


Figura D.15: Resultado Radio enlace PTP1-PTP2
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.13 Detalles del Radio Enlace

- Clic Ver de la ventana de Enlace de Radio. Figura D.16.
- Clic Detalles, en la cual se obtienen un resumen de las características del radio enlace:
 - ✓ Distancia entre PTP1 Gad Putumayo y PTP2 Silvayaku.
 - ✓ Azimut de PtP1 a PtP2 = 269 [°].
 - ✓ Azimut de PtP2 a PtP1 = 89 [°].
 - ✓ Ángulo de elevación de PtP1 a PtP2 = 0,031 [°].
 - ✓ Niveles de altitud variables.
 - ✓ Pérdida en espacio libre Lf [dB] = 128,3.
 - ✓ Pérdidas causadas por obstrucción LD(v) [dB] = 0.

- ✓ Datos útiles para la orientación de las antenas.

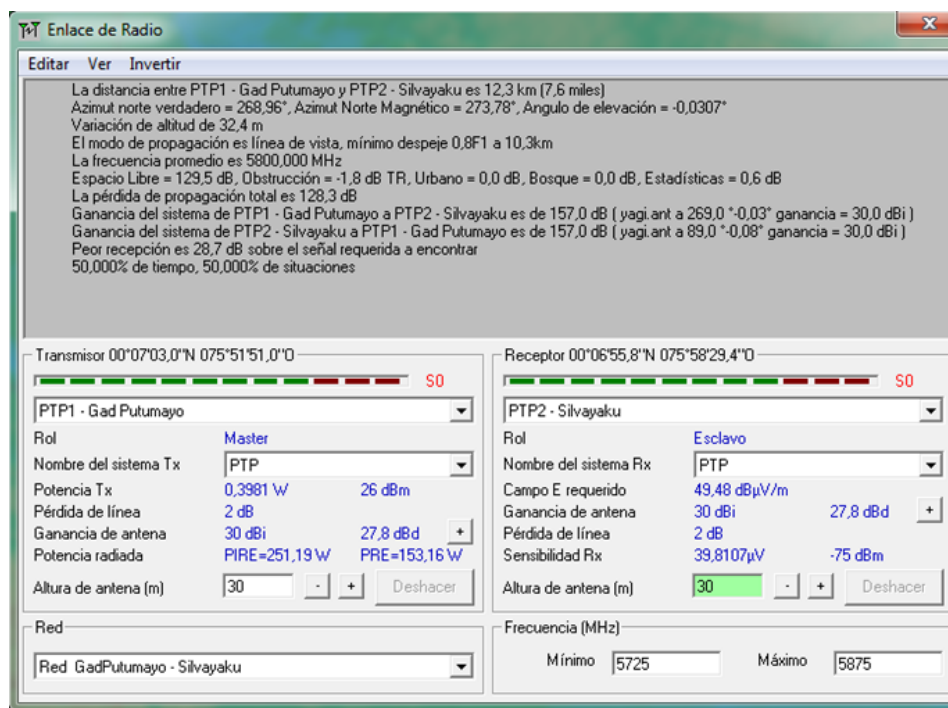


Figura D.16: Detalles del Radio Enlace PTP1 –PTP2
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.14 Rango del Radio Enlace

- Clic Ver de la ventana de Enlace de Radio. Figura D.17.
- Clic Rango, detalla el alcance del enlace y sobre las áreas que puede ser cubierta o no. Se indica:
 - ✓ Pérdidas totales 128, 3 (dB).
 - ✓ Margen de umbral RX Relativo 28,7 (dB).

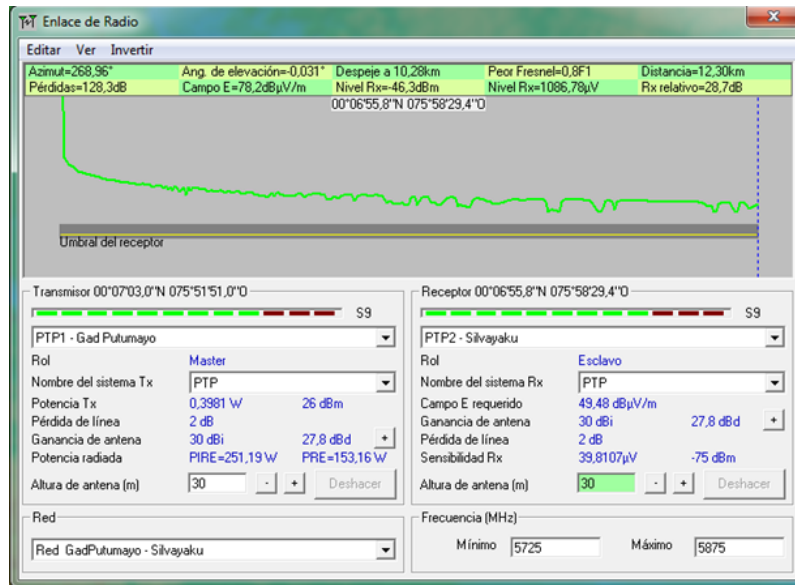


Figura D.17: Rango del Radio Enlace PTP1 –PTP2
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

D.15 Distribución estadística del margen de umbral

- Clic Ver de la ventana de Enlace de Radio. Figura D.18.
- Clic Distribución, se observa la distribución estadística del margen de umbral Mu.

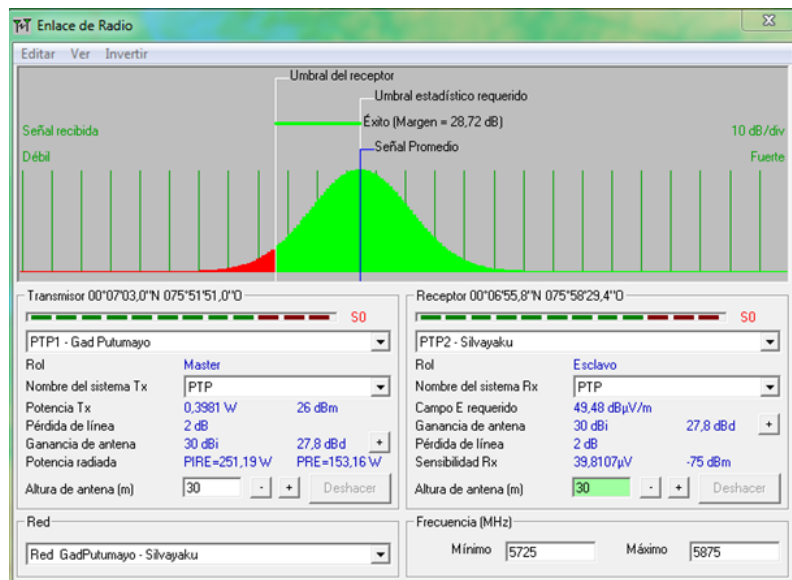


Figura D.18: Distribución estadística del margen de umbral
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

ANEXO E
ALTURAS Y CURVA DE NIVEL DE LA ZONA DE
ESTUDIO

E. ALTITUD DE LA ZONA ^[97]

Podemos apreciar en la imagen las curvas de nivel y la altura más alta entre punto y punto, la misma que es de 225 m. Figura E.1

- El punto PTP1 tiene 225 m aproximadamente.
- El punto PTP2 tiene 216 m aproximadamente.

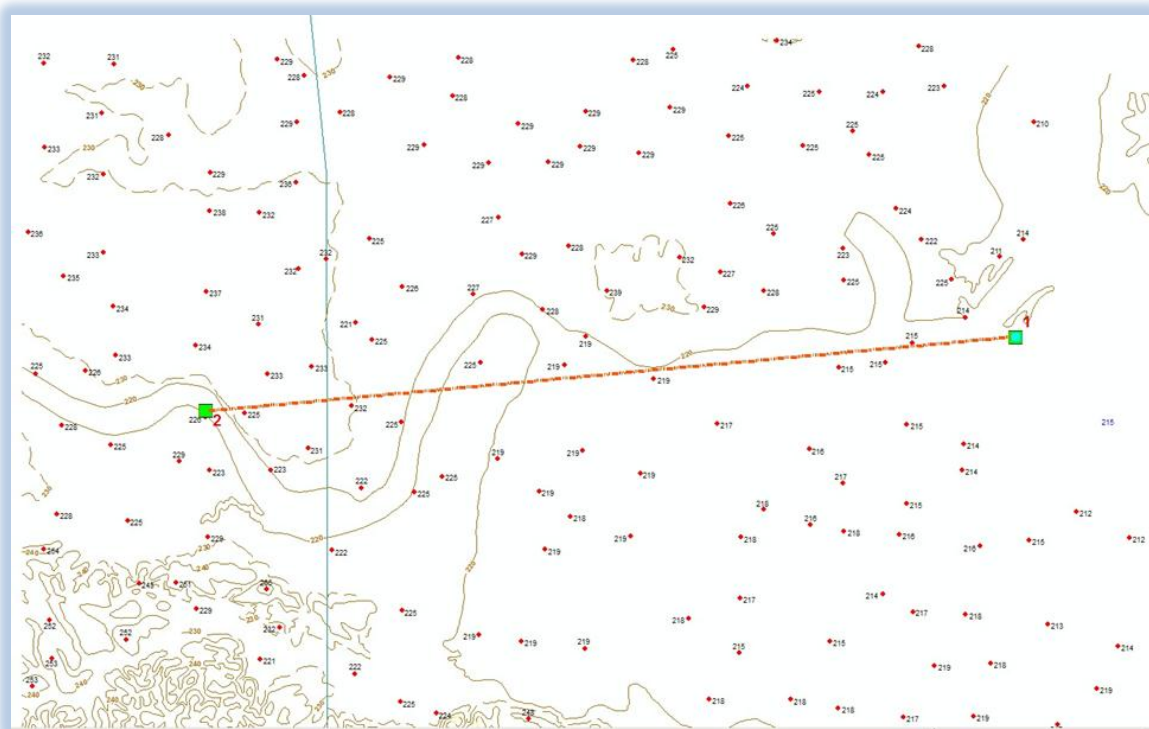


Figura E.1: Altitud de la Zona
Elaborado por: Danilo Mejía Suárez

ANEXO F
FICHA DE DATOS EQUIPOS INALÁMBRICOS
RADWIN 2000



Portafolio DE RADWIN 2000 SOLUCIONES PUNTO A PUNTO PARA TRANSPORTADOR

El portafolio "Carrier Class" RADWIN 2000 de enlaces punto a punto en bandas de frecuencia SUB 6 GHz es ideal para operadores y para una gran variedad de mercados verticales que requieren backhaul y conectividad de acceso de alta capacidad.

RADWIN

Portafolio DE RADWIN 2000 SOLUCIONES PUNTO A PUNTO PARA OPERADOR

El portafolio RADWIN 2000 ofrece productos de banda ancha en bandas de frecuencia sub-6 GHz con y sin licencia que entregarán alto throughput de hasta 250 Mbps, largo alcance y robustez inigualables. Las bandas soportadas incluyen 2.3-2.7 GHz, 3.3-3.8 GHz, 4.4-6.0 GHz y 5.9-6.4 GHz. Compactos y robustos, los productos RADWIN 2000 proporcionan Ethernet y TDM nativo (hasta 16 E1s/T1s), permitiendo así una migración transparente desde TDM hacia las redes totalmente IP.

Los radios RADWIN 2000 incorporan tecnologías de avanzada, incluyendo MIMO y OFDM. Capacidades de interfaz de aire únicas garantizan la optimización del rendimiento, permitiendo alta eficiencia espectral y un rendimiento robusto en entornos de radio saturados y en condiciones de multi-trayectorias. Además, los radios RADWIN 2000 soportan características avanzadas de redes, como QoS, VLAN y Q en Q.

Los radios RADWIN 2000 pueden implementarse en topologías punto a punto y múltiple punto a punto, y soportar sincronización TDD intra sitio e intersitio para maximizar la capacidad de red. Para garantizar la disponibilidad máxima de servicio, los radios RADWIN incorporan redundancia 1+1 integrada, y funcionalidad de protección de anillo.

Los productos RADWIN cumplen con regulaciones y normas internacionales, y son desplegados a nivel mundial por los operadores líderes, así como proveedores de servicios y redes públicas y privadas que requieren conectividad de alta capacidad.



WIN

Elementos destacados del PORTAFOLIO de RADWIN 2000

- » Throughput agregado de hasta 250 Mbps netos
- » TDM Nativo (hasta 16 E1s/T1s) + Ethernet
- » Largo alcance - hasta 120 Km/75 millas
- » Grado Telco, extremadamente robusto en condiciones rigurosas
- » Tecnologías OFDM y MIMO avanzadas para funcionamiento en nLOS/NLOS y entornos de radio saturados
- » EIEI radio multibanda soporta múltiples bandas de frecuencia en la misma plataforma
- » Capacidades QoS y VLAN
- » Protección de servicio Ethernet mediante topologías de anillo y 1+1
- » Extremadamente simple de instalar y mantener

RADIOS DE ALTA CAPACIDAD PARA BACKHAUL IP Y TDM

RADWIN 2000 Serie C-Plus

Entregan hasta 200 Mbps de throughput neto agregado y hasta 16 E1s/T1s.

RADWIN 2000 Serie C

Con hasta 250 Mbps de capacidad Ethernet para backhaul IP o aplicaciones que requieren gran ancho de banda con Calidad de Servicio garantizada. RADWIN 2000 C-Plus ofrece el mejor desempeño en ambientes con espectro altamente congestionado y en situaciones con línea de vista obstruida o sin línea de vista debido a su mecanismo mejorado de reducción de la interferencia y de selección automática entre modalidad MIMO y Diversidad.

RADWIN 2000 Serie B

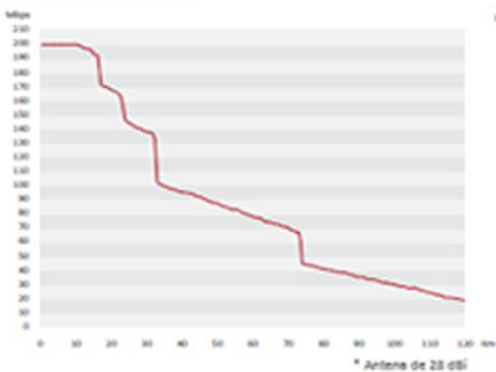
Los radios de la Serie B RADWIN 2000 entregan hasta 50 Mbps de throughput neto agregado y hasta 8 E1s/T1s. Los radios vienen con una antena de forma extremadamente pequeña e incluyen conectores para una antena externa opcional. Esta configuración única permite mayor flexibilidad de instalación y reduce la carga de inventario.

Los radios de las Series B y C RADWIN 2000 son ideales para operadores que buscan soluciones "carrier class" para backhaul IP y TDM, así como para redes privadas que requieren conectividad IP con alta disponibilidad y QoS garantizada. Entregar IP y TDM por el mismo enlace permite migración transparente desde TDM heredadas a todas las redes por IP.

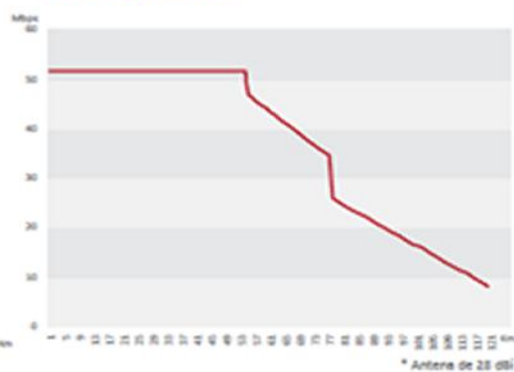
Los radios de Series B y C RADWIN 2000 B operan en modos simétrico y asimétrico adaptativo, donde la capacidad de los enlaces ascendentes y descendentes se asigna dinámicamente con base en de la cargas de tráfico y las condiciones de la interfaz de aire. Extremadamente simples de instalar y mantener, estas soluciones funcionan continuamente en los entornos más adversos, incluyendo escenarios sin línea de vista, entornos saturados y temperaturas extremas.

Para operadores que deseen romper la barrera de la capacidad y cumplir con la abrumadora demanda de banda ancha, los radios RADWIN son la elección adecuada.

Throughput Total de Serie C RADWIN 2000 @ 40 MHz Canal BW



Throughput Total de la Serie B RADWIN 2000 @ canal de 20 MHz Canal



Elementos Destacados de la Serie C RADWIN 2000-C-Plus

- » Hasta 250Mbps throughput Ethernet
- » 40 km/25 millas
- » Capacidad asimétrica fijo

Elementos Destacados de la Serie C RADWIN 2000 y la Serie B RADWIN 2000

- » Throughput neto agregado de 500-200 Mbps
- » TDM Nativo (hasta 16 E1s/T1s) + Ethernet
- » Largo alcance - hasta 120 Km/75 millas
- » Capacidad asimétrica; asignación de canal fijo o dinámico
- » Extremadamente robusto en condiciones climáticas rigurosas
- » Opera en nLOS/NLOS y entornos densos
- » Grado Telco, con tecnologías OFDM y MIMO avanzadas
- » Capacidades QoS y VLAN
- » Protección de servicio Ethernet mediante topología de anillo y 1+1
- » Soporte GBE
- » Baja latencia (típica) < 3 mseg
- » Extremadamente simple de instalar y mantener

ODU con Antena Integrada



IDU-H



Unidad de agregación de Ethernet para 6 ODU

IDU-E



Unidad de interior Ethernet + 2 E1/T1

IDU-C



Unidad de interior Ethernet + 4, 8, 16 E1/T1

"la solución RADWIN 2000 es robusta y lo suficientemente durable como para soportar las condiciones externas más duras, y es muy simple de instalar y mantener".

Jim Makepeace
Director de Ingeniería de Redes
Revol Wireless
USA

"Los enlaces RADWIN han excedido nuestras expectativas en términos de capacidad, seguridad y robustez.

La banda ancha proporcionada por la red inalámbrica ha sido fenomenal y podemos transferir cantidades masivas de archivos de datos e imágenes de rayos X en segundos".

Dr I Hansrod
Director Médico
Centro de Radiología Jackpersad
Sudáfrica



"Elegimos RADWIN 2000 porque nos gustó el throughput de 100 Mbps, que se adecuaba a la perfección a nuestros requisitos. La instalación fue fácil y rápida, y se logró conectividad fácilmente, aun en una difícil banda de 5.8 GHz, donde el espectro es muy ajustado".

Kevin Kluge
Ingeniero de Planificación
Operador Inalámbrico Bug Tussel
Wisconsin, EE.UU.

"Lo que realmente distingue a los sistemas de RADWIN es que son excepcionalmente robustos y transmiten video de cámaras de varios megapíxeles con una calidad de imagen cristalina. Gracias a la red de vigilancia de RADWIN, la municipalidad de Maserà está brindando un entorno urbano seguro a todos sus ciudadanos".

Lorenzo Zanfardin
Director
SAIV (SI)
Italia

SERIE A RADWIN 2000 PARA ACCESO IP Y TDM

Los radios Serie A RADWIN 2000 están disponibles en dos modelos:

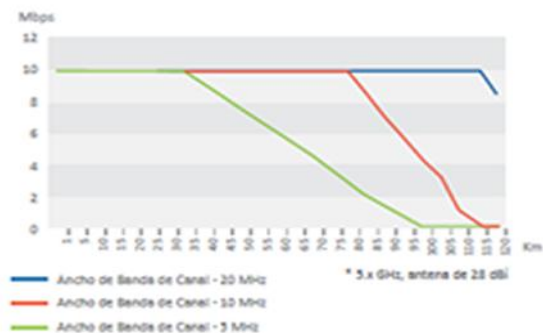
- Con soporte de throughput neto de 25 Mbps y hasta 4 E1/T1
- Con soporte de throughput neto de 10 Mbps. La capacidad de las unidades puede aumentarse fácilmente hasta 25 Mbps, mediante una clave de software. Esto permite una inversión inicial baja, a la vez que asegura el crecimiento de la capacidad posterior.

Los radios de la Serie A de RADWIN 2000 son ideales para aplicaciones de acceso para operadores que requieren SLA y para redes privadas que buscan soluciones "carrier class".

Incorporando las características avanzadas de RADWIN 2000, los radios Serie A Radwin 2000 permiten una utilización óptima del espectro, usando tecnologías MIMO y OFDM, combinadas con técnicas de mitigación de interferencias probadas en el campo de RADWIN, que son críticas para el funcionamiento en entornos urbanos densos.

Alojadas en unidades de forma extremadamente pequeña y compacta, los radios de Serie A RADWIN 2000 son ideales para implementaciones en las que se dispone de poco espacio de instalación..

Serie A RADWIN 2000 10 Mbps - Throughput Total



RADWIN 2000 Specifications

Configuración

Arquitectura	ODU: Unidad de Exteriores con Antena Integrada, Antena empotrada o Unidad con Conectores para Antena Externa IDU: Unidad de Interior o dispositivo PoE
Interfaz IDU a ODU	Cable de uso externo CAT-5e; Longitud máxima del cable: 100m para 100BaseT y 75m para 1000BaseT

	C-Plus Series	C-Series	B-Series	A-Series
--	---------------	----------	----------	----------

Throughput Máximo

	C-Plus Series	C-Series	B-Series	A-Series
Ethernet	250Mbps	200Mbps	50Mbps	10Mbps, 25Mbps, 50Mbps
TDM E1 / T1 Trunks	-	16	8	- 4 8

Radio

Rango	Hasta 40km / 25 miles	Hasta 120km/75 miles		
	3.300-3.800 / 3.65GHz 4.900-6.060 GHz	2.297-2.482 GHz 2.489-2.700 GHz 3.300-3.800 / 3.65 GHz 4.390-5.010 GHz 4.900-6.060 GHz 5.890-6.410 GHz	2.402-2.482 GHz 2.489-2.700 GHz 4.900-6.060 GHz 5.890-6.410 GHz	2.402-2.482 GHz 4.890-5.960 GHz
Ancho de banda de canal	5/10/20/40 MHz	5/10/20/40 MHz	5/10/20 MHz	5/10/20 MHz
Potencia Tx Máximo	25 dBm @ 2.49-2.7 GHz, 3.3-3.8 GHz, 4.4-6.4GHz 26 dBm @ 2.3-2.47 GHz			
Modulación y codificación adaptativa	Soporta			
Selección Automática de Canal	Soportada			
Asignación de ancho de banda	Configurable Asymmetric TDD	Simétrica o asimétrica		
Diversidad	Polarización y Diversidad Espacial soportada			
Visor de espectro	Analizador de Espectro Integrado			
Tecnología Dúplex	TDD			
Modos de Radio	Auto MIMO/Diversity selection	MIMO/Diversidad/Un solo puerto		
Encriptación, Seguridad EE.UU.	AES 128, AES 256, FIPS-197		AES128, FIPS-197	
Sincronización TDD	Intrasitio e intersitio , usando GPS (Serie C y Serie B)			Intrasitio e intersitio
Máxima Tasa de Información (MIR)	Configurable en pasos de 1 Kbps			

Radio Parameters at 20 MHz Channel Bandwidth

Modulación	2x2 MIMO-OFDM							
	BPSK	QPSK		16QAM		64QAM		
Tasa de Corrección de Errores Hacia Adelante (FEC)	1/2	1/2	3/4	1/2	3/4	2/3	3/4	5/6
Tasa Aérea [Mbps]	13	26	39	52	78	104	117	130
Sensibilidad (dBm) @ BER <10E-11, 20MHz Chbw	-88	-86	-83	-81	-80	-72	-70	-67

Especificaciones de RADWIN 2000

Interfaz Ethernet	
Puertos	Dispositivo PoE: 1 puerto 10/100/1000BaseT IDU-C e IDU-E: 2 puertos 10/100BaseT y 10/100/1000BaseT en IDU-C E0 IDU-H: 6 puertos PoE, 10/100/1000BaseT 2 puertos LAN, 10/100/1000BaseT, 2 puertos SFP GbE
Conector	RJ-45
Puerto SFP	Soportado en IDU-C tipo FE e IDU-H tipo GbE
Protección de Servicio	Soporte integrado: 1+1 y topología en Anillo
Puente Ethernet	
VLAN	802.1Q, 802.1P y Etiquetado QinQ
QoS	4 niveles soportados
Tamaño Máximo de Trama	2048 bytes
Latencia	< 3mseg
Interfaz TDM	
Número de Puertos	Hasta 16 E1s/T1s e IDU-C; 2 E1s/T1s en IDU-E
Tipo	E1/T1 configurable con RADWIN Manager
Con trama	Sin trama (transparente)
Temporización (Reloj)	Reloj independiente por puerto, Tx y Rx
Conector	RJ-45
Cumplimiento de normas	ITU-T G.703, G.826
Código de línea	E1: HDB3 @ 2.048 Mbps; T1: B8ZS/AMI @ 1.544 Mbps
Latencia	Configurable: 5-20 mseg (default): 8 mseg
Impedancia	E1: 120Ω, balanceada; T1: 100Ω, balanceada
Jitter y Wander	En conformidad con ITU-T G.823, G.824
Protección de Servicio	Reserva Activa Monitoreada (MHS) 1+1 (usando IDU-C)
Administración	
Aplicación de Administración de Enlaces	RADWIN Manager
Protocolo	SNMPv1, SNMPv3 y Telnet
Aplicación NMS	RADWIN NMS (RNMS)
Administración con Interfaz Web	Acceso web mediante explorador
Mecánicas	
Dimensiones y Peso	Series C-Plus, C y B: ODU con Antena Integrada: 37.1cm(ancho) x 37.1cm(alto) x 11cm(prof.); 3.5 kg / 7 lbs Series C-Plus, C y B: Con Conectores ODU: 19.5cm(ancho) x 27.0cm(alto) x 8.0cm(prof.); 1.8 kg / 3.6 lbs Serie A: ODU con Antena Integrada: 21.4(ancho)x19.7(alto)x7.7(prof.)cm; 1.3kg / 2.8lbs ODU con Conectores de Serie A: 17.1(ancho)x19.6(alto)x7.2(prof.)cm; 1.1kg / 2.4lbs IDU-C: 43.6cm(ancho) x 4.4cm(alto) x 21cm(prof.); 1.5 kg / 3.3 lbs IDU-E: 22cm(ancho) x 4.4cm(alto) x 17cm(prof.); 0.5kg / 1.1 lbs IDU-H: 1U medio 19" ancho, 1.5kg / 3.3 lbs
Alimentación	
Alimentación eléctrica	-20 a -60 VDC (alimentación dual en IDU-C); 100-240 VCA, 50/60 Hz
Consumo de energía	Series C-Plus, C y B: 20-35W (ODU+IDU); 5-15W (ODU+dispositivo PoE) Serie A: 15W (ODU+IDU); 10W (ODU+dispositivo PoE)
Ambientales	
Temperaturas de operación	ODU: -35°C a 60°C / -31°F a 140°F; Para -55°C / -67°F consulte con el Representante local de RADWIN 0°C a 50°C / 32°F a 122°F
Humedad	ODU: 100% en condensación, IP67 (totalmente protegido contra el polvo) e inmersión hasta 1 m); IDU-C: 90% sin condensación
Golpes y Vibraciones	EN 300 019-2-4 IEC 60068-2 Clase 4M5
HazLoc	ANSI/ISA: Clase I y II, división 2 y Clase III, División 1 y 2 CAN/CSA: Clase I, División 2 ¹
Regulaciones de Radio	
FCC	47CFR, Parte 15 Subpartes C&E; Parte 90 Subparte Y 47CFR, Parte 27
IC (Canadá)	RSS-210, RSS-111 RSS 192, emisión-3
EN (ETSI)	300 328; 301 893; 302 502; 302 326-2.
WPC (India)	GSR-3S
MII (China)	Regulación para la Banda de 5.8 GHz
Seguridad	
FCC/IC (cTUVus)	UL 60950-1, UL 60950-22, CAN/CSA C22.2 60950-1, CAN/CSA C22.2 60950-22
ETSI	EN/IEC 60950-1, EN/IEC 60950-22
EMC	
FCC	47CFR Clase B, Parte 15, Subparte B
ETSI	EN 300 386, EN 301 489-1, EN 301 489-4
CAN/CSA	CISPR 22-04 Clase B
AS/NZS	CISPR 22:2004 Clase B

¹ HazLoc sólo en el modelo RADWIN 2000 Serie C 4.800-6.060 GHz FCC

RADWIN Ltd
Sede Central Corporativa
 +972.3.766.2900
 sales@radwin.com
 www.radwin.com

El nombre RADWIN es una marca registrada de RADWIN Ltd. Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso. © Todos los derechos reservados, febrero de 2014



ANEXO G
FICHA DE DATOS EQUIPOS INALÁMBRICOS
AIRFIBER X



airFiber[®] X

Carrier Backhaul Radio

Model: AF-2X, AF-3X, AF-5X

Up to 500+ Mbps Real Throughput, Up to 200+ km Range

2.4, 3, or 5 GHz (Full-Band Certification including DFS)

Ubiquiti's INVICTUS[™] Custom Silicon



Overview

Ubiquiti Networks continues to disrupt the wireless broadband market with revolutionary technology at breakthrough pricing by introducing the airFiber® X, a modular airFiber radio system that will serve a wide range of frequencies and is designed to be compatible with a variety of Ubiquiti® antennas.

Building upon the proven design of the airFiber system, the airFiber X allows you to customize airFiber backhaul links or upgrade existing Rocket Point-to-Point (PtP) links.

The airFiber X is available in three frequency bands:

- 2.4 GHz, model AF-2X
- 3 GHz, model AF-3X
- 5 GHz, model AF-5X

Engineered for Performance

Ubiquiti's INVICTUS™ custom silicon and proprietary radio architecture are designed specifically for long-distance, outdoor wireless applications.

Our INVICTUS core communications processing engine surpasses all of the limitations inherent to generic Wi-Fi chips to provide superior performance, long-range capability, DFS flexibility, and higher delivered throughput.

The airFiber X features industry-leading spectral efficiency of up to 17.1 Mbps/MHz, line-rate data packet processing of up to 525 Mbps of real data throughput, and innovative xtreme Range Technology (xRT™) for up to 200+ km in range.



Ultra-Low Latency with HDD Technology

The airFiber X is designed to provide the highest TDD throughput and lowest latency available using proprietary Hybrid Division Duplexing (HDD) technology.

Co-Location

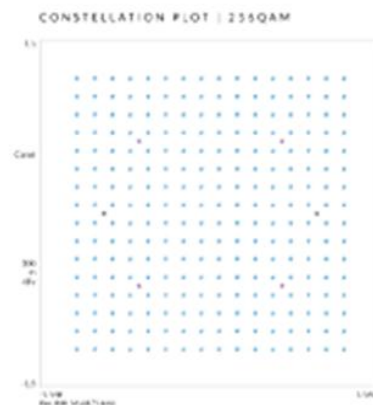
With tower space at a premium, the importance of being able to co-locate equipment is becoming an essential attribute for modern wireless networks. The airFiber X is engineered to permit multiple radios to operate side by side, allowing maximum spectral efficiency.

GPS Synchronization

Precise GPS frame synchronization enables co-located airFiber X radios to transmit and receive data without interfering with each other, enabling better frequency reuse and increased network stability.

Clean Power Output

Using advanced digital signal processing, the innovative airFiber X radio design has an ultra-clean transmitter output, reducing broadband noise, facilitating co-location, and enabling higher-order modulations like 256QAM for greater throughput.



DATASHEET

airFiber X

Backhaul

2.4 GHz

The 2.4 GHz frequency band is free to use, worldwide; and with its proprietary protocol, the AF-2X increases both range and delivered throughput in this popular band.

3 GHz

The 3 GHz frequency band offers interference-free operation, enabling the AF-3X to provide a high-reliability backhaul solution, although a license may be required in some regions.

5 GHz Full-Band Certification with DFS

The AF-5X covers the entire, license-free, 5 GHz spectrum and includes DFS approval. Anyone around the world can deploy and operate the AF-5X in the 5 GHz range practically anywhere they choose (subject to local country regulations).

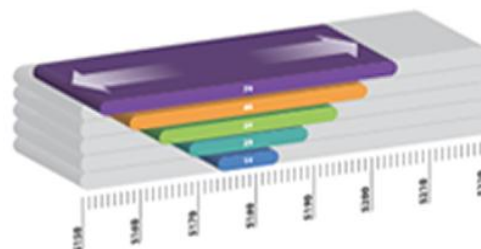
Optimal Operation in Unlicensed Bands

Channel width flexibility* allows independent TX and RX channel frequency configurations anywhere within the radio band to avoid local interference, and the channel centers are selectable in 1 MHz increments.

- AF-2X/AF-3X 3.5, 5, 7, 10, 14, 20, 28, 30, 40, 50, or 56 MHz
- AF-5X 10, 20, 30, 40, or 50 MHz

You also have the ability to program different uplink and downlink duty cycles to support asymmetric traffic requirements.

* Channel widths may vary according to country/region regulations.



2.4 GHz Model



airFiber^{2X}

Model	Frequency	Antenna Compatibility
AF-2X	2.4 GHz	AF-2G24-S45

3 GHz Model



airFiber^{3X}

Model	Frequency	Antenna Compatibility
AF-3X	3 GHz	AF-3G26-S45

5 GHz Model



airFiber^{5X}

Model	Frequency	Antenna Compatibility
AF-5X	5 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • AF-5G23-S45 • AF-5G30-S45 • AF-5G34-S45 • RD-5G30* • RD-5G34*

* Additional performance available with RocketClick to airFiber Conversion Kit

DATASHEET

airFiber^X

Deployment Flexibility

The airFiber X supports a 45° slant polarization for improved noise immunity and Signal-to-Noise Ratio (SNR). The compact form factor of the airFiber X allows it to fit into the radio mount of Ubiquiti antennas, so installation requires no special tools.

The airFiber X antennas are purpose-built with 45° slant polarity for seamless integration with the airFiber X.

airFiber X Antenna

2.4 GHz Model



Model	Frequency	Gain
AF-2G24-S45	2.4 GHz	24 dBi

The AF-5G23-S45 offers 24 dBi of gain in a 650-mm diameter size.

airFiber X Antenna

3 GHz Model



Model	Frequency	Gain
AF-3G26-S45	3 GHz	26 dBi

The AF-5G30-S45 offers 26 dBi of gain in a 650-mm diameter size.

airFiber X Antenna 5 GHz Models



Model	Frequency	Gain
AF-5G23-S45	5 GHz	23 dBi

Housed in a compact form factor (378-mm diameter size), the AF-5G23-S45 offers 23 dBi of gain and features the following advantages:

- Low sidelobes reduce interference from other transmitters in the area.
- High isolation enhances performance for co-location in tower-mounted installations.
- The low-profile design with integrated radome reduces wind-loading.



Model	Frequency	Gain
AF-5G30-S45	5 GHz	30 dBi

The AF-5G30-S45 offers 30 dBi of gain in a 650-mm diameter size.



Model	Frequency	Gain
AF-5G34-S45	5 GHz	34 dBi

The AF-5G34-S45 offers 34 dBi of gain in a 1050-mm diameter size.

RocketDish™

You can also pair the AF-5X with one of the following RocketDish™ antennas by using a kit to convert the RocketDish to 45° slant polarity.



Model	Frequency	Gain
RD-SG30	5 GHz	30 dBi

The RD-SG30 offers 30 dBi of gain in a 650-mm diameter size.



Model	Frequency	Gain
RD-SG34	5 GHz	34 dBi

The RD-SG34 offers 34 dBi of gain in a 1050-mm diameter size.

Conversion Kit

The 5 GHz RocketDish to airFiber Antenna Conversion Kit converts the RocketDish RD-SG30 or RD-SG34 antenna for use with the AF-5X.



Model	RD-SG30	RD-SG34
AF-SG-OMT-545	✓	✓

Specifications

AF-5X	
Dimensions	224 x 82 x 48 mm (8.82 x 3.23 x 1.89")
Weight	0.35 kg (0.77 lb)
RF Connectors	(2) RP-SMA Weatherproof (CH0, CH1) (1) SMA Weatherproof (GPS)
GPS Antenna	External, Magnetic Base
Power Supply	24V, 1A PoE Gigabit Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet Pins 1, 2, 4, 5 (+) and Pins 7, 8, 3, 6 (-)
Max. Power Consumption	12W
Supported Voltage Range	19-29VDC
Mounting	airFiber X Mount (Rocket Mount Compatible) GPS Pole Mount (Included)
Certifications	CE, FCC, IC
Operating Temperature	-40 to 55° C (-40 to 131° F)
AF-5X Networking Interface	
Data Port	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Management Port	(1) 10/100 Ethernet Port
AF-5X System	
Processor	INVICTUS IC
Maximum Throughput	500+ Mbps ¹
Maximum Range	200+ km ¹
Encryption	128-bit AES
OS	airOS F
Wireless Modes	Master/Slave
AF-5X Radio	
Frequency Range FCC 15.407 IC RSS-210 ETSI EN 301 893, EN 302 502 Other Regions	5150 - 5350 MHz, 5470 - 5850 MHz 5470 - 5600 MHz, 5650 - 5850 MHz 5470 - 5875 MHz 5150 - 5950 MHz ²
Max. Conducted TX Power	26 dBm ¹ (Dependent on Regulatory Region)
Frequency Accuracy	± 2.5 ppm without GPS Synchronization ± 0.2 ppm with GPS Synchronization
Channel Bandwidth	10/20/30/40/50 MHz Selectable Programmable Uplink and Downlink Duty Cycles

¹ Throughput and range values may vary depending on the environmental conditions.

² For region-specific details, refer to the Compliance chapter of the airFiber X User Guide at [download.cisco.com/airfiber](https://download.cisco.com/cisco/docs/airfiber).

AF-5X Suggested Max. TX Power	
8x	19 - 20 dBm
6x	21 - 22 dBm
4x	23 - 24 dBm
2x	26 dBm
1x	26 dBm

AF-5X Receive Sensitivity						
Rate	Modulation	Sensitivity (10 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (30 MHz)	Sensitivity (40 MHz)	Sensitivity (50 MHz)
8x	256QAM MIMO	-66 dBm	-64 dBm	-62 dBm	-61 dBm	-60 dBm
6x	64QAM MIMO	-74 dBm	-71 dBm	-69 dBm	-68 dBm	-67 dBm
4x	16QAM MIMO	-81 dBm	-78 dBm	-76 dBm	-75 dBm	-74 dBm
2x	QPSK MIMO	-88 dBm	-85 dBm	-83 dBm	-82 dBm	-81 dBm
1x	1/2 Rate QPSK xRT	-90 dBm	-87 dBm	-85 dBm	-84 dBm	-83 dBm



Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at www.ubnt.com/support/warranty. ©2013 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti U logo, the Ubiquiti beam logo, airFiber, airMAX, airOS, INVACTION, Rocket, RocketHub, and xRT are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Networks, Inc. in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.



JLRRA091015