



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**TEMA:**

“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED HÍBRIDA DE RADIO ENLACE Y RED GPON FTTH ENFOCADA A LA ZONA RURAL PARROQUIA LA MERCED DE BUENOS AIRES DEL CANTÓN URCUQUÍ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA PARA LA EMPRESA PROFYBER SCC.”

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

**Línea de investigación:** Desarrollo, aplicación de software y cyber security (seguridad cibernética)

**AUTOR:**

María Fernanda Pantoja Pinchao

**DIRECTOR:**

Msc. Jaime Roberto Michilena Calderon

**Ibarra, Ecuador 2026**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0401839295		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Pantoja Pinchao María Fernanda		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Nelson Davila y Luis Cornejo		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:mfpantojap@utn.edu.ec">mfpantojap@utn.edu.ec</a> / <a href="mailto:maferpantoja2018@gmail.com">maferpantoja2018@gmail.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0986380861

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED HÍBRIDA DE RADIO ENLACE Y RED GPON FTTH ENFOCADA A LA ZONA RURAL PARROQUIA LA MERCED DE BUENOS AIRES DEL CANTÓN URCUQUÍ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA PARA LA EMPRESA PROFYBER SCC
<b>AUTOR (ES):</b>	PANTOJA PINCHAO MARIA FERNANDA
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	27/02/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
<b>DIRECTOR:</b>	MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN
<b>ASESOR</b>	MSC. CARLOS ALBERTO VASQUEZ AYALA

## **2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de febrero del 2026

**EL AUTOR:**

Pantoja Pinchao María Fernanda

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR**

MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

*(f)* .....

*Msc. Jaime Roberto Michilena Calderón*

*C.C.: 1002198438*

## DEDICATORIA

*Dedico el presente trabajo de titulación, en primer lugar, a mi familia, quienes me han brindado su apoyo moral incondicional y han depositado toda su confianza en mí a lo largo de mi carrera universitaria, acompañándome en cada paso y motivándome a no rendirme ante las dificultades.*

*De manera muy especial, dedico esta tesis a mi hija Camila, quien, a pesar de su corta edad, ha sido mi mayor apoyo, mi impulso diario y el pilar fundamental de mi vida. Ella ha estado a mi lado en cada desvelada, acompañándome desde pequeña en clases y en cada etapa de este proceso, convirtiéndose en mi principal fuente de motivación para seguir adelante.*

*Asimismo, dedico este logro a mi mejor amigo Dieguito, quien me brindó su apoyo desde el inicio de la carrera y también permitiéndome desarrollar esta tesis en su empresa y confiando en mis capacidades profesionales.*

*A mis amigos de la universidad, por ser compañeros incondicionales, por las locuras compartidas, los deberes, las risas y el apoyo constante, haciendo que la etapa universitaria no se sintiera solitaria, sino una experiencia llena de aprendizajes y recuerdos inolvidables.*

*Finalmente, dedico este trabajo a Roberth, quien fue un apoyo importante durante este proceso, motivándome a ser constante, ayudándome a enfrentar los obstáculos y brindándome su apoyo cuando más lo necesitaba.*

*Pantoja Pinchao María Fernanda*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y a la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones por la formación académica brindada a lo largo de mi etapa universitaria, la cual ha sido fundamental para mi desarrollo profesional y personal. De igual manera, expreso mi sincero agradecimiento a todos los docentes que formaron parte de mi proceso de aprendizaje, quienes, con sus conocimientos y experiencia, contribuyeron significativamente a mi formación académica.*

*De manera especial, agradezco al Msc. Jaime Michilena, coordinador de la carrera y tutor del presente trabajo de titulación por su guía constante, apoyo permanente, palabras de aliento y, sobre todo, por su paciencia durante el desarrollo del presente trabajo. Su acompañamiento y orientación fueron fundamentales para culminar satisfactoriamente este proceso académico. Asimismo, agradezco al Msc. Carlos Vásquez, asesor de la tesis, por su acompañamiento, observaciones y recomendaciones oportunas, las cuales permitieron fortalecer y mejorar el desarrollo del proyecto.*

*Pantoja Pinchao María Fernanda*

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación desarrolla un análisis de factibilidad técnica y financiera para la implementación de una red híbrida de radioenlace y fibra óptica FTTH GPON en la parroquia rural La Merced de Buenos Aires, ubicada en el cantón Urcuquí, provincia de Imbabura. El estudio se realiza debido a la limitada calidad del servicio de internet en la zona, ocasionada por factores geográficos, dispersión poblacional y los elevados costos del despliegue de infraestructura de fibra óptica.

En primer lugar, se analiza la situación actual de la parroquia, considerando aspectos demográficos, geográficos y de conectividad, identificando que los servicios existentes no garantizan estabilidad ni calidad adecuada. Posteriormente, se evalúan los requerimientos técnicos para el diseño de una red híbrida que combina enlaces de radio para el transporte troncal y una red FTTH GPON para la distribución del servicio a los usuarios finales. Para validar el diseño propuesto, se realizaron simulaciones de radioenlace mediante los softwares Radio Mobile y AirLink Ubiquiti, así también simulaciones de la red FTTH en OptiSystem, obteniendo resultados favorables en cuanto a niveles de potencia y pérdidas del sistema.

Asimismo, se identificó la documentación técnica y los permisos requeridos por la ARCOTEL para la operación de una red híbrida en zona rural. Finalmente, se realizó un análisis financiero considerando los costos de inversión, operación y mantenimiento, además de ingresos proyectados en un horizonte de cinco años. Los indicadores financieros obtenidos, incluyendo VAN y TIR, evidencian que el proyecto es económicamente viable y rentable.

**Palabras clave:** Red híbrida, FTTH GPON, radioenlace, análisis de factibilidad, zona rural

## ABSTRACT

This thesis develops a technical and financial feasibility analysis for the implementation of a hybrid radio link and FTTH GPON fiber optic network in the rural parish of La Merced de Buenos Aires, located in the canton of Urcuquí, province of Imbabura. The study was conducted due to the limited quality of internet service in the area, caused by geographical factors, population dispersion, and the high costs of deploying conventional fiber optic infrastructure.

First, the current situation of the parish is analyzed, considering demographic, geographic, and connectivity aspects, identifying that existing services do not guarantee stability or adequate quality. Subsequently, the technical requirements for the design of a hybrid network that combines radio links for trunk transport and an FTTH GPON network for the distribution of the service to end users are evaluated. To validate the proposed design, radio link simulations were performed using Radio Mobile and AirLink Ubiquiti software, as well as FTTH network simulations in OptiSystem, obtaining favorable results in terms of power levels and system losses.

Likewise, the technical documentation and permits required by ARCOTEL for the operation of a hybrid network in rural areas were identified. Finally, a financial analysis was carried out considering investment, operation, and maintenance costs, as well as projected revenues over a five-year horizon. The financial indicators obtained, including NPV and IRR, show that the project is economically viable and profitable.

**Keywords:** Hybrid network, FTTH GPON, radio link, feasibility analysis, rural connectivity.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES.....	19
1.1.    TEMA.....	19
1.2.    PROBLEMA .....	19
1.3.    OBJETIVOS.....	20
1.3.1.        Objetivo General.....	20
1.3.2.        Objetivos Específicos .....	20
1.4.    ALCANCE.....	21
1.5.    JUSTIFICACIÓN.....	22
2.    CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	24
2.1.    RADIOENLACES .....	24
2.1.1.        Espectro Radioeléctrico.....	24
2.1.2.        Bandas de frecuencia.....	26
2.1.3.        Tipos de enlaces inalámbricos.....	28
2.1.4.        Estándares para enlaces inalámbricos.....	30
2.1.3.        Elementos de Radioenlace.....	32
2.1.4.        Parámetros para el cálculo de Radioenlace .....	38
2.2.    TECNOLOGÍAS DE REDES PON.....	43
2.2.1.        EPON.....	43
2.2.2.        GPON .....	44
ITU-T G.984.1 .....	45
ITU-T G.984.2 .....	45
ITU-T G.984.3 .....	45
ITU-T G.984.4.....	45
2.3.    ARQUITECTURA FTTH GPON .....	45

2.4.	COMPONENTES DE UNA RED FTTH GPON .....	46
2.4.1.	OLT .....	46
2.4.2.	ONT .....	47
2.4.3.	Fibra Óptica .....	47
2.4.4.	Conectores .....	48
2.4.5.	Divisores Ópticos .....	50
2.4.6.	ODF .....	51
2.4.7.	Amplificadores Ópticos .....	52
2.4.8.	Transmisores y receptores ópticos.....	52
2.4.9.	Cálculo del presupuesto del enlace óptico.....	52
2.5.	ETAPAS DE ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	54
2.5.1.	Estudio del mercado .....	55
2.5.2.	Estudio Técnico .....	55
2.5.3.	Estudio Administrativo.....	56
2.5.4.	Estudio Económico y Financiero.....	56
3.	CAPITULO III: METODOLOGIA .....	57
3.1.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA PARROQUIA LA MERCED DE BUENOS AIRES. .	57
3.2.	LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS .....	57
3.2.1.	Población .....	58
3.2.2.	Muestra de la Población .....	59
3.3.	ENCUESTA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	60
3.4.	DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA.....	63
3.4.1.	Localización de las estaciones.....	64
3.4.2.	Distancia entre estaciones.....	67
3.4.3.	Requerimientos técnicos del radioenlace .....	70

3.4.4.	Cálculo del presupuesto de potencia del enlace inalámbrico	71
3.4.5.	Simulación de Red punto a punto.....	76
3.5.	DISEÑO DE LA RED GPON .....	82
3.5.1.	Elementos de la red FTTH.....	84
3.5.2.	Elementos pasivos para la red FTTH GPON.....	87
3.5.3.	División Óptica.....	90
3.5.4.	Diseño de la red Troncal.....	91
3.5.5.	Ubicación y descripción de los NAP de primer nivel ....	93
3.5.6.	Diseño de la red de distribución .....	94
3.5.7.	Despliegue de la red de Distribución.....	98
3.5.8.	Diseño de la red de Dispersión .....	101
3.5.9.	Diseño simulado de la red de fibra óptica .....	101
3.6.	SIMULACIÓN DE LA RED FTTH GPON .....	104
3.6.1.	Simulación para el cliente cercano .....	105
3.6.2.	Simulación para el cliente lejano.....	106
3.6.3.	Resultados de Simulación.....	106
3.7.	REQUERIMIENTOS LEGALES .....	107
3.7.1.	Requisitos .....	107
4.	CAPITULO IV .....	111
4.1.	COSTOS DE EQUIPAMIENTO.....	111
4.1.1.	Radio enlace .....	111
4.1.2.	Elementos activos para la red FTTH GPON .....	112
4.1.3.	NAP primer nivel .....	112
4.1.4.	NAP Segundo nivel .....	113

4.1.5.	Roseta Óptica.....	113
4.1.6.	Pigtails .....	114
4.1.7.	Cable de fibra Red Troncal.....	114
4.1.8.	Cable de fibra Red de Distribución .....	115
4.1.9.	Cable de fibra Red de Dispersión .....	115
4.1.10.	Patch Core .....	115
4.1.11.	Costos de instalación, operatividad y mantenimiento ..	117
4.1.12.	Inversión total.....	117
4.2.	PROYECCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO .....	118
4.2.1.	Ingresos.....	118
4.2.2.	Egresos .....	119
4.2.3.	Flujo de caja por año .....	120
4.2.4.	Valor Actual Neto (VAN) .....	120
4.2.5.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	122
5.	ANEXOS .....	133
	ANEXO A.....	133
	ANEXO B.....	138
	ANEXO C .....	146
	ANEXO D.....	147
	ANEXO E .....	152

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Ejemplo de un enlace Punto a Punto.</i> .....	29
<b>Figura 2</b>	<i>Ejemplo de un enlace Punto a Multipunto</i> .....	29

<b>Figura 3.</b> <i>Esquema de una red WLAN.</i> .....	30
<b>Figura 4.</b> <i>Esquema de radiación de una antena direccional.</i> .....	35
<b>Figura 5.</b> <i>Tipos de antenas omnidireccionales de alto alcance</i> .....	36
<b>Figura 6.</b> <i>Arreglo de antena sectoriales en un lugar estratégico.</i> .....	36
<b>Figura 7.</b> <i>Tipos de polarización para las antenas y su propagación de onda.</i>	38
<b>Figura 8.</b> <i>Ejemplo de línea de vista entre dos antenas</i> .....	39
<b>Figura 9.</b> <i>Ejemplo de una zona de Fresnel entre dos antenas.</i> .....	41
<b>Figura 10</b> <i>Modelo de una red GPON para FTTH</i> .....	46
<b>Figura 11</b> <i>Partes de la Fibra Óptica</i> .....	48
<b>Figura 12</b> <i>Divisores Ópticos utilizados en las redes de fibra óptica.</i> .....	51
<b>Figura 13</b> <i>Localización de la Merced – Mapa urbano de la localidad.</i> .....	58
<b>Figura 14</b> <i>Arquitectura de la red inalámbrica</i> .....	64
<b>Figura 15</b> <i>Perfil topográfico en trayecto Ibarra - La Merced de Buenos Aires.</i>	65
<b>Figura 16</b> <i>Localización de las estaciones.</i> .....	67
<b>Figura 17</b> <i>Distancia aproximada entre Estación Urcuquí y Torre Pablo Arenas.</i> .....	68
<b>Figura 18</b> <i>Distancia aproximada entre Estación Pablo Arenas y Torre Cahuasqui</i> .....	68
<b>Figura 19</b> <i>Distancia aproximada entre Torre Cahuasqui y Estación la Merced</i> .....	69
<b>Figura 20</b> <i>Localización de las estaciones en el mapa Radio Mobile</i> .....	77
<b>Figura 21</b> <i>Resultados del radio enlace entre Torre Cahuasqui - La Merced...</i>	78
<b>Figura 22</b> <i>Resultados del radio enlace entre Torre Pablo Arenas - Estación Urcuquí</i> .....	78

<b>Figura 23</b> <i>Resultados del radio enlace entre Torre Cahuasqui - Torre Pablo Arenas</i> .....	79
<b>Figura 24</b> <i>Radioenlace entre Torre Pablo Arenas - Estación Urcuquí con Ubiquiti</i> .....	80
<b>Figura 25</b> <i>Radioenlace entre Torre Cahuasqui - Torre Pablo Arenas con Ubiquiti</i> .....	81
<b>Figura 26</b> <i>Radioenlace entre Estación la Merced - Torre Cahuasqui con Ubiquiti</i> .....	81
<b>Figura 27</b> <i>Arquitectura de la red de Fibra Óptica</i> .....	83
<b>Figura 28</b> <i>UF OLT GPO Ubiquiti</i> .....	84
<b>Figura 29</b> <i>Modulo WIFI EchoLife EG8145V5 HUAWEI</i> .....	86
<b>Figura 30</b> <i>Diagrama unifilar de la red FTTH GPON de Buenos Aires</i> .....	90
<b>Figura 31</b> <i>Ubicación de la línea troncal de la red de fibra en el mapa topográfico de la Parroquia</i> .....	92
<b>Figura 32</b> <i>Ubicación de los NAP de primer nivel</i> .....	93
<b>Figura 33</b> <i>Red de Distribución en la parroquia La Merced en el software RedFTTH</i> .....	94
<b>Figura 34</b> <i>Red de Distribución 1</i> .....	95
<b>Figura 35</b> <i>Red de Distribución 2</i> .....	96
<b>Figura 36</b> <i>Red de Distribución 3</i> .....	96
<b>Figura 37</b> <i>Red de distribución 4</i> .....	97
<b>Figura 38</b> <i>Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP_1</i> .....	98
<b>Figura 39</b> <i>Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP_2</i> .....	98
<b>Figura 40</b> <i>Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP_3</i> .....	99
<b>Figura 41</b> <i>Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP_4</i> .....	99

<b>Figura 42</b> <i>Simulación de la topología de Fibra en OptiSystem</i> .....	104
<b>Figura 43</b> <i>Resultados de la simulación para el cliente cercano</i> .....	105
<b>Figura 44</b> <i>Resultados de la simulación de la red de fibra para el cliente lejano</i> .....	106
<b>Figura 45</b> <i>Asignación de coordenadas en el mapa</i> .....	138
<b>Figura 46</b> <i>Creación de la Estación Urcuquí</i> .....	138
<b>Figura 47</b> <i>Creación de la Torre Pablo Arenas</i> .....	139
<b>Figura 48</b> <i>Creación de la Torre Cahuasqui</i> .....	139
<b>Figura 49</b> <i>Creación la Estación La Merced</i> .....	140
<b>Figura 50</b> <i>Ubicación de las Estaciones Inalámbricas</i> .....	140
<b>Figura 51</b> <i>Propiedades de las redes</i> .....	141
<b>Figura 52</b> <i>Parámetros del sistema de cada red</i> .....	142
<b>Figura 53</b> <i>Patrón de radiación Yagui</i> .....	142
<b>Figura 54</b> <i>Parámetros de enlace entre Torre Cahuasqui - La Merced</i> .....	143
<b>Figura 55</b> <i>Parámetros de enlace entre Torre Pablo Arenas – Urcuquí</i> .....	144
<b>Figura 56</b> <i>Parámetros de enlace entre Torre Pablo Arenas - Torre Cahuasqui</i> .....	144
<b>Figura 57</b> <i>Redes estables entre las estaciones</i> .....	145
<b>Figura 58</b> <i>Potencia de Transmisión</i> .....	146
<b>Figura 59</b> <i>Diseño de la red troncal en OptiSystem</i> .....	146
<b>Figura 60</b> <i>Diseño de la red de distribución en OptiSystem</i> .....	147
<b>Figura 61</b> <i>Diseño de la red de la última milla en OptiSystem</i> .....	147

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Descripción de los tipos de bandas de frecuencia.</i> .....	25
---	----

<b>Tabla 2</b> <i>Cuadro de atribución de las frecuencias radioeléctricas.</i> .....	26
<b>Tabla 3.</b> <i>Bandas UDBL y tipo de enlace o sistema.</i> .....	33
<b>Tabla 4</b> <i>Recomendaciones y especificaciones de una red GPON</i> .....	44
<b>Tabla 5</b> <i>Características y funciones de una OLT</i> .....	46
<b>Tabla 6</b> <i>Funciones y beneficios de una ONT</i> .....	47
<b>Tabla 7</b> <i>Tipos de conectores para Fibra Óptica</i> .....	48
<b>Tabla 8</b> <i>Pérdidas de divisor y pérdidas de inserción de divisores ópticos.</i> .....	51
<b>Tabla 9</b> <i>Análisis de las encuestas realizadas</i> .....	60
<b>Tabla 10</b> <i>Coordenadas en grados decimales, grados, minutos, segundos de las estaciones</i> .....	66
<b>Tabla 11</b> <i>Requerimientos de las antenas para los tres enlaces</i> .....	70
<b>Tabla 12</b> <i>Resultados Teóricos de los enlaces inalámbricos</i> .....	75
<b>Tabla 13</b> <i>Comparación de los resultados obtenidos en Radio Mobile y Airlink Ubiquiti</i> .....	82
<b>Tabla 14</b> <i>Características de la UF OLT Ubiquiti</i> .....	85
<b>Tabla 15</b> <i>Características de la ONU EchoLife EG8145V5 HUAWEI</i> .....	86
<b>Tabla 16</b> <i>Elementos Pasivos para la red GPON</i> .....	87
<b>Tabla 17</b> <i>Resumen de NAP primer nivel</i> .....	94
<b>Tabla 18</b> <i>Ubicación de los NAPs de segundo nivel</i> .....	100
<b>Tabla 19</b> <i>Perdida de potencia en los elementos pasivos de la red FTTH GPON</i> .....	102
<b>Tabla 20</b> <i>Perdida total en el enlace más cercano</i> .....	102
<b>Tabla 21</b> <i>Perdida total en el enlace más lejano</i> .....	103
<b>Tabla 22</b> <i>Comparación de resultados de potencia del receptor teóricos y simulados en OptiSystem</i> .....	107

<b>Tabla 23</b> <i>Formularios Técnicos</i> .....	109
<b>Tabla 24</b> <i>Costos de los componentes de Radio enlace</i> .....	111
<b>Tabla 25</b> <i>Detalles de costos de la OLT y ONT</i> .....	112
<b>Tabla 26</b> <i>Costos de los componentes de NAP de primer nivel</i> .....	113
<b>Tabla 27</b> <i>Costos de los componentes de la NAP de segundo nivel</i> .....	113
<b>Tabla 28</b> <i>Costo de las Rosetas PRO-GZF-A2</i> .....	113
<b>Tabla 29</b> <i>Costos de los Pigtaills</i> .....	114
<b>Tabla 30</b> <i>Costo de la fibra óptica para la línea troncal de la red GPON</i> .....	114
<b>Tabla 31</b> <i>Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red GPON</i> .....	115
<b>Tabla 32</b> <i>Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red GPON</i> .....	115
<b>Tabla 33</b> <i>Costos de los Patch Core SC/APC SC/UPC</i> .....	116
<b>Tabla 34</b> <i>Inversión en equipos para radioenlace y red FTTH</i> .....	116
<b>Tabla 35</b> <i>Inversión en instalación, operatividad y mantenimiento</i> .....	117
<b>Tabla 36</b> <i>Análisis de ingresos</i> .....	118
<b>Tabla 37</b> <i>Egresos de operación mensual</i> .....	119
<b>Tabla 38</b> <i>Flujo de caja del proyecto</i> .....	120

## TABLA DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> <i>Perdida por espacio libre (FSPL)</i> .....	39
<b>Ecuación 2</b> <i>Potencia Isotrópica (PIRE)</i> .....	40
<b>Ecuación 3</b> <i>Potencia del receptor</i> .....	40
<b>Ecuación 4</b> <i>Longitud de onda</i> .....	41

<b>Ecuación 5</b> <i>Fórmula para calcular la zona de Fresnel cuando existen obstáculos</i> .....	42
<b>Ecuación 6</b> <i>Margen de desvanecimiento</i> .....	42
<b>Ecuación 7</b> <i>Formula relación señal ruido</i> .....	43
<b>Ecuación 8</b> <i>Presupuesto del enlace óptico</i> .....	52
<b>Ecuación 9</b> <i>Pérdida total del enlace</i> .....	53
<b>Ecuación 10</b> <i>Perdida de atenuación de la fibra óptica</i> .....	53
<b>Ecuación 11</b> <i>Perdidas por empalme</i> .....	53
<b>Ecuación 12</b> <i>Perdidas por splitter</i> .....	54
<b>Ecuación 13</b> <i>Potencia recibida en el receptor</i> .....	54
<b>Ecuación 14</b> <i>Cálculo de la atenuación total en los enlaces</i> .....	103
<b>Ecuación 15</b> <i>Valor actual neto (VAN)</i> .....	121

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES**

El presente capítulo explica todo lo relacionado al problema que se está investigando, los objetivos que se van a cumplir dentro del proyecto, el alcance de este, y por último se explica el por qué se está realizando el análisis y cuál será la factibilidad de este.

### **1.1. Tema**

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED HIBRIDA DE RADIO ENLACE Y RED GPON FTTH ENFOCADA A LA ZONA RURAL PARROQUIA LA MERCED DE BUENOS AIRES DEL CANTÓN URCUQUI EN LA PROVINCIA DE IMBABURA PARA LA EMPRESA PROFYBER SCC.

### **1.2. Problema**

ProFyber SCC es una empresa que brinda servicio de internet en zonas limitadas de la provincia de Imbabura. En la parroquia la Merced de Buenos Aires con una población de 1983 habitantes según (INEC, 2022) es la parroquia más grande del cantón Urcuqui es una zona en desarrollo donde sus principales actividades económicas son la Piscicultura, agricultura y ganadería, la alta demanda hacia una conexión de internet lo hace una necesidad para los habitantes tanto para educación, teletrabajo y entretenimiento. (Goraymi)

En Ecuador el acceso al internet se ha ido incrementando y se lo ha catalogado como una necesidad más sin embargo solo el 36% de los hogares a nivel nacional tienen acceso a internet 13,5 puntos más que hace cinco años, pero en las zonas rurales solo el 16,4% de la población tienen este servicio según una encuesta realizada por (INEC E. , 2018)

En el sector rural, según fuentes como Wisp (Wisp, s.f.) y Plus (Plus, s.f.), la disponibilidad de proveedores de servicios de internet es muy limitada, lo cual representa

un desafío significativo. Actualmente, estas dos empresas son las únicas que ofrecen conexión a internet en la zona. Sin embargo, la demanda de internet en esta área es alta y la falta de opciones de proveedores restringe las posibilidades de acceder a un servicio de calidad superior.

Es por eso por lo que la empresa Profyber SCC en su plan de expandirse hacia otros sectores de Imbabura especialmente zonas rurales donde dicha empresa propuso hacer un análisis de factibilidad para la implementación de una red híbrida de radio enlace y FTTH para brindar el servicio de internet.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Realizar un análisis de factibilidad para la implementación de una red híbrida de radio enlace y red GPON FTTH enfocada en la zona rural de la Parroquia La Merced de Buenos Aires, en el cantón Urcuquí de la provincia de Imbabura, con el propósito de dar conectividad y brindar servicios de internet a los usuarios, a través de la empresa ProFyber SCC.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Investigar la situación actual de la Parroquia La Merced de Buenos Aires, considerando la población, la infraestructura existente y limitaciones geográficas de la zona rural y poder determinar las necesidades de los usuarios.
- Evaluar las necesidades de infraestructura y recursos técnicos requeridos para implementar la red híbrida de radioenlace y red GPON FTTH en la zona rural.
- Definir que documentación, formularios técnicos, permisos en ARCOTEL se requiere para establecer una red híbrida en la zona rural.

- Realizar un análisis financiero que incluya la estimación de los costos de infraestructura, equipamiento, instalación, mantenimiento y operación de la red híbrida. Además, evaluar los ingresos proyectados y la rentabilidad esperada.

#### **1.4. Alcance**

El presente trabajo de titulación se tiene como alcance realizar un análisis de factibilidad de una red híbrida en la parroquia la Merced de Buenos Aires mediante fibra óptica FTTH y radioenlace en donde el objetivo principal es la expansión de la empresa Profyber SCC y brindar servicio de internet de calidad en una zona rural cuyo número de habitantes total es de 1893 habitantes. (Instituto Nacional de Estadísticas y censos del Ecuador, 2010)

En la parroquia de Buenos Aires, hay empresas proveedoras de servicios de Internet como Plus y Wisp donde se propone realizar un análisis de la situación actual de estos proveedores en esta zona y a su vez investigar los características, capacidades y requisitos técnicos de las tecnologías de radio enlace y red GPON FTTH de acuerdo con los criterios y recomendaciones establecidas dentro del estándar de la ITU-T G.984.x. (Edison Quisnancela, 2016). Analizar su idoneidad para la implementación en la zona rural de la Parroquia La Merced de Buenos Aires, considerando aspectos como el alcance de la cobertura mediante simuladores de software, la velocidad de conexión, la escalabilidad.

Se hará un análisis para establecer el número de usuarios que podrían acceder al servicio de internet sin que este disminuya su calidad en la red GPON tomando en cuenta el número aproximado de usuarios que podrán solicitar el servicio.

Con toda la información obtenida se procederá a realizar un análisis de los costos asociados con la implementación y operación de la red híbrida. Incluir los costos de infraestructura, equipos, instalación, mantenimiento y los costos operativos a largo plazo.

Se realizará un estudio detallado de cada normativa, considerando el alcance del estudio de factibilidad, con el objetivo de cumplir con los reglamentos establecidos por las entidades reguladoras. Se prestará especial atención a las normas de homologación, regulación y control de equipos establecidas por ARCOTEL.

### **1.5. Justificación**

La empresa Profyber S.C dando cumplimiento a los derechos y obligaciones de los abonados “A disponer y recibir los servicios de telecomunicaciones contratados de forma continua, regular, eficiente, con calidad y eficacia. A escoger con libertad al prestador del servicio, el plan de servicio, así como a la modalidad de contratación y el equipo terminal en el que recibirá los servicios contratados.” Que se especifica en el reglamento de la Agencia de Regulación y control de Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2021) es por eso que se realiza la expansión de la empresa y brinda servicios de calidad a los habitantes de la parroquia La Merced de Buenos Aires en el cantón Urcuqui gracias a una red híbrida de GPON FTTH y radio enlace, ya que la conectividad a Internet es un factor clave en el desarrollo social, económico y educativo de las comunidades. Sin embargo, el 14,5% de zonas rurales aún enfrentan desafíos significativos para acceder a servicios de Internet de calidad debido a la falta de infraestructura de telecomunicaciones adecuada según (Nelson, 2021). De esta manera los habitantes de la parroquia tienen el derecho al acceso universal a las tecnologías de información y comunicación como lo manifiesta el Acuerdo MINTEL 018.2017 numeral 2 referente al Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL, 2017)

Por ende, el desarrollo del proyecto además de expandir la cobertura es brindar el servicio a la zona rural de la parroquia de La Merced Buenos Aires quienes cuentan con 1983 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y censos del Ecuador, 2010) podrán contar con una nueva alternativa de conectividad a internet. Este proyecto funcionara a

un futuro como base en la expansión a nuevos sectores, tener conocimientos del presupuesto y rubros que influyen al momento de realizar una expansión de servicio de internet por medio de una red híbrida.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

En este capítulo se recolectará toda la información teórica que permita la sustentación para el desarrollo del proyecto, donde se citará características y fenómenos de la fibra óptica, componentes de una red de fibra óptica, redes de acceso y estructura de la tecnología GPON.

### **2.1. Radioenlaces**

Los radioenlaces, también conocidos como enlaces de radio o enlaces inalámbricos, son sistemas de comunicación que utilizan ondas de radio para transmitir información entre dos puntos distantes. Estos puntos pueden estar ubicados a largas distancias entre sí y, en general, se establecen para conectar redes de telecomunicaciones, como redes de telefonía móvil, redes de datos, enlaces de internet, sistemas de transmisión de televisión y radio, entre otros.

Los radioenlaces son una alternativa valiosa cuando la instalación de cables de fibra óptica o cableado tradicional no es práctica o factible debido a la distancia, los costos o las limitaciones geográficas. Estos enlaces inalámbricos ofrecen una forma flexible y eficiente de establecer comunicaciones de datos y voz entre ubicaciones remotas, lo que los hace especialmente útiles en áreas rurales o regiones montañosas donde la infraestructura física puede ser difícil de desplegar. Además, los radioenlaces se pueden utilizar para establecer conexiones temporales o de emergencia cuando las redes tradicionales pueden estar fuera de servicio. (Du, 2021)

#### ***2.1.1. Espectro Radioeléctrico***

El espectro radioeléctrico es el rango de frecuencias de ondas electromagnéticas utilizado para diversas formas de comunicación inalámbrica y radiodifusión. Estas ondas electromagnéticas incluyen las ondas de radio, microondas, infrarrojos, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Cada una de estas frecuencias se asocia con

diferentes aplicaciones y tecnologías, lo que permite una amplia gama de servicios de comunicación entre estas tenemos varios tipos de bandas de frecuencias como se describe en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Descripción de los tipos de bandas de frecuencia.*

<b>Banda de Frecuencia</b>	<b>Longitud de Onda</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Usos Principales</b>
<b>Ondas de radio</b>	> 1 mm	< 300 GHz	Radiodifusión, comunicaciones móviles, comunicaciones de emergencia, entre otros.
<b>Microondas</b>	1 mm - 1 cm	300 MHz - 300 GHz	Comunicaciones de satélite, radares, sistemas de navegación, entre otros.
<b>Infrarrojo</b>	700 nm - 1 mm	300 GHz - 430 THz	Comunicaciones de fibra óptica, sensores, sistemas de vigilancia, entre otros.
<b>Luz Visible</b>	400 nm - 700 nm	430 THz - 750 THz	Iluminación, comunicaciones de fibra óptica, entre otros.
<b>Ultravioleta</b>	10 nm - 400 nm	750 THz - 30 PHz	Esterilización, detección de fugas, entre otros.
<b>Rayos X</b>	0,01 nm - 10 nm	30 PHz - 30 EHz	Esterilización, detección de fugas, entre otros.
<b>Rayos Gamma</b>	< 0,01 nm	> 30 EHz	Esterilización, detección de fugas, entre otros.

*Nota:* La información presentada esta basada en la información de la fuente (Dos Santos, 2023)

### 2.1.2. *Bandas de frecuencia*

Las bandas de frecuencia son rangos específicos dentro del espectro radioeléctrico que se utilizan para diversas aplicaciones y servicios de comunicación. Cada banda tiene características únicas y se asigna a diferentes tecnologías y servicios para evitar interferencias y garantizar un uso eficiente del espectro. La Tabla 2 presenta las bandas de frecuencia dentro del espectro radioeléctrico.

**Tabla 2**

*Cuadro de atribución de las frecuencias radioeléctricas.*

<b>Banda</b>	<b>Denominación</b>	<b>Rango de Frecuencia</b>	<b>Aplicación</b>
<b>VLF</b>	Muy baja frecuencia	3-30 KHz	Radionavegación-Servicio móvil marítimo
<b>LF</b>	Baja frecuencia	30-300 KHz	Frecuencias Patrón
<b>MF</b>	Media frecuencia	300-3000 KHz	Radiodifusión Sonora en AM
<b>HF</b>	Alta frecuencia	3-30 MHz	Telefonía fija y móvil. - Radioaficionados - Radiodifusión en onda corta.
<b>VHF</b>	Muy alta frecuencia	30-300 MHz	Telefonía fija y móvil - Radioaficionados - Radiodifusión sonora en FM - Televisión abierta - Radionavegación.

UHF	Ultra frecuencia	alta	300-3000 MHz	Telefonía fija y móvil - Televisión abierta - Radiolocalización.
SHF	Super frecuencia	alta	3-30 GHz	Telefonía fija y móvil - Radiodifusión por satélite - Radionavegación.
EHF	Extrema frecuencia	alta	30-300 GHz	Telefonía fija.

---

*Nota.* Adaptado de (Espinosa, 2019)

#### **2.1.2.1. Bandas de frecuencia licenciada**

Las bandas de frecuencia licenciadas son aquellas que requieren una autorización o licencia por parte de las autoridades reguladoras antes de poder ser utilizadas por un operador o proveedor de servicios de comunicación. (Jlrodriguez, 2018)

#### **2.1.2.2. Bandas de frecuencia no licenciada**

Ciertas tecnologías como Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee y otras se han convertido en fenómenos internacionales, más cuando no se requiere de ninguna licencia para operar los dispositivos en las bandas 2.4 GHz y 5 GHz.<sup>46</sup>

#### **Banda de 2.4 GHz**

Utilizada en los estándares Wi-Fi 4 y Wi-Fi 6, es la banda más antigua, se caracteriza por contar con una cobertura muy amplia, pero otorga menos velocidad, su rango de frecuencias va desde los 2,412 MHz hasta los 2,472 MHz que a la vez se subdividen en 13 canales de 20 MHz cada uno. Múltiples dispositivos funcionan en la misma frecuencia, por lo que compartirán el mismo aire y se solaparán unas conexiones con otras. (López A., 2022)

## **Banda de 5 GHz**

La banda utilizada por los estándares Wi-Fi 5 y Wi-Fi 6 ofrece una alta velocidad de transmisión, pero una cobertura limitada. Esta banda abarca un rango de frecuencias entre 5180 MHz y 5825 MHz en el espectro, y puede soportar diversos canales de distintos anchos: 25 canales de 20 MHz, 12 canales de 40 MHz, 6 canales de 80 MHz y 2 canales de 160 MHz. (López A., 2022)

En Ecuador, el sector de las Telecomunicaciones está a cargo del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) y la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), ambos organismos públicos competentes en materia de telecomunicaciones y espectro radioeléctrico. (López A., 2022)

### ***2.1.3. Tipos de enlaces inalámbricos.***

Se pueden encontrar diversos tipos de conexiones inalámbricas que se emplean para una variedad de propósitos específicos. A continuación, se describen algunos de los tipos de enlaces inalámbricos más usuales:

#### **2.1.3.1. Enlaces punto a punto**

Los enlaces punto a punto son sistemas de comunicación inalámbrica que posibilitan una conexión directa y exclusiva entre dos puntos o dispositivos. Estos enlaces encuentran aplicaciones diversas al facilitar la transmisión eficaz y segura de datos, voz y contenido de video. Es posible establecer conexiones de datos que abarquen distancias que varían desde 1 kilómetro hasta 70 kilómetros, siempre que haya una línea de visión directa entre los puntos de comunicación para enlaces a larga distancia, se necesitan dispositivos con una mayor potencia y capacidad para lograr una comunicación efectiva. A continuación, se observa un ejemplo de enlace punto a punto en la Figura 1. (SISENCO, 2012)

## Figura 1

*Ejemplo de un enlace Punto a Punto.*



*Nota. Tomado de (SISENCO, 2012)*

### 2.1.3.2. Enlace punto a multipunto

Estos enlaces ayudan a la creación de amplias áreas de cobertura con alta capacidad, lo que facilita la conexión de múltiples puntos distantes con una central y permite la implementación de redes que transmiten datos, voz y video. Algunas aplicaciones comunes de este tipo de redes incluyen la interconexión de sucursales para compartir bases de datos, la integración de sistemas de cámaras de seguridad y la interconexión de edificios, etc. Así como se muestra en la Figura 2. (Rosario, 2021)

## Figura 2

*Ejemplo de un enlace Punto a Multipunto*



*Nota. Infraestructura punto a punto. Adaptado de (Rosario, 2021)*

### 2.1.3.3. Redes WLAN

Es una red local que emplea tecnología inalámbrica para enlazar dispositivos y usuarios de la red. Proporciona una conexión que es más versátil y sencilla de configurar en comparación con las redes con cable, y es adecuada para su implementación en diversos escenarios. Una WLAN está basado en el protocolo IEEE 802.11, comúnmente como Wi-Fi, así como se puede apreciar en la Figura 3. (Jonces, 2022)

#### Figura 3.

*Esquema de una red WLAN.*



*Nota.* Tomado de (redesinalambricas.es, 2019)

### 2.1.4. Estándares para enlaces inalámbricos

Los estándares para enlaces inalámbricos son normas técnicas y especificaciones que definen cómo se deben diseñar, implementar y operar las redes de comunicación inalámbrica. Estos estándares son desarrollados por organismos y grupos de la industria tecnológica para asegurar la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas de diferentes fabricantes y para garantizar un rendimiento óptimo y confiable en las comunicaciones inalámbricas.

#### 2.1.4.1. IEEE 802.11

El estándar 802.11, también conocido como Wi-Fi, es un conjunto de normas desarrolladas por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) que define las especificaciones para redes inalámbricas de área local (WLAN). Este estándar permite

la conexión inalámbrica de dispositivos, como computadoras, teléfonos inteligentes, tablets y otros dispositivos electrónicos, a una red local o a Internet, ha experimentado diversas evoluciones a lo largo del tiempo, cada una identificada por una letra que sigue al número, como 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac y 802.11ax. Cada variante tiene diferentes características, como velocidades de transmisión, alcance y capacidad de conexión. (Shaw, 2023)

#### **2.1.4.2. IEEE 802.11 a**

Estándar ratificado en 1999 y conocido como Wi-Fi 5 el cual, a diferencia del 802.11b utiliza la frecuencia de 5 GHz, velocidad de transmisión de 54 Mbps y OFDM como técnica de modulación. (Shaw, 2023)

#### **2.1.4.3. IEEE 802.11 b**

Estándar sucesor del IEEE 802.11, ratificado en 1999 y destacado por ser el más utilizado actualmente. Dicho estándar admite un ancho de banda máximo de 11 Mbps teóricos y 6 Mbps en la práctica, con un alcance de hasta 300 metros. Su rango de frecuencia es 2,4 GHz con disponibilidad de 3 canales de radio. (Shaw, 2023)

#### **2.1.4.4. IEEE 802.11 ah**

El estándar 802.11ah, también conocido como Wi-Fi HaLow, establece el funcionamiento de redes inalámbricas sin licencia en bandas de frecuencia por debajo de 1 GHz, como la banda de 900 MHz, excluyendo las bandas de TV White Space. Su objetivo principal es crear redes Wi-Fi de mayor alcance que las tradicionales 2.4 GHz y 5 GHz, con velocidades de datos de hasta 347 Mbps. Además, se enfoca en reducir el consumo de energía, lo que resulta beneficioso para la comunicación de dispositivos de Internet de las cosas con baja potencia. Esta característica podría hacer que compita con tecnologías como Bluetooth en entornos domésticos, debido a sus menores requisitos de

energía. El estándar fue aprobado en septiembre de 2016 y publicado en mayo de 2017. (Shaw, 2023)

#### **2.1.4.5. IEEE 802.11 ac**

Los enrutadores inalámbricos utilizados en hogares en la actualidad son compatibles con el estándar 802.11ac y operan en la banda de frecuencia de 5 GHz. Este estándar utiliza la tecnología MIMO que emplea múltiples antenas tanto en los dispositivos emisores como en los receptores para disminuir errores y aumentar la velocidad de transmisión. Gracias a estas mejoras, el estándar 802.11ac permite alcanzar velocidades de datos de hasta 3.46 Gbps. (Shaw, 2023)

#### **2.1.4.6. IEEE 802.11 g**

En junio de 2003, se aprobó el estándar 802.11g, que sucedió al estándar 802.11b y tenía la capacidad de alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps. Este estándar operaba en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, igualando la velocidad del estándar 802.11a pero utilizando un rango de frecuencia más bajo. (Shaw, 2023)

#### **2.1.4.7. IEEE 802.11 n**

El primer estándar en definir MIMO, que opera en las frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz, con velocidades de hasta 600 Mbps. Cuando los vendedores de redes inalámbricas hablan de "banda dual", se refieren a la capacidad de transmitir datos a través de estas dos frecuencias. (Shaw, 2023)

#### **2.1.3. Elementos de Radioenlace.**

Es crucial disponer de equipos o componentes de alta calidad al realizar un enlace mediante microondas para mitigar posibles interferencias y ruido en la comunicación. Por lo tanto, la elección adecuada de los equipos para transmitir las señales resulta fundamental para determinar la potencia, ganancia y sensibilidad requeridas, según la

cantidad deseada de transmisión y recepción. A continuación, se mencionan algunos de los elementos esenciales del radioenlace. (TI AMERICA, 2021)

### **2.1.3.1. Radio Transmisor**

Un radio transceptor es un dispositivo que combina un transmisor y un receptor en un solo equipo, permitiendo la comunicación bidireccional a través de ondas electromagnéticas. En Ecuador, el uso de frecuencias de radio está regulado por la ARCOTEL, y se deben seguir las leyes y regulaciones establecidas por esta entidad para su uso.

Según la normativa emitida por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Arcotel, 2018), se definen ciertos aspectos importantes en el capítulo III del presente trabajo de titulación. En el artículo 10, se encuentra el concepto de Uso Determinado en Bandas Libres (UDBL), que se aplica a estaciones dedicadas a la prestación de servicios de telecomunicaciones. El artículo 11 se refiere a la habilitación para el uso del espectro UDBL y establece que dicho registro se obtiene en conjunto o posterior al permiso otorgado para el servicio de telecomunicaciones en el régimen general o para la operación de una red privada, según lo estipulado en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT). Finalmente, el artículo 13 se ocupa de la homologación de dispositivos que hacen uso del espectro UDBL y señala que estos deben cumplir con las normativas establecidas en el reglamento de homologación y certificación de equipos terminales de telecomunicaciones, conforme a las regulaciones de la ARCOTEL. (Arcotel, 2017)

Las bandas que son destinadas al espectro para uso determinado en bandas libres y el tipo de enlace o sistema que permite operar se detallan en la Tabla 3.

### **Tabla 3.**

*Bandas UDBL y tipo de enlace o sistema.*

<b>Bandas UDBL</b>	<b>Punto a Punto</b>	<b>Punto a Multipunto</b>	<b>Móvil</b>
915 – 928 MHz	X	X	X
2400 – 2483.5 MHz	X	X	X
5150 – 5250 MHz	X	X	X
5250 – 5350 MHz	X	X	X
5470 – 5725 MHz	X	X	X
5725 – 5850 MHz	X	X	X
24,05 – 24,25 GHz	X	No permitido	No permitido
57 – 66 GHz	X	No permitido	No permitido

*Nota.* Adaptado de (Arcotel, 2018)

### **2.1.3.2. Antenas**

Una antena despliega la función de generar y captar ondas electromagnéticas. Estos dispositivos funcionan como transductores, lo que implica que transforman las ondas que ingresan en ondas no guiadas que se extienden a través del espacio libre. En términos sencillos, una antena transmisora convierte señales eléctricas en señales electromagnéticas para emitirlas al espacio abierto en dirección a su destino, donde una antena receptora asume el rol de transductor nuevamente, transformando las señales electromagnéticas en señales eléctricas que son idénticas a las enviadas desde la antena emisora. Estas señales transmitidas pueden ser de naturaleza sonora, visual o de datos. (LibreTexts Español, 2022)

### **2.1.3.3. Parámetros de las Antenas**

**Amplitud de banda:** Consiste en el rango de frecuencias en el que los parámetros de la antena presentan ciertas características específicas. Este ancho de banda puede

relacionarse con la impedancia, la polarización, la ganancia u otros factores. (Hidrobo, 2013)

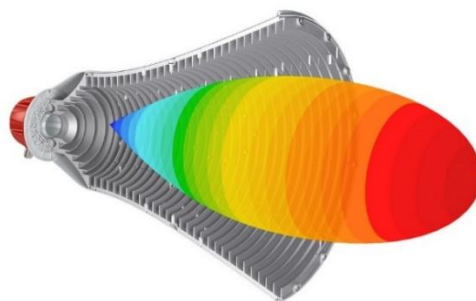
**Directividad:** La directividad de una antena se refiere a la región en la que se enfoca la potencia de la radiación en una dirección específica. Dependiendo de la dirección requerida para la transmisión, existen tres categorías de antenas que pueden ser identificadas.

- **Antena Direccional**

Como se puede observar en la Figura 4 estas transmiten o reciben las ondas electromagnéticas con la característica de concentrar la energía de la radiación en solo una dirección ayudando a que genere un alcance a kilómetros. Estas antenas son ideales para los enlaces punto a punto ya que irradia energía en una sola dirección.

**Figura 4.**

*Esquema de radiación de una antena direccional.*



*Nota.* Tomado de (s/f, 2013)

- **Antena Omnidireccional**

Estas antenas emiten potencia de manera equitativa en todas las direcciones y encuentran una amplia aplicación en sistemas de radiofrecuencia, telecomunicaciones, routers, dispositivos móviles, cámaras IP, entre otros. Pueden adoptar diversas configuraciones, y algunos de los factores clave para evaluar su desempeño incluyen la ganancia de la antena, la impedancia de entrada, la resistencia de radiación, el ancho de

banda, el patrón de radiación y la polarización, así como sus diferentes presentaciones para cada lugar específico como se muestra en la Figura 5. (Ubierna O. , 2022)

**Figura 5.**

*Tipos de antenas omnidireccionales de alto alcance*



*Nota.* Tomado de (OKDIARIO, 2018)

- **Antena Sectorial**

Las antenas sectoriales son dispositivos que emiten señales hacia áreas específicas, operando desde un equipo central hacia múltiples dispositivos secundarios distribuidos en un área extensa. Se utilizan en diversos escenarios, desde proveer internet en cualquier condición climática hasta cubrir grandes extensiones como se puede observar en la Figura 6, se emplean para ofrecer cobertura en áreas específicas, siendo cruciales en sistemas de transmisión inalámbrica como WiFi, 4G, 5G, LoRa, Tetra y Bluetooth también es utilizado enlaces punto a multipunto para llevar internet a áreas sin conexión. Una antena de 120 grados se sitúa estratégicamente a la altura adecuada para cubrir dicho rango y conectar múltiples clientes a internet. (Ubierna O. , 2021)

**Figura 6.**

*Arreglo de antena sectoriales en un lugar estratégico.*



*Nota.* Tomado de (Byte instantáneo, 2021)

**Ángulo de Elevación:** El patrón de radiación de una antena se enfoca en dos ángulos clave: el "azimut", que se refiere al ángulo en el plano horizontal, y el "ángulo de elevación", que se relaciona con el patrón de radiación en el plano vertical. El ángulo de elevación está diseñado para dirigir la mayor parte de la radiación en direcciones por debajo de la horizontal, ya que es donde generalmente se encuentran los usuarios. Esto es esencial, dado que las antenas suelen ubicarse a altitudes elevadas para lograr una cobertura más amplia. (Hidrobo, 2013)

### **Ganancia**

Se refiere a la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección del máximo, a una distancia  $R$ , y la potencia total entregada a la antena dividida por el área de una esfera de radio  $R$ . La eficiencia es la relación entre la ganancia y la directividad, lo que equivale a la relación entre la potencia total radiada y la potencia entregada a la antena. (Hidrobo, 2013)

### **Rendimiento**

El rendimiento de una antena transmisora se refiere a la relación entre la potencia radiada y la potencia total suministrada a la antena, teniendo en cuenta tanto la potencia radiada como las pérdidas de potencia. (Hidrobo, 2013)

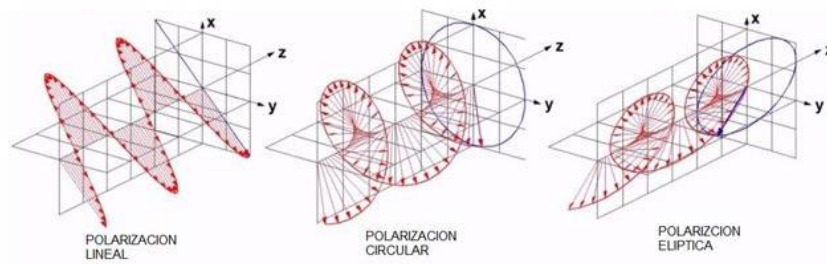
### **Polarización**

Es la orientación del campo eléctrico de la onda electromagnética generada por una antena es lo que se conoce como su polarización. Esta cualidad es esencial en las

comunicaciones inalámbricas, dado que la polarización de la antena transmisora debe coincidir con la polarización de la antena receptora para lograr una comunicación efectiva. Las antenas pueden presentar polarización lineal, ya sea horizontal o vertical, así como polarización circular, ya sea en sentido derecho o izquierdo. (Syscomblog, 2019)

**Figura 7.**

*Tipos de polarización para las antenas y su propagación de onda.*



*Nota.* Tomado de (Syscomblog, 2019)

#### **2.1.4. Parámetros para el cálculo de Radioenlace**

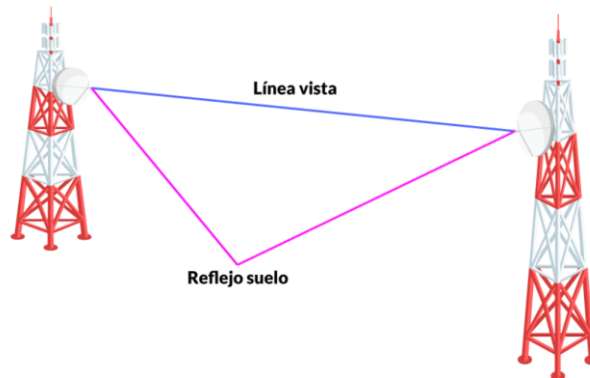
Para asegurar la estabilidad de una red empleando antenas de largo alcance vía microondas, es crucial tener en cuenta ciertos parámetros relacionados con la comunicación inalámbrica. Entre los más relevantes, se han identificado los siguientes elementos:

##### **2.1.4.1. Línea de vista**

Cuando se establece una conexión sin cables, es preferible contar con una línea directa y despejada entre las antenas emisora y receptora para lograr una comunicación efectiva. Elementos como edificaciones, vegetación alta, elevaciones del terreno u otros obstáculos pueden perturbar la señal inalámbrica, afectando su fuerza o incluso provocando interrupciones, entonces preservar una línea de visión clara entre las antenas involucradas contribuye a la estabilidad y la calidad de la conexión sin cables. (Soto Vergel, 2019)

## Figura 8.

*Ejemplo de línea de vista entre dos antenas*



*Nota.* Tomado de (Martínez, 2018)

### 2.1.4.2. Pérdida por espacio libre (FSPL)

La pérdida por espacio libre es la atenuación que una señal de radio experimenta al propagarse en el espacio en este caso no se considera los obstáculos ni las interferencias, pero sí la distancia y la frecuencia de operación del enlace.

La Ecuación 1 permite calcular la atenuación que sufre la señal al momento de propagarse en el espacio libre sin tomar en cuenta las interferencias, reflexiones y obstáculos.

#### Ecuación 1

*Pérdida por espacio libre (FSPL)*

$$L_{FS} = 32,44 + 20 \log_{10}(d\text{km}) + 20 \log_{10}(f\text{MHz})$$

*Nota.*  $d$  distancia entre antenas en km,  $f$  es de 5800 MHz.

### 2.1.4.3. Potencia Isotrópica radiada equivalente (PIRE)

En la Ecuación 2 se calcula la potencia efectiva que será radiada por la antena isotrópica ideal para que produzca la misma densidad de potencia en la dirección de mayor radiación. Se utiliza para controlar los niveles máximos de transmisión permitidos en la zona y así evitar las interferencias entre las redes inalámbricas.

## **Ecuación 2**

*Potencia Isotrópica (PIRE)*

$$PIRE = P_{TX} + G_{TX} + L_{CABLES}$$

$P_{TX}$  =Potencia de transmisión

$G_{TX}$  =Ganancia de la antena transmisora

$L_{CABLES}$  =Perdida por cable y conectores

### **2.1.4.4. Potencia recibida en el receptor**

La potencia recibida en el receptor permite verificar si la señal es suficiente ya que nos indica el nivel de señal que llega al receptor después de considerar la pérdida del enlace y la ganancia de la antena. Se muestra la ecuación para el cálculo de potencia recibida en el receptor.

## **Ecuación 3**

*Potencia del receptor*

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{FS} - L_{CABLES} - L_{OTROS}$$

$P_{RX}$  = Potencia recibida (dBm)

$P_{TX}$  =Potencia de transmisión del equipo (dBm)

$G_{TX}$  =Ganancia de la antena transmisora (dBi)

$G_{RX}$  =Ganancia de la antena receptora (dBi)

$L_{FS}$  =Pérdida por espacio libre (dB)

$L_{CABLES}$  =Perdida por cable y conectores (dB)

$L_{OTROS}$  =Perdidas adicionales (lluvia, obstáculos, alineación) (dB)

$SRX_{dB}$  = Sensibilidad del Receptor (dBm)

#### 2.1.4.5. Longitud de onda

Es la distancia que recorre una onda electromagnética en un lapso, se muestra la ecuación donde se puede calcular la longitud de onda este análisis es fundamental para el análisis de la propagación y el cálculo de la zona de Fresnel.

#### Ecuación 4

*Longitud de onda*

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

*Nota.*  $c$  es la velocidad de propagación de la onda en el vacío y  $f$  es la frecuencia de la señal.

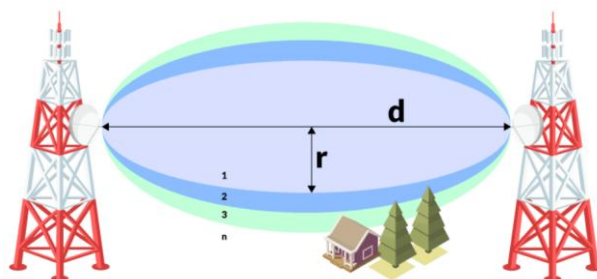
#### 2.1.4.6. Zona de Fresnel

Más allá de la línea de vista directa entre antenas transmisoras y receptoras, esta zona representa un espacio adicional que requiere claridad. Se define como un volumen espacial entre el emisor y el receptor el análisis se centra en la interferencia que podrían causar obstáculos cercanos a la trayectoria de la señal y establece el máximo permitido para garantizar la conexión sin obstáculos. (Fuente, 2018)

En la Figura 9, se puede apreciar la primera zona donde tiene el mayor impacto en la fuerza de la señal, la segunda zona tiene un impacto menor que la primera, la tercera zona tiene un impacto menor que la segunda y así sucesivamente.

#### Figura 9.

*Ejemplo de una zona de Fresnel entre dos antenas.*



*Nota.* Tomado de (Martínez, 2018)

Las zonas de Fresnel se calculan gracias a la siguiente Ecuación 5 que se explica a continuación la cual se utiliza para ambientes donde existen obstáculos en el camino de la transmisión.

#### **Ecuación 5**

*Fórmula para calcular la zona de Fresnel cuando existen obstáculos.*

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

d = distancia total del enlace inalámbrico (km)

f = frecuencia de operación del enlace (GHz)

#### **2.1.4.7. Margen de desvanecimiento**

El margen de desvanecimiento nos indica la diferencia que tiene la potencia recibida y la sensibilidad del receptor, compensa variaciones de la señal que se produce por fenómenos atmosféricos o interferencias. Con la siguiente ecuación se puede calcular el margen de desvanecimiento este análisis ayuda a tener un enlace optimo.

#### **Ecuación 6**

*Margen de desvanecimiento*

$$M_{dB} = PRx_{dBm} - SRx_{dB}$$

*Nota.*  $PRx_{dBm}$  es la potencia recibida en el receptor medida en dBm y  $SRx_{dB}$  es la sensibilidad del receptor ese valor se da en la hoja técnica del dispositivo.

#### **2.1.4.8. Sensibilidad del Receptor ( $SRx_{dB}$ )**

La sensibilidad del receptor nos indica el nivel mínimo que la señal puede tener, este valor ya viene especificado en el datasheet de los equipos a utilizar para el radio enlace.

#### **2.1.4.9. Relación Señal Ruido**

La relación señal ruido es la comparación entre la potencia de la señal enviada y la potencia del ruido dentro del sistema, cuando es alta, indica que la señal es fuerte en relación con el ruido, lo que resulta en una señal de mejor calidad tal como se explica en la Ecuación 7. (Alonso, 2021)

#### **Ecuación 7**

*Formula relación señal ruido.*

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}}$$

Esta fórmula varía según la potencia de la señal emitida, la potencia del ruido, la ganancia y pérdidas del sistema, interferencias presentes y la sensibilidad del receptor.

### **2.2. Tecnologías de redes PON**

La Red Óptica Pasiva (PON) es una categoría crucial de sistemas de acceso de fibra que ocupa una posición destacada en el mercado de acceso a nivel global. Dentro de las clasificaciones de PON, se destacan GPON y EPON. Las diferencias más significativas entre GPON y EPON se centran en los protocolos empleados para las transmisiones en dirección ascendente y descendente. Este artículo presentará de manera progresiva información sobre PON, GPON y EPON. (FCC FIBRA, 2019)

#### **2.2.1. EPON**

El estándar EPON 802.3ah se fundamenta en la norma Ethernet 802.3 y establece una red de fibra óptica pasiva con un alcance de hasta 20 km. EPON utiliza la tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM) con las mismas frecuencias ópticas que GPON y emplea el método de acceso por división de tiempo (TDMA). La velocidad de datos en la línea sin procesar es de 1.25 Gbps tanto en la dirección ascendente como en la descendente. EPON es totalmente compatible con otros estándares de Ethernet, lo que significa que no es necesario realizar encapsulaciones o conversiones

al conectarse a redes basadas en Ethernet en ninguno de los extremos. Se utiliza el mismo marco Ethernet con una carga útil de hasta 1518 bytes. (FCC FIBRA, 2019)

### **2.2.2. GPON**

La infraestructura GPON, una red pasiva punto multipunto, posibilita el transporte de voz, datos y video mediante fibras ópticas. Esta tecnología de acceso en telecomunicaciones emplea la fibra óptica para conectar con los usuarios finales, representando una opción a la conmutación Ethernet en entornos de campus. Su diseño de dos niveles reemplaza el tradicional de tres niveles de Ethernet, prescindiendo de conmutadores Ethernet en acceso y distribución mediante dispositivos ópticos pasivos. (FCC FIBRA, 2019). En la siguiente **Tabla 4** se muestra las recomendaciones que se enfocan en el desarrollo de una red GPON.

#### **Tabla 4**

*Recomendaciones y especificaciones de una red GPON*

<b>Estándar</b>	<b>Especificaciones.</b>
ITU-T G.984.1	<p>Conceptos básicos de una red GPON</p> <p>Arquitectura punto a multipunto.</p> <p>Uso de fibra monomodo.</p> <p>Servicios de voz, video y datos.</p> <p>Topología árbol.</p>
ITU-T G.984.2	<p>Longitudes de onda:</p> <p>1490 nm (downstream)</p> <p>1310 nm (upstream)</p> <p>1550 nm (video RF opcional)</p> <p>Especificaciones de puertos ópticos a 2.488 Gbps.</p> <p>Especificaciones de puertos ópticos a 1.244 Gbps.</p> <p>Alcance máximo 20km.</p>
ITU-T G.984.3	<p>Especificaciones de la capa TC de GPON.</p> <p>Arquitectura de multiplexación GTC y protocolos.</p> <p>Definición de trama GTC.</p> <p>Registración y activación de las ONT, seguridad mediante cifrado AES.</p> <p>Soporte Qos.</p> <p>Alarmas y rendimiento.</p>
ITU-T G.984.4	<p>Gestión remota de ONT.</p> <p>Trama de administración de dispositivos OMCI.</p> <p>Principio de funcionamiento de OMCI.</p>

*Nota:* Especificaciones de cada uno de los estándares para la red GPON. Adaptado de (ITU, 2008)

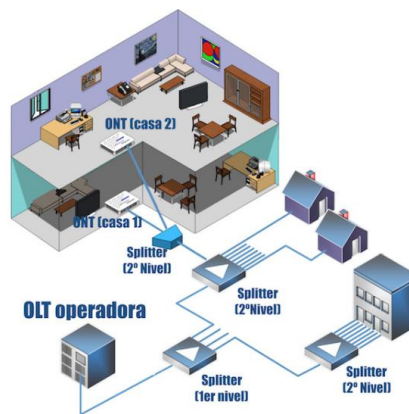
### **2.3. Arquitectura FTTH GPON**

La tecnología FTTH GPON (Red Óptica Pasiva Gigabit Fiber to the Home) es una arquitectura de red de fibra óptica que posibilita la transmisión de datos a velocidades elevadas y con una considerable capacidad de ancho de banda. En la [Figura 2.3](#) se encuentra el origen de la referencia. se observa los elementos que se incluye en una red

GPON para FTTH se incluyen elementos activos que son los equipos que se encuentran en los extremos de la red como la OLT y la ONT, a su vez están los elementos pasivos como cables, conectores, divisores ópticos, empales de fusión en la tabla se especifica los equipos necesarios para la red GPON FTTH.

**Figura 10**

*Modelo de una red GPON para FTTH*



*Nota.* Tomado de (Godoy, 2019)

## 2.4. Componentes de una red FTTH GPON

### 2.4.1. OLT

La OLT es el equipo central para una red FTTH GPON este gestiona la comunicación entre la red troncal y los usuarios finales a través de una red pasiva, este controla la transmisión de datos, gestiona la ONT, asigna ancho de banda, convierte señales eléctricas en ópticas para una transmisión descendente hacia los usuarios y también viceversa. (V.SOL, 2025)

**Tabla 5**

*Características y funciones de una OLT*

Características	Funciones
-----------------	-----------

Soporte alto de ancho de banda.	Conversión de señales
Escalabilidad	Gestión de conectividad
Capacidad Multi servicio	Control y administración
Seguridad	Integración en nodos de servicio
Eficiencia energética	Controla dispositivos conectados.

#### 2.4.2. *ONT*

Es un dispositivo que está ubicado en el domicilio del usuario y que se conecta a la fibra convirtiendo señales de luz en señales eléctricas, es una parte crucial de la infraestructura FTTH y ofrece velocidades mayores comparado a las redes de cobre. Permite que dispositivos como routers, computadoras, dispositivos inteligentes accedan a internet siendo así una conexión confiable y eficiente.

**Tabla 6**  
*Funciones y beneficios de una ONT*

<b>Funciones</b>	<b>Beneficios</b>
Recepción de señales ópticas	Alta velocidad
Conversión de señales	Estabilidad
Distribución de datos	Escalabilidad
Gestión del ancho de banda	Eficiencia energética
Uso en el hogar	Seguridad
Centros de telecomunicaciones	Flexibilidad

#### 2.4.3. *Fibra Óptica*

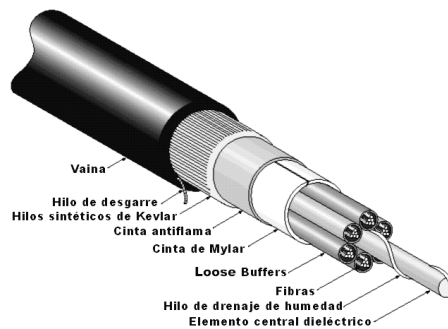
Los circuitos de fibra óptica consisten en finos hilos de vidrio, los filamentos son capaces de dirigir los mensajes a lo largo de su recorrido, incluso en situaciones donde se presenten curvas y esquinas, sin sufrir interrupciones en la transmisión. Las fibras ópticas

pueden ser utilizadas en la actualidad en lugar de los cables de cobre tradicionales, tanto en entornos pequeños y aislados, como en extensas redes de comunicación a nivel geográfico, como las que son gestionadas por empresas de telefonía en áreas urbanas de gran extensión.

La transmisión de luz a través de una fibra óptica se basa en el principio de reflexión interna total. La luz que viaja a lo largo del núcleo central de la fibra incide en la superficie exterior con un ángulo mayor que el ángulo crítico, lo que provoca que toda la luz se refleje de manera eficiente hacia el interior de la fibra. De esta manera, la luz puede ser transmitida a grandes distancias, reflejándose repetidamente a lo largo del recorrido. (Rodríguez Y. , 2009)

### **Figura 11**

#### *Partes de la Fibra Óptica*






*Nota.* Tomado de (Rodríguez Y. , 2009)

#### **2.4.4. Conectores**

Los conectores de fibra óptica suelen constar de varias partes, que incluyen la férula, el cuerpo, el ojillo de crimpado y la bota. Los tipos de conectores de fibra óptica más comunes son los que se describen a continuación en la Tabla 7.

### **Tabla 7**

#### *Tipos de conectores para Fibra Óptica.*

Tipo de Conector	Características	Imagen
SC	Conector push-pull con férula de 2.5mm. Pérdida de inserción típica de 0.25dB. Utilizado en aplicaciones FTTH y en redes de datos.	
LC	Conector pequeño con férula de 1.25mm. Utilizado en sistemas de alta densidad como paneles y racks, fibra hasta la casa, distribución en edificios, redes de área local, redes de procesamiento de datos y sistemas de TV por cable. Pérdida de inserción típica de 0.25dB.	
FC	Conector roscado con una fijación resistente a vibraciones. Utilizado en aplicaciones sometidas a movimiento, en instrumentos de precisión y en CATV. Pérdida de inserción típica de 0.3dB.	

---

ST

Se utilizan en redes de campus universitarios, redes corporativas y aplicaciones militares. Son conocidos por su durabilidad, ya que pueden soportar hasta 500 ciclos de conexión y desconexión.



MPO Conector multi-fibra que puede sostener desde 12 hasta 24 fibras en una sola férula rectangular. Utilizado para construir redes de Ethernet de transmisión paralela de 40G y 100G. Pérdida de inserción típica de 0.25dB.



---

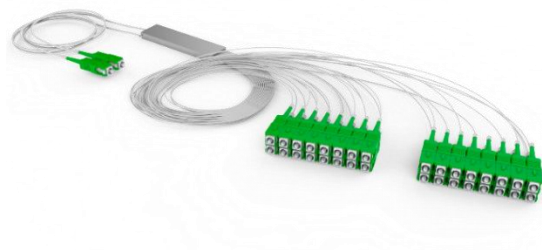
*Nota.* Tomado y adoptado de (RvMax., 2017) (Rodriguez A. , 2016)

#### **2.4.5. Divisores Ópticos**

Los divisores ópticos son dispositivos utilizados en redes de fibra óptica para descomponer una señal óptica en señales más tenues, lo que posibilita la conexión de múltiples dispositivos a la red. Estos divisores ópticos suelen categorizarse en dos tipos según su principio de funcionamiento: el divisor FBT (Fusión de Bicónica Cónica) y el divisor óptico PLC (Planar Lightwave Circuit). Además, su variedad de aplicaciones da lugar a distintas formas de divisores ópticos, como los de tipo caja, bandeja, montados en rack o montados en la pared. A continuación, se mencionan los tipos más usuales de divisores ópticos. (FOCC, 2019)

## Figura 12

*Divisores Ópticos utilizados en las redes de fibra óptica.*



*Nota.* Tomado de (FOCC, 2019)

## Tabla 8

*Pérdidas de divisor y pérdidas de inserción de divisores ópticos.*

<b>Tipo de Divisor</b>	<b>Perdida de inserción</b>
Divisor 1:2	4.1 dB
Divisor 1:4	7.4 dB
Divisor 1:8	10.5 dB
Divisor 1:16	13.8 dB
Divisor 1:32	17.1 dB
Divisor 1:64	20.4 dB

*Nota.* Adoptado y tomado de (Lee, 2015)

### 2.4.6. ODF

Marco de distribución de fibra (ODF) es un dispositivo de infraestructura que se utiliza para distribuir cables de fibra óptica dentro de una red, se utiliza para empalme por fusión de fibra de terminales de cables, despliegue de rutas, almacenamiento de pigtailed sobrantes, instalación de conectores ópticos y protección de la fibra. (Aiyden, 2021)

### ***2.4.7. Amplificadores Ópticos***

Los amplificadores de fibra óptica son dispositivos empleados para fortalecer señales ópticas sin necesidad de transformarlas en señales eléctricas. Estos amplificadores se aplican cuando la señal se debilita y se dividen principalmente en tres categorías: amplificadores de fibra dopada con erbio (EDFA), amplificadores Raman de fibra (FRA) y amplificadores ópticos de semiconductores (SOA). (Feng, 2023)

### ***2.4.8. Transmisores y receptores ópticos***

Los transmisores y receptores ópticos son elementos fundamentales en sistemas de comunicación óptica, como las redes de fibra óptica, transforman señales eléctricas en señales ópticas para su envío a través de la fibra óptica, mientras que los receptores ópticos hacen la conversión inversa, transformando señales ópticas en señales eléctricas para su procesamiento y uso posterior. (Gran tecnología de Hangzhou, 2019)

### ***2.4.9. Cálculo del presupuesto del enlace óptico***

#### **2.4.9.1. Presupuesto máximo del enlace óptico**

Define la pérdida total permitida entre el receptor y el transmisor está determinada por la diferencia entre la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor y se calcula con la Ecuación 8.

#### **Ecuación 8**

*Presupuesto del enlace óptico*

$$L_{MAX} = P_{TX} - S_{RX}$$

$L_{MAX}$  = Pérdida máxima admisible del enlace (dB)

$P_{TX}$  = Potencia de transmisión del emisor (dBm)

$S_{RX}$  = Sensibilidad del receptor (dBm)

### 2.4.9.2. Pérdidas totales del enlace

Las pérdidas totales se dan a la suma de todas las atenuaciones que tiene la red como atenuación de fibra, empalmes, splitters, conectores y alguna pérdida adicional.

#### Ecuación 9

*Pérdida total del enlace*

$$L_{TOTAL} = L_{FIBRA} + L_{EMPALMES} + L_{CONECTORES} + L_{SPLITTER} + L_{OTROS}$$

### 2.4.9.3. Pérdida por atenuación de la fibra óptica

La atenuación de la fibra óptica se da por fenómenos físicos como la dispersión y la absorción de la materia, también depende de la longitud de onda.

#### Ecuación 10

*Pérdida de atenuación de la fibra óptica*

$$L_{FIBRA} = \alpha \cdot D$$

$\alpha$  = Atenuación de la fibra (dB/km)

D = Longitud del enlace (km)

Valores típicos: 0.35 dB/km a 1310 nm, 0.22 dB/km a 1550 nm.

### 2.4.9.4. Pérdida por empalmes

La pérdida por los empalmes se da en la unión de la fibra óptica, esto depende de la calidad y proceso del empalme.

#### Ecuación 11

*Pérdidas por empalme*

$$L_{EMPALMES} = N_e \cdot L_e$$

$N_e$  = Numero de empalmes

$L_e$  = Pérdida por empalme (0.1 dB)

#### **2.4.9.5. Pérdida por splitter óptico (GPON)**

La pérdida por los splitters ópticos es por la división de la potencia óptica en sus múltiples salidas y ya son valores que no se puede evadir.

#### **Ecuación 12**

*Pérdidas por splitter*

$$L_{SPLITTER} = 10 \log_{10} N + L_{EXTRA}$$

N: Numero de salidas del splitter (1:8, 1:16, 1:32, etc)

$L_{EXTRA}$  Pérdidas adiciones del splitter (1 dB)

#### **2.4.9.6. Potencia recibida en el receptor**

Representa el nivel de la señal óptica que llega al destino es decir al receptor después de atravesar todos los elementos del enlace entonces esta señal debe ser la suficiente en la práctica no debería sobrepasar los -23dBm para garantizar la correcta conexión.

#### **Ecuación 13**

*Potencia recibida en el receptor*

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TOTAL}$$

### **2.5. Etapas de análisis de Factibilidad**

La evaluación de factibilidad es un análisis de una empresa con el fin de determinar si la propuesta de negocio tiene potencial de éxito o fracaso, y en qué circunstancias debe desarrollarse para asegurar su viabilidad. Asimismo, se evalúa si la iniciativa empresarial propuesta tiene un impacto positivo en la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y el medio ambiente. Se detallan a continuación cuatro etapas. (Almaguer, 2009)

### **2.5.1. Estudio del mercado**

El análisis de mercado puede ser definido como la función que conecta a los consumidores con el profesional encargado de examinar el mercado mediante información, la cual se utiliza para reconocer y definir las oportunidades y amenazas del entorno, para desarrollar y evaluar estrategias de marketing, así como para mejorar la comprensión del proceso de comercialización. Dado su carácter preliminar, se trata de una investigación inicial del mercado, que evita gastos innecesarios. (Almaguer, 2009)

### **2.5.2. Estudio Técnico**

El análisis técnico es importante en un proyecto de inversión, ya que es en esta etapa donde se evalúa la ubicación y las dimensiones ideales de las instalaciones. En este proceso se examinan detalladamente todos los elementos que afectan el éxito del proyecto, como factores que influyen en la compra de maquinaria y equipo, así como la programación de su adquisición. Además, se lleva a cabo un análisis de los procesos de producción que serán utilizados en el proyecto de inversión.

El análisis técnico se concentra principalmente en los siguientes aspectos:

- **Ubicación óptima:** Definir la ubicación geográfica más adecuada para el negocio.
- **Dimensión del proyecto:** Establecer la capacidad máxima de producción del negocio.
- **Ingeniería del proyecto:** Identificar los procesos necesarios para la creación del producto o servicio.
- **Distribución:** Planificar la disposición física de la empresa.
- **Requisitos de recursos:** Especificar los recursos necesarios para el funcionamiento del negocio. (Baca, 2011)

### **2.5.3. Estudio Administrativo**

La evaluación organizativa y administrativa del proyecto implica la formulación y ejecución de una estructura de gestión para la empresa o negocio, así como el análisis de los desembolsos financieros relacionados con la inversión y la operación de la organización. Además, abarca el estudio de aspectos legales, comerciales, técnicos, laborales, fiscales y procesos de contratación.

### **2.5.4. Estudio Económico y Financiero**

El análisis económico consiste en calcular los costos totales y la inversión inicial requerida. En esta etapa, el objetivo es determinar la cantidad total necesaria para llevar a cabo el proyecto.

- Inversión global del proyecto, que abarca la identificación de dos tipos de inversiones esenciales para cualquier negocio en funcionamiento: la inversión en activos a largo plazo (activos fijos) y la inversión a corto plazo (capital de trabajo).
- Financiamiento de la inversión global: Se debe determinar la fuente de financiamiento más apropiada para el negocio. (Baca, 2011)

## **CAPITULO III: METODOLOGIA**

En esta sección se expondrá la situación actual de la geografía y la disponibilidad de servicios de Internet en la parroquia Buenos Aires. Luego, se llevará a cabo un análisis detallado de los requisitos necesarios para evaluar la viabilidad de la implementación de una red híbrida. Este análisis se realizará considerando las regulaciones y elementos previamente mencionados en el capítulo anterior, y se alineará con las necesidades que la red debe abordar. Se examinará la información disponible, los recursos, materiales y equipos necesarios, así como la accesibilidad proporcionada por la empresa colaboradora PROFYBER S.A.

### **3.1. Situación Actual de la parroquia La Merced de Buenos Aires.**

En la Parroquia La Merced de Buenos Aires, el servicio de internet ha sido un foco de preocupación ya que por su ubicación geográfica y a la distancia respecto a los nodos con los que cuenta la empresa en la ciudad de Ibarra, el despliegue de infraestructura de fibra óptica hasta la parroquia resulta técnicamente complejo y costoso es así que se plantea un análisis de factibilidad de una red híbrida de radio enlace y FTTH desde el cantón Urcuquí hasta la parroquia en estudio como una alternativa técnica y económicamente viable para mejorar el acceso al servicio de internet en la zona. A pesar de la presencia de las empresas proveedoras de servicios de internet como lo son Saitel, Plus y Wisp que brindan conectividad híbrida y de fibra óptica presentan opiniones generales por parte de los usuarios en cuanto a la calidad del servicio ya que es deficiente en términos de velocidad, estabilidad y continuidad de la conexión.

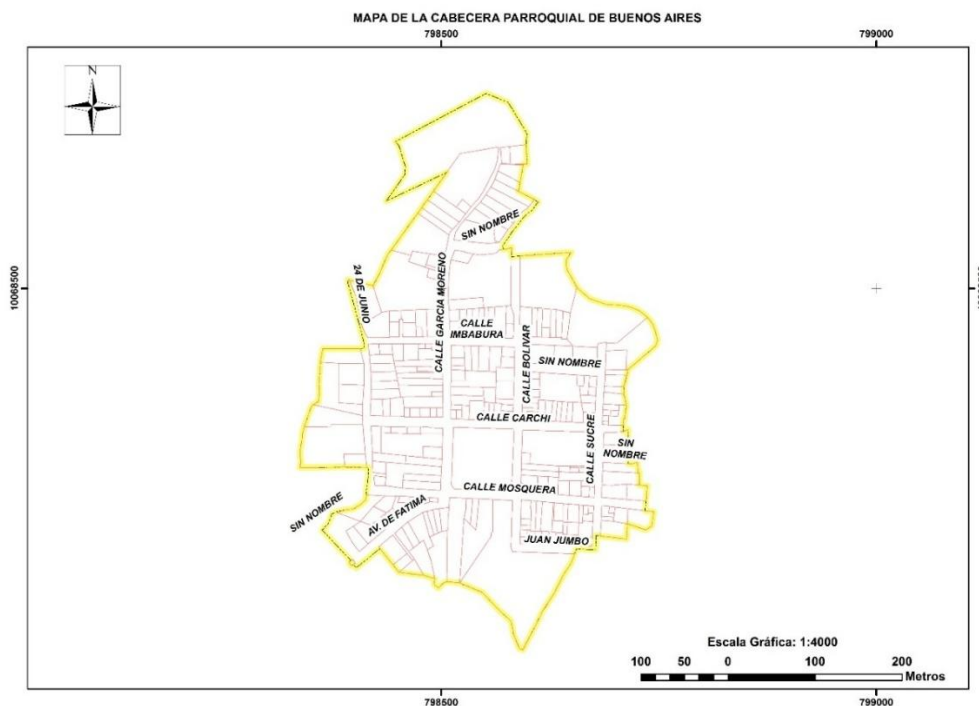
### **3.2. Localización y características**

La parroquia La Merced de Buenos Aires está ubicada en el cantón Urcuquí, en la provincia de Imbabura, Ecuador. Se encuentra a una altitud de 2.287 metros sobre el

nivel del mar, con un clima templado donde las temperaturas varían entre los 16°C y 18°C. Limita al norte con la parroquia Lita en el cantón Ibarra, al sur con las parroquias Cahuasquí e Imantag en el cantón Cotacachi, al este con la parroquia La Carolina en Ibarra, y al oeste con la parroquia Alto Tambo en la provincia de Esmeraldas.

### Figura 13

*Localización de la Merced – Mapa urbano de la localidad.*



*Nota.* Tomado de GAD Municipal Urcuquí

#### 3.2.1. Población

Según los datos del censo de 2010, la parroquia La Merced de Buenos Aires, ubicada en el cantón Urcuquí de la provincia de Imbabura, tenía una población de 1.893 habitantes. Sin embargo, se estima que para 2025 la población había crecido a alrededor de 2.500 personas, lo que indica una tendencia de aumento en la población de la parroquia.

### 3.2.2. Muestra de la Población

La selección de una muestra poblacional en la parroquia la Merced de Buenos Aires permite obtener datos representativos de manera eficiente, identificar patrones y brechas digitales, y segmentar características específicas de los usuarios. Esta información es clave para fundamentar decisiones orientadas a mejorar la conectividad, evaluar impactos, priorizar soluciones y garantizar que las conclusiones sean confiables mediante herramientas estadísticas.

La fórmula más comúnmente utilizada para calcular el tamaño de una muestra en una población finita es:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

$n$ : es el número de encuestas necesarias para representar a una población con un cierto nivel de confianza.

$N$ : corresponde al total de individuos o unidades del área de estudio.

$Z$ : Valor del nivel de confianza. Se usa 1.96 para un de confianza.

$p$  y  $q$ : Proporción estimada de la población. Se asume que  $p=0.5$  y  $q=0.5$  al desconocer el dato.

$e$  Margen de error es el rango aceptable de error en los resultados, expresado como un valor decimal, como 0.07 para un margen de error del 7%.

Datos proporcionados

$N = 1893$  Tamaño de la población

$Z = 1.96$  Nivel de confianza (95%)

$p = 0.5$  Proporción estimada

$q = 1 - p$  Complemento de  $p$

$e = 0.05$  Margen de error (7%)

Fórmula para el tamaño de la muestra

$$n = \frac{1893 * 1.96^2 * (0.7)^2}{(0.07)^2 * (1893 - 1) + 1.96^2 * (0.7)^2}$$

$$n \approx 177,70$$

Tras el cálculo y redondeo al número entero superior, se determina que el tamaño de la muestra requerida es de 178 habitantes.

### 3.3. Encuesta y análisis de resultados

Se aplicó una encuesta a una muestra de 178 abonados, cifra que corresponde al tamaño muestral definido para garantizar la validez estadística de la investigación. El objetivo central de este levantamiento de información fue diagnosticar de manera objetiva la situación técnica y comercial del servicio de internet en la localidad.

Con el fin de procesar los hallazgos de forma rigurosa, se procedió con la tabulación sistemática de las respuestas obtenidas. Este procedimiento permitió la conversión de los datos brutos en indicadores cuantitativos, facilitando su posterior representación gráfica. Mediante este análisis porcentual, se logra una interpretación comprensible de las tendencias de consumo y niveles de satisfacción de los usuarios. El desglose detallado de este proceso se encuentra debidamente documentado en Anexo A, mientras que en la Tabla 9 se exponen el análisis de cada pregunta.

#### **Tabla 9**

*Análisis de las encuestas realizadas*

<b>Datos de la encuesta realizada en la Parroquia La Merced de Buenos Aires</b>	
<b>Preguntas</b>	<b>Análisis</b>
¿En qué rango de edad se encuentra?	La población encuestada muestra una predominancia del grupo de adultos jóvenes,

	<p>con un 42.1% (75 personas) situadas en el rango de 26 a 40 años. Los grupos de 18-25 años (18.5%) y 41-60 años (19.6%) presentan una distribución similar, la mayoría de los usuarios pertenecen a un segmento poblacional económicamente activo y con alta dependencia tecnológica, lo que valida la relevancia de estudiar la calidad de su conectividad.</p>
<p>¿Dispone actualmente de servicio de internet en su domicilio?</p>	<p>De los 178 participantes, el 62.4% cuenta con servicio de internet en su hogar, mientras que un 36.5% de encuestados carece del mismo, existe una brecha digital significativa en la zona de estudio, donde aproximadamente uno de cada tres hogares aún no tiene acceso a internet residencial, representando un mercado potencial para nuevos proveedores o expansiones de red.</p>
<p>¿Cuál es el nombre de su proveedor de servicio de internet actual?</p>	<p>Entre quienes poseen internet, la empresa PLUS lidera el mercado local con un 48.7% de preferencia. Le siguen SAITEL con el 30% y WISP con el 9.7%. El mercado se encuentra concentrado principalmente en dos proveedores, lo que sugiere una competencia limitada que podría influir en los precios y la calidad del servicio ofrecido.</p>
<p>¿Cuál es el valor que paga mensualmente por su servicio de internet?</p>	<p>El costo del servicio varía, pero el 33% de la población encuestada indicó realizar un pago de 30 dólares mensuales. Otros valores reportados incluyen 25, 35 y hasta 60 dólares en casos aislados. El precio estándar del mercado se sitúa en los \$30. Cualquier propuesta de mejora tecnológica debe considerar este punto de equilibrio para ser competitiva.</p>

Su proveedor de internet actual le entrega el servicio a través de:	La tecnología dominante es la Fibra Óptica con un 53% de encuestados, seguida por la conexión vía Antena (Radioenlace) con un 36% de usuarios, aunque la fibra óptica ha ganado terreno, una parte considerable de la población aún depende de radioenlaces, tecnología que suele ser más susceptible a interferencias climáticas y geográficas.
¿Cuáles son los principales usos que le da al internet en su hogar?	El uso primordial del internet es la Educación (Estudios/Tareas) con 91 menciones. Le siguen la comunicación/redes sociales (62) , trámites bancarios (59) y entretenimiento (54). El internet en la zona no es visto solo como una herramienta de ocio, sino como un servicio esencial para el desarrollo educativo.
¿Con qué frecuencia experimenta cortes y/o intermitencias en el servicio?	Un dato crítico es que el 60% de los usuarios experimenta cortes o intermitencias "algunas veces al mes". Un 15% adicional reporta fallos semanales o diarios. Existe un alto nivel de inestabilidad técnica en los servicios actuales. Esto justifica técnicamente la necesidad de implementar redes más robustas (como GPON/FTTH) para mejorar la confiabilidad.
¿Qué tan satisfecho/a está con la calidad general del servicio de internet que recibe?	La mayoría de los usuarios mantienen una postura Neutral 48% respecto a la calidad recibida. Solo un 2.7% se declara "muy satisfecho". La falta de una satisfacción clara del nivel neutral e insatisfecho indica que el servicio actual cumple apenas con lo mínimo, dejando un margen amplio para mejoras en la experiencia del usuario.
¿Qué tan satisfecho/a está con la atención recibida en caso de	La percepción sobre el soporte técnico es 37% Neutral y un 36% está Insatisfecho. El soporte

---

problemas técnicos o consultas sobre el servicio? técnico es una debilidad crítica de los proveedores actuales. La fidelización de clientes en esta zona podría lograrse mediante una gestión de incidencias más eficiente.

---

¿Estaría dispuesto/a a pagar más por un servicio de internet de mayor calidad o velocidad (ej. Fibra óptica)? A pesar de las quejas técnicas, el 60% de usuarios manifestó que NO estaría dispuesto a pagar más por un servicio de mayor calidad como la Fibra Óptica, mientras que el 40% sí lo haría. Los usuarios son altamente sensibles al precio. Para que un proyecto de mejora sea factible, se debe ofrecer mayor calidad manteniendo los costos similares a los actuales de \$30, o demostrar un valor agregado excepcional para captar al 40% dispuesto a invertir más.

---

### **3.4. Diseño de la red inalámbrica**

En el diseño de una red de radiofrecuencia es fundamental considerar diversos factores que influyen directamente en la calidad, estabilidad y alcance de la conexión (Vela, 2015). Entre los principales aspectos para tener en cuenta se encuentran:

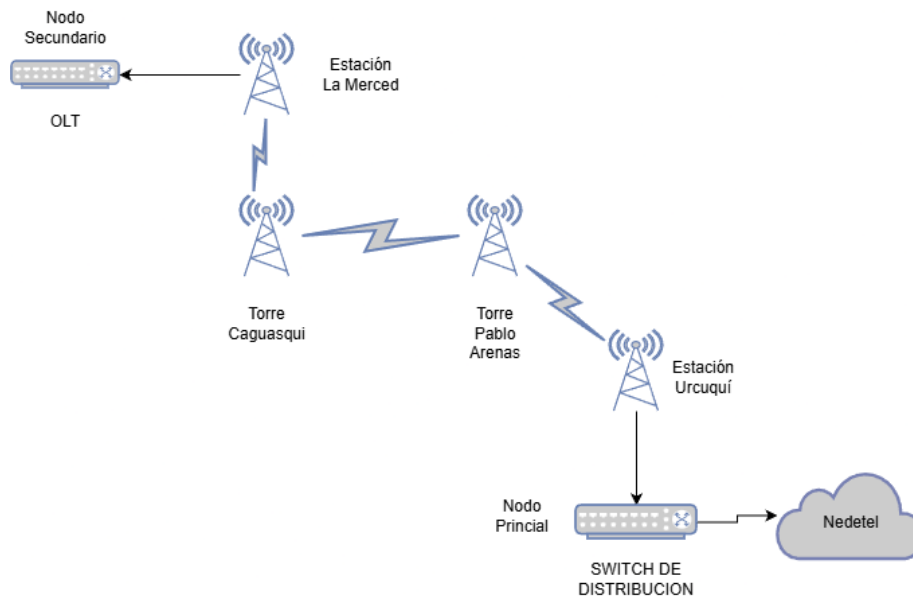
- Línea de vista (LoS): Es fundamental asegurar una línea de vista despejada entre los puntos de transmisión y recepción, evitando en lo posible obstáculos físicos.
- Distancia entre nodos: La separación entre los extremos del radioenlace debe estar dentro de los límites operativos del equipo utilizado, considerando la atenuación de la señal y las condiciones ambientales.
- Altura de instalación: La ubicación de las antenas debe garantizar una elevación suficiente para maximizar la cobertura y minimizar interferencias, especialmente en entornos urbanos o con topografía irregular.

- Frecuencia: La selección adecuada del espectro de operación permite optimizar la capacidad de transmisión.

De esta manera, la consideración de estos factores en el diseño del radioenlace como se muestra en la Figura 14.

**Figura 14**

*Arquitectura de la red inalámbrica*



*Nota.* La figura muestra la topología propuesta de una red híbrida de radio enlace y FTTH para el transporte del tráfico desde Urcuquí que sería el nodo principal el cual se encuentra enlazado a la red troncal del proveedor NEDETEL mediante un switch de distribución, desde ese punto el tráfico es transportado a los enlaces inalámbricos punto a punto que se conectan con las torres ubicadas en Urcuquí, Pablo Arenas y Cahuasqui hasta llegar a la estación La Merced. Como punto final está el nodo secundario de Fibra Óptica GPON brindando el servicio de internet a los usuarios de la parroquia.

**3.4.1. Localización de las estaciones**

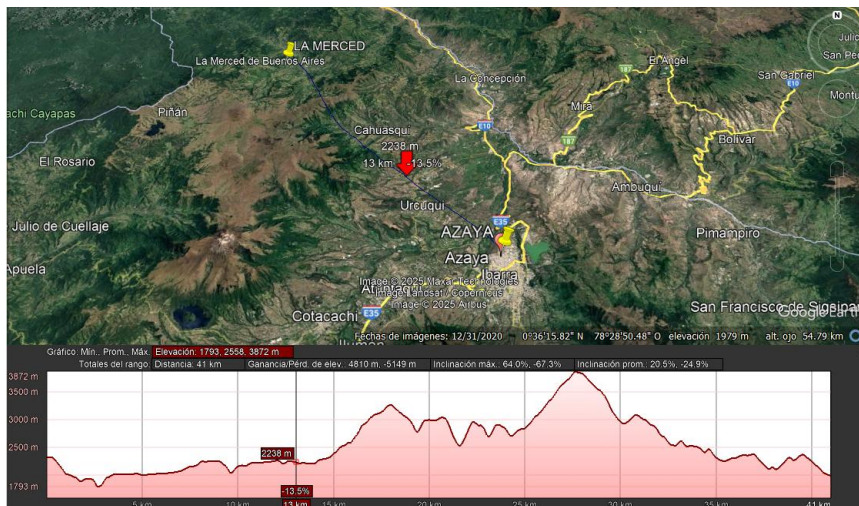
La determinación de las estaciones o nodos del radioenlace constituye un paso fundamental en el diseño de la red híbrida, pues garantiza la viabilidad técnica del sistema

de transporte inalámbrico. Para ello, se evaluaron inicialmente diferentes puntos de origen y posibles trayectorias de enlace, considerando criterios como disponibilidad de línea de vista (LOS), altitud relativa, accesibilidad física, distancia entre extremos y presencia de obstáculos naturales o artificiales.

En la primera fase del estudio se analizó la posibilidad de establecer un radioenlace directo entre Azaya y la parroquia La Merced de Buenos Aires, utilizando herramientas como Google Earth para obtener el perfil topográfico del trayecto. Sin embargo, los resultados evidenciaron que esta ruta presenta elevaciones montañosas pronunciadas que bloquean completamente la línea de vista, lo cual imposibilita la implementación de un enlace punto a punto directo ver Figura 15. Las variaciones de altitud superan los márgenes admisibles para el despeje de la zona de Fresnel, comprometiendo la calidad y disponibilidad del enlace.

### Figura 15

*Perfil topográfico en trayecto Ibarra - La Merced de Buenos Aires.*



Debido a esta limitación, se procedió a estudiar alternativas de trazado. Tras un análisis comparativo de perfiles de elevación, se determinó que la ruta más viable consiste en establecer el enlace desde Urcuquí hacia La Merced, utilizando dos estaciones repetidoras intermedias ubicadas en las zonas denominadas Pablo Arenas y Cahuasquí.

Estas ubicaciones presentan condiciones topográficas favorables que permiten garantizar línea de vista hacia ambos extremos del enlace.

Es importante destacar que actualmente no existe infraestructura instalada en estas ubicaciones. La selección de estos sitios responde a:

- Alturas naturales que permiten despejar suficientemente la zona de Fresnel.
- Distancias intermedias óptimas entre los tramos Urcuquí–Pablo Arenas, Pablo Arenas–Cahuasquí y Cahuasquí–La Merced.
- Posibilidad de garantizar accesibilidad técnica y mantenimiento una vez construidas las estructuras.

La incorporación de estas nuevas torres repetidoras permitirá conformar una ruta de radioenlace técnicamente viable y estable, habilitando el transporte de datos hacia La Merced, donde posteriormente se desplegará la red FTTH planificada para la distribución local del servicio.

La Tabla 10 presenta las coordenadas, expresadas en grados, minutos y segundos, correspondientes a los sitios seleccionados para la instalación estratégica de las torres que sostendrán las antenas. La altura asignada a cada torre se determinará en función de la línea de vista más adecuada para garantizar una transmisión óptima.

**Tabla 10**

*Coordenadas en grados decimales, grados, minutos, segundos de las estaciones*

<b>Lugar</b>	<b>Latitud minutos</b>	<b>Longitud minutos</b>	<b>Latitud Grados D.</b>	<b>Longitud Grados D.</b>	<b>Elevación</b>
<b>Estación Urcuquí</b>	0°25'36,4 "N	78°12'04,6"O	0.426781	-7.820.129	2151,5 m.
<b>Estación La Merced</b>	0°37'03,8 "N	78°19'03,5"O	0.603333	-7.832.222	2262,9 m.
<b>Torre Pablo Arenas</b>	0°27'48,0 "N	78°16'43,0"O	0.463333	-7.827.862	3896,2 m.

<b>Torre</b>	0°32'53,0	78°16'55,0"O	0.542222	-7.829.389	3754,4 m.
<b>Cahuasqui</b>	"N				

Mediante el uso de Google Earth y las coordenadas de las cuatro estaciones se determinó su ubicación exacta y las distancias en kilómetros para cada uno de los enlaces, trazando la trayectoria prevista de la señal a partir de la vista aérea del mapa. La Figura 16 muestra el recorrido que seguirá la transmisión desde el nodo principal del proveedor de internet, pasando por las estaciones repetidoras, hasta llegar al nodo final ubicado en La Merced.

**Figura 16**

*Localización de las estaciones.*



### 3.4.2. Distancia entre estaciones

La distancia total considerada para la red inalámbrica es de aproximadamente 25 kilómetros. En este diseño, la estación Urcuquí y la estación final en La Merced utilizarán una sola antena cada una, mientras que las torres intermedias Torre Cahuasquí y Torre Pablo Arenas operarán con dos antenas debido a su función como repetidoras. El

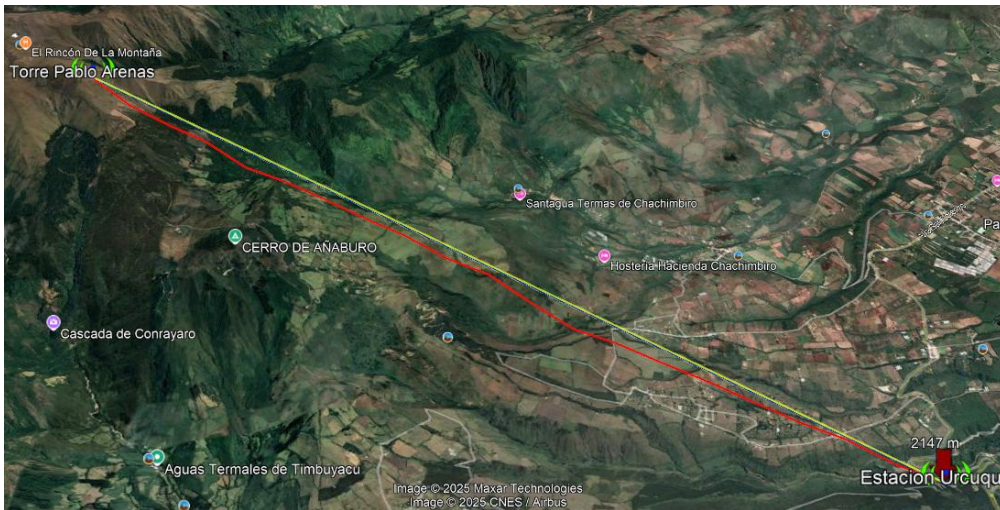
radioenlace se estructura en tres tramos consecutivos que permiten la transmisión punto a punto a lo largo de toda la ruta planificada.

#### **3.4.2.1. Distancia del enlace Estación Urcuquí – Torre Pablo Arenas**

La Figura 17 indica a través de Google Earth la distancia que debe recorrer la red de transmisión entre la Estacion Urcuqui y la Torre Pablo Arenas la cual es de 9,05 Km y cada punto cuenta con una elevación de 2151.5 y 3896.2 metros respectivamente.

#### **Figura 17**

*Distancia aproximada entre Estación Urcuquí y Torre Pablo Arenas.*

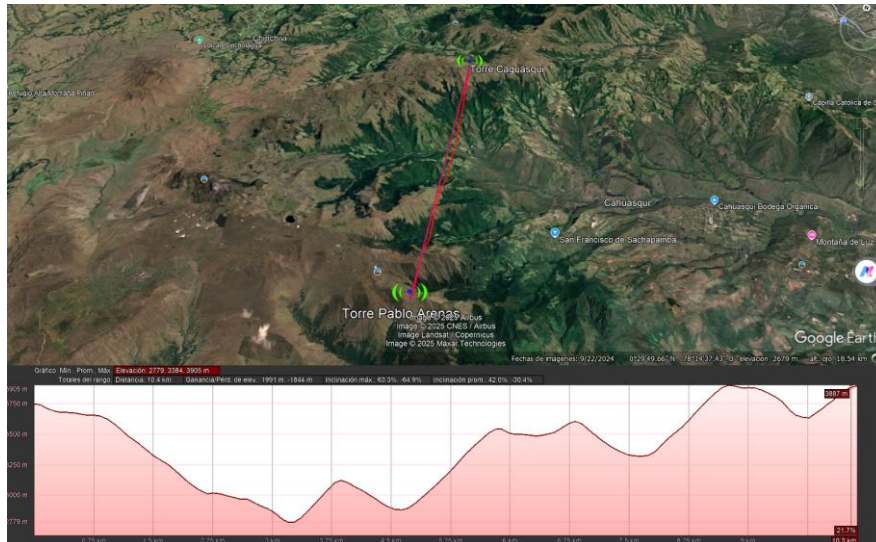


#### **3.4.2.2. Distancia del enlace Torre Pablo Arenas – Torre Cahuasqui**

En la Figura 18 se observa la distancia entre los repetidores o Torres intermedias entre Torre Cahuasqui y Torre Pablo Arenas con una distancia de 8,93 Km entre ellas y con una elevación de 3940.1 y 3896.2 metros respectivamente.

#### **Figura 18**

*Distancia aproximada entre Estación Pablo Arenas y Torre Cahuasqui*

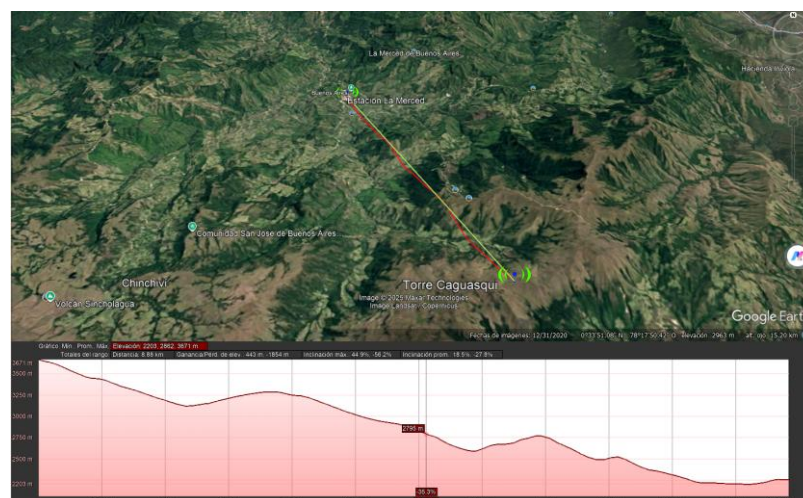


### 3.4.2.3. Distancia del enlace Torre Cahuasqui – Estación la Merced

En la Figura 19 se presenta la distancia correspondiente al último tramo del enlace. Se determinó que la trayectoria de la señal entre la Torre Cahuasquí y la estación final en La Merced es de aproximadamente 7,64 kilómetros. Asimismo, se identificó que la Torre Cahuasquí se ubica a una elevación de 3940,1 metros, mientras que la estación La Merced se encuentra a una altitud de 2534,1 metros, lo que evidencia una diferencia significativa en el relieve del terreno a lo largo de este tramo.

**Figura 19**

*Distancia aproximada entre Torre Cahuasqui y Estación la Merced*



### 3.4.3. *Requerimientos técnicos del radioenlace*

Los requerimientos técnicos necesarios para garantizar un radioenlace adecuado se presentan en la Tabla 11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se detallan los parámetros fundamentales para cada tramo del enlace. Entre ellos se incluyen la distancia entre estaciones, la frecuencia de operación, la potencia de transmisión, la ganancia y sensibilidad de las antenas, así como otros valores relevantes. Estos parámetros corresponden a los tres segmentos que conforman la red propuesta: Urcuquí – Torre Pablo Arenas, Torre Cahuasquí – Torre Pablo Arenas y Torre Cahuasquí – La Merced.

**Tabla 11**

*Requerimientos de las antenas para los tres enlaces*

<b>Requerimientos</b>	<b>Enlace Urcuquí- Pablo Arenas</b>	<b>Enlace Pablo Arenas - Cahuasquí</b>	<b>Enlace Cahuasquí- La Merced</b>
Alcance máximo	Igual o superior a 10 Km	Igual o superior a 10 Km	Igual a 10 Km
Ganancia	Igual o superior a 23dBi	Igual o superior a 23dBi	Igual o superior a 23dBi
Potencia de transmisión	Igual o superior a 16 dBm	Igual o superior a 16 dBm	Igual o superior a 16 dBm
Ancho de banda	20 a 40 MHz	20 a 40 MHz	20 a 40 MHz
Tipo de comunicación	Punto a Punto	Punto a Punto	Punto a Punto
Tipo de antena	Direccional	Direccional	Direccional

Frecuencia	5,8 GHz	5,8 GHz	5,8 GHz
Estándar	802.11 ac	802.11 ac	802.11 ac

### 3.4.4. Cálculo del presupuesto de potencia del enlace inalámbrico

El presupuesto de potencia de un enlace inalámbrico es el cálculo integra la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas, las pérdidas en cables y conectores, la atenuación debida al espacio libre y otros factores ambientales. Un presupuesto de potencia adecuado es esencial para garantizar la calidad, estabilidad y confiabilidad del enlace dentro de la red inalámbrica.

#### 3.4.4.1. Cálculo del enlace Urcuquí – Pablo Arenas

La pérdida en el espacio libre (FSPL) se calcula con la Ecuación 1 la cual se detalla en la sección 2.1.4.2.

$$L_{FS} = 32,44 + 20 \log_{10}(dkm) + 20 \log_{10}(fMHz)$$

$dkm$  = distancia entre antenas 9,05Km

$fMHz$  = 5.8 GHz = 5800 MHz

$$L_{FS} = 32.44 + 20 \log_{10}(9.05) + 20 \log_{10}(5800)$$

$$L_{FS} = 32.44 + 75.268 + 19.12 = 126,828 \text{ dB}$$

Se calcula la potencia que va a recibir el receptor en este caso la estación Pablo Arenas, se obtiene el resultado mediante la Ecuación 3 que se detalla en la sección 2.1.4.4.

Potencia recibida en el receptor

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{FS} - L_{CABLES} - L_{OTROS}$$

$$P_{RX} = 16_{dBm} + 23_{dBi} + 23_{dBi} - 126,828 - 0_{dB} - 0_{dB}$$

$$P_{RX} = -64,828 \text{ dBm}$$

A continuación, se obtiene la Potencia Isotrópica del enlace con la Ecuación 2 que esta detallado en la sección 2.1.4.3 del capítulo 2.

$$PIRE = P_{TX} + G_{TX} + L_{CABLES}$$

$$P_{TX} = 16 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 23 \text{ dBi}$$

$$L_{CABLES} = 0 \text{ dB}$$

$$PIRE = 16 + 23 - 0$$

$$PIRE = 39 \text{ dBm}$$

Como siguiente paso se calcula el margen de desvanecimiento con la Ecuación 6 tomando en cuenta la sensibilidad del receptor ( $SRx_{dB}$ ) este valor depende de la hoja técnica del equipo a usar.

$$M_{dB} = PRx_{dBm} - SRx_{dB}$$

$$M_{dB} = -64,828 \text{ dBm} - (-71 \text{ dBm})$$

$$M_{dB} = 6,172 \text{ dBm}$$

Para finalizar los cálculos del enlace mediante la Ecuación 5 se calcula la Zona de Fresnel que esta detallado en la sección 2.1.4.6.

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{9,05}{4(5,8)}}$$

$$r = 10,82m$$

#### 3.4.4.2. Cálculo del enlace Torre Pablo Arenas – Torre Cahuasqui

Perdida en el espacio libre (FSPL)

$$L_{FS} = 92,45 + 20 \log_{10}(dkm) + 20 \log_{10}(fMHz)$$

$dkm$  = distancia entre antenas 8,93 Km

$$L_{FS} = 92,45 + 20 \log_{10}(8,93) + 20 \log_{10}(5800)$$

$$L_{FS} = 126,72 \text{ dB}$$

Potencia recibida en el receptor

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{FS} - L_{CABLES} - L_{OTROS}$$

$$P_{RX} = 16_{dBm} + 23_{dBi} + 23_{dBi} - 126,72 - 0_{dB} - 0_{dB}$$

$$P_{RX} = -64,72 \text{ dBm}$$

PIRE

$$PIRE = P_{TX} + G_{TX} + L_{CABLES}$$

$$P_{TX} = 16 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 23 \text{ dBi}$$

$$L_{CABLES} = 0 \text{ dB}$$

$$PIRE = 16 + 23 - 0$$

$$PIRE = 39 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M_{dB} = PRx_{dBm} - SRx_{dB}$$

$$M_{dB} = -64,72 \text{ dBm} - (-71 \text{ dBm})$$

$$M_{dB} = 6,28 \text{ dBm}$$

Zona de Fresnel

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{8,93}{4(5,8)}}$$

$$r = 7,67 \text{ m}$$

### 3.4.4.3. Cálculo del enlace Torre Cahuasqui – Estación La Merced

Perdida en el espacio libre (FSPL)

$$L_{FS} = 32,44 + 20 \log_{10}(dkm) + 20 \log_{10}(fMHz)$$

$dkm$  = distancia entre antenas 7,64 Km

$$f_{MHz} = 5.8 \text{ GHz} = 5800 \text{ MHz}$$

$$L_{FS} = 32.44 + 20 \log_{10}(7,64) + 20 \log_{10}(5800)$$

$$L_{FS} = 125,36 \text{ dB}$$

Potencia recibida en el receptor

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{FS} - L_{CABLES} - L_{OTROS}$$

$$P_{RX} = 16_{dBm} + 23_{dBi} + 23_{dBi} - 125,36 - 0_{dB} - 0_{dB}$$

$$P_{RX} = -63,36 \text{ dBm}$$

PIRE

$$PIRE = P_{TX} + G_{TX} + L_{CABLES}$$

$$P_{TX} = 16 \text{ dBm}$$

$$G_{TX} = 23 \text{ dBi}$$

$$L_{CABLES} = 0 \text{ dB}$$

$$PIRE = 16 + 23 - 0$$

$$PIRE = 39 \text{ dBm}$$

Margen de desvanecimiento

$$M_{dB} = PRx_{dBm} - SRx_{dB}$$

$$M_{dB} = -63,36 \text{ dBm} - (-71 \text{ dBm})$$

$$M_{dB} = 7,64 \text{ dBm}$$

Zona de Fresnel

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{7,64}{4(5,8)}}$$

$$r = 19,88 \text{ m}$$

### 3.4.4.4. Resultados Teóricos de cada uno de los enlaces

A continuación, se presentan en la Tabla 12 donde se detalla cada uno de los resultados obtenidos y se explica que significa cada parámetro para el cálculo de los tres enlaces inalámbricos Urcuqui – Pablo Arenas, Pablo Arenas – Torre Cahuasqui y Torre Cahuasqui – La Merced.

$P_{RX}$  = Potencia recibida (dBm)

$P_{TX}$  =Potencia de transmisión del equipo (dBm)

$G_{TX}$  =Ganancia de la antena transmisora (dBi)

$G_{RX}$  =Ganancia de la antena receptora (dBi)

$L_{FS}$  =Pérdida por espacio libre (dB)

$L_{CABLES}$  =Perdida por cable y conectores (dB)

$L_{OTROS}$  =Perdidas adicionales (lluvia, obstáculos, alineación) (dB)

$SRX_{dB}$  = Sensibilidad del Receptor (dBm)

**Tabla 12**

*Resultados Teóricos de los enlaces inalámbricos*

<b>Elementos</b>	<b>Urcuquí– Pablo Arenas</b>	<b>Pablo Arenas – Torre Cahuasqui</b>	<b>Torre Cahuasqui – Estacion la Merced</b>
$P_{TX}$	16 dBm	16 dBm	16 dBm
$L_{TX}$	0 dB	0 dB	0 dB
$G_{TX}$	23 dBi	23 dBi	23 dBi
$L_{FS}$	126,828 dB	126,72 dB	125,36 dB
$G_{RX}$	23 dBi	23 dBi	23 dBi
$L_{RX}$	0 dB	0 dB	0 dB
$S_{RX}$	-71 dBm	-71 dBm	-71 dBm

$M_{dB}$	$M_{dB} = 6,17 \text{ dBm}$	$M_{dB} = 6,28 \text{ dBm}$	$M_{dB} = 7,64 \text{ dBm}$
PIRE	$39 \text{ dBm}$	$39 \text{ dBm}$	$39 \text{ dBm}$
$P_{RX}$	$-64,72 \text{ dBm}$	$-64,72 \text{ dBm}$	$-63,36 \text{ dBm}$
$r$	$r = 10,82 \text{ m}$	$r = 7,67 \text{ m}$	$r = 19,88 \text{ m}$

### 3.4.5. Simulación de Red punto a punto

Para evaluar la factibilidad del radioenlace se emplearon dos herramientas de simulación como Radio Mobile y Ubiquiti AirLink. Radio Mobile permitió analizar con precisión la propagación, la línea de vista y el despeje de la zona de Fresnel mediante modelos digitales de elevación. De manera complementaria, AirLink facilitó la estimación del nivel de señal y el rendimiento esperado utilizando parámetros de equipos comerciales.

La combinación de ambos entornos de simulación permitió obtener una valoración técnica integral del enlace Urcuquí–La Merced, identificar la necesidad de estaciones repetidoras y determinar las alturas óptimas para las torres propuestas dentro del diseño de la red híbrida.

#### 3.4.5.1. Simulación con Radio Mobile

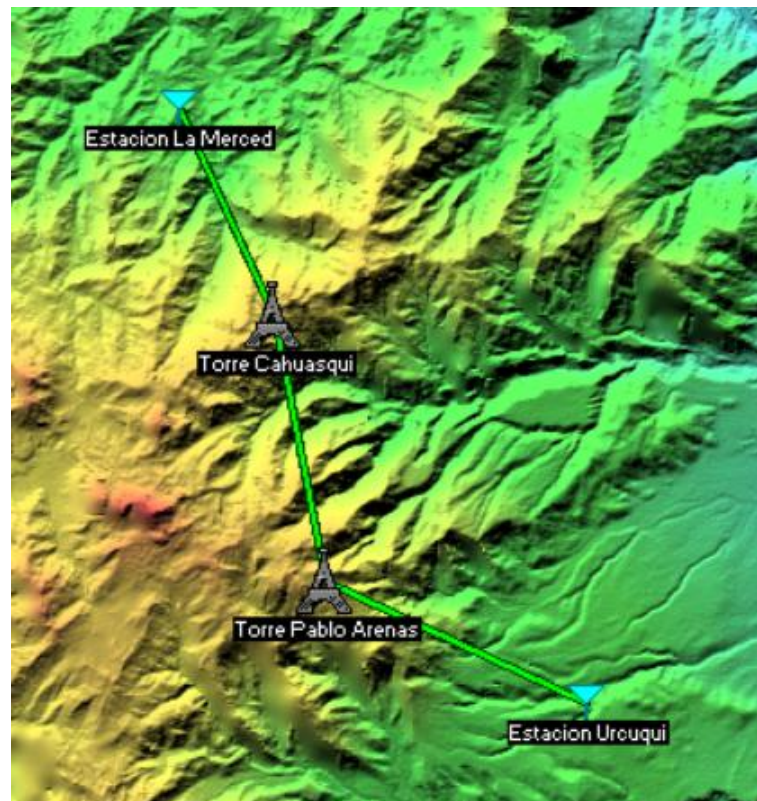
Radio Mobile es una herramienta especializada para la planificación y evaluación de sistemas de comunicación inalámbrica. Permite analizar parámetros como la cobertura, la línea de vista, la atenuación, la zona de Fresnel y la calidad global del enlace. Su capacidad para utilizar modelos digitales de elevación lo convierte en una opción apropiada para estudiar enlaces instalados en entornos con topografía compleja.

En la simulación se incluyeron los parámetros fundamentales del diseño, tales como la localización de las estaciones, la potencia de transmisión, la sensibilidad del receptor y las características de las antenas seleccionadas. Se explica en el Anexo B paso

a paso cada una de las configuraciones que se realizó para la ubicación de cada una de las estaciones con sus respectivas configuraciones adecuadas para los enlaces, dando como resultado la Figura 20.

**Figura 20**

*Localización de las estaciones en el mapa Radio Mobile*



*Nota.* Al realizar la simulación en el software Radio Mobile se puede distinguir el color verde de cada uno de los enlaces que conecta con las estaciones esto tiene el significado que la localización con los parámetros asignados en cada enlace es óptimos para la interconexión entre ellas.

#### ***3.4.5.1.1. Resultados obtenidos de la Simulación***

En la Figura 21 se presenta los resultados de la simulación del enlace inalámbrico entre la Torre Cahuasqui – La Merced, se evidencia que el enlace cuenta con una línea de vista y una zona de Fresnel mínimo de 2,9 adecuado que garantiza las condiciones

favorables para la propagación de la señal. El transmisor tiene potencia de 16.99 dBm y la ganancia del receptor y transmisor es de 23 dBi, como resultado se obtiene un nivel de señal recibida de -74.8 dBm generando un margen de enlace aproximado de 32 dB.

**Figura 21**

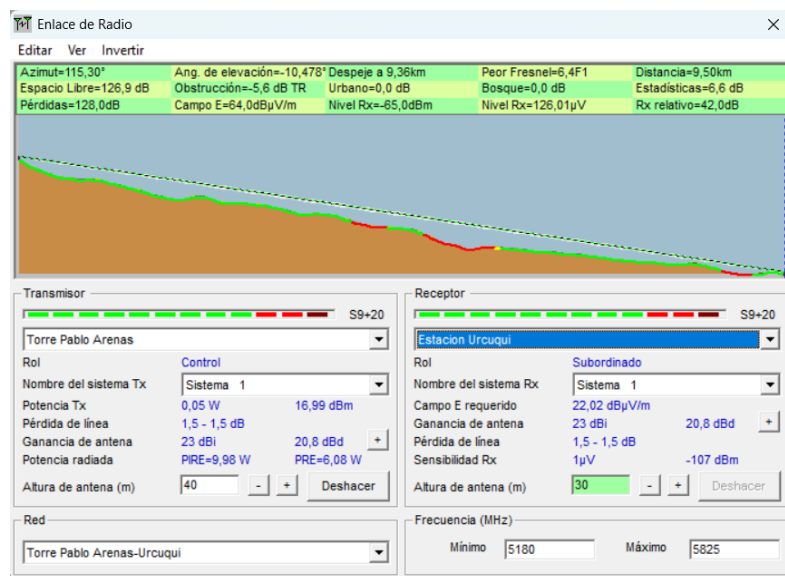
*Resultados del radio enlace entre Torre Cahuasqui - La Merced*



En la Figura 22 se muestra los resultados del enlace Torre Pablo Arenas y Estacion Urcuqui, se obtiene una distancia de 9.50Km aproximadamente, ganancia del receptor y el transmisor de 23 dBi y una zona de Fresnel de 6.4 F1 entonces se obtiene un nivel de ganancia recibida de -65 dBm

**Figura 22**

*Resultados del radio enlace entre Torre Pablo Arenas - Estación Urcuqui*



La Figura 23 presenta la simulación del enlace entre la Torre Cahuasqui (transmisor) y Torre Pablo Arenas (receptor), la distancia del enlace esta alrededor de 8,93 Km, el transmisor opera con una potencia de 16.99 dBm y el receptor como transmisor tienen una ganancia de 23 dBi, las pérdidas de línea que esta considerado en los dos extremos son de 1.5 dB, la zona de Fresnel tiene un despeje adecuado de 2.1 lo cual reduce las pérdidas por difracción y se obtiene un nivel de señal recibida de -76.6 dBm entonces se garantiza una comunicación estable.

**Figura 23**

*Resultados del radio enlace entre Torre Cahuasqui - Torre Pablo Arenas*



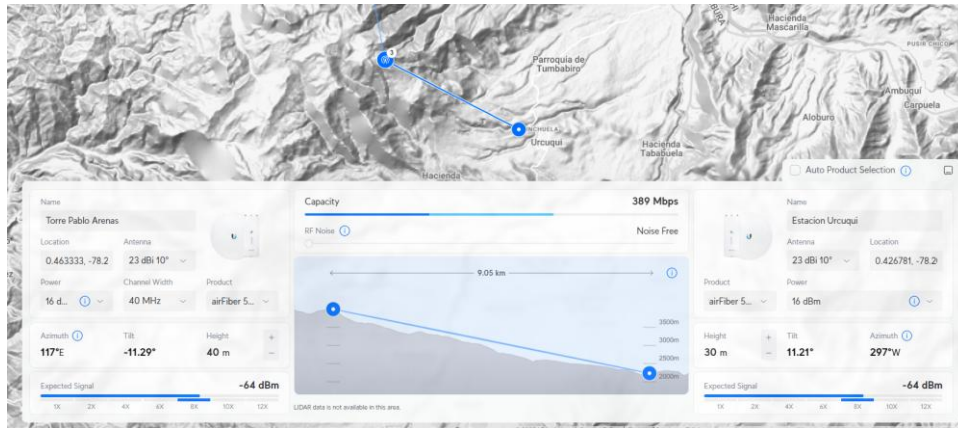
### 3.4.5.2. Simulación con Airlink – Ubiquiti

Adicionalmente para contrastar los resultados obtenidos en Radio Mobile se realizó la simulación en la herramienta Airlink de Ubiquiti, la cual permitió usar parámetros reales de los equipos comerciales de Ubiquiti entonces los resultados obtenidos se utilizó para corroborar los enlaces propuestos y así garantizando la coherencia entre la simulación teórica (Radio Mobile) y el comportamiento esperado en un escenario real de implementación (Airlink Ubiquiti)

En la Figura 24, Figura 25 y Figura 26 se presentan los radio enlaces de la Torre Pablo Arenas con Estacion Urcuqui, Torre Cahuasqui con Torre Pablo Arenas y Estacion La Merced con Torre Cahuasqui, en cada enlace permite modificar altura de antenas, ganancia, ancho de banda, potencia y escoger la antena óptima para trabajar en dicho espacio.

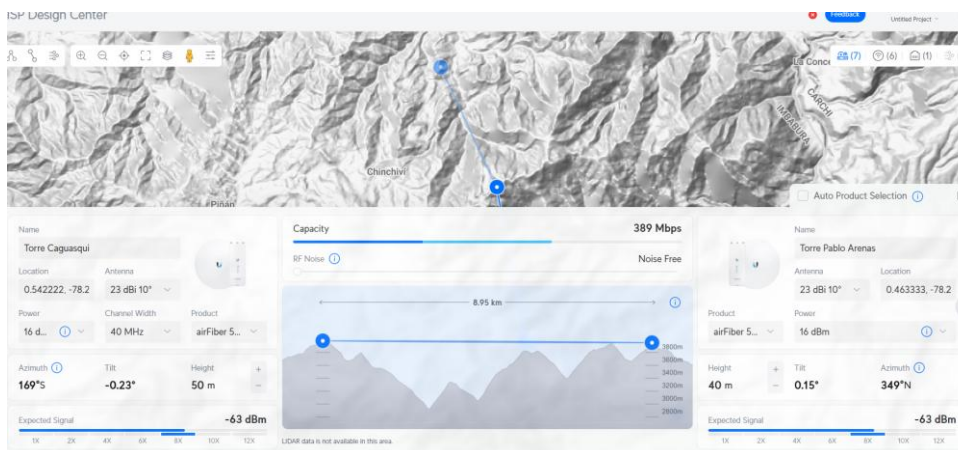
**Figura 24**

*Radioenlace entre Torre Pablo Arenas - Estación Urcuquí con Ubiquiti.*



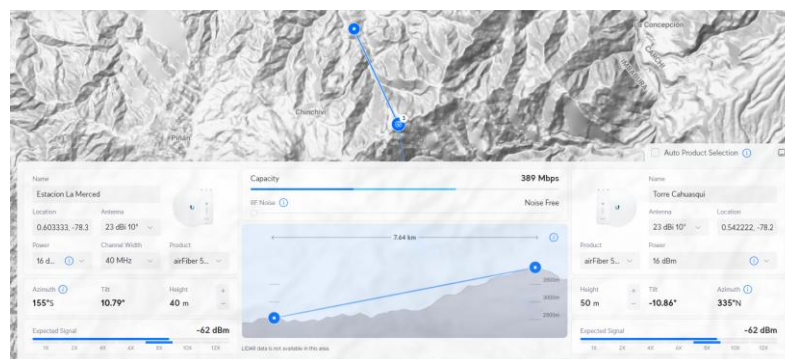
**Figura 25**

*Radioenlace entre Torre Cahuasqui - Torre Pablo Arenas con Ubiquiti.*



**Figura 26**

*Radioenlace entre Estación la Merced - Torre Cahuasqui con Ubiquiti.*



En la Tabla 13 se puede comparar los resultados en ambas herramientas estos se encuentran dentro de rangos aceptables y confirman la viabilidad técnica de los enlaces

propuestos, las variaciones se deben a que Airlink utiliza parámetros reales de los equipos y Radio Mobile hace un análisis basado en modelos teóricos de propagación, sin embargo, en ambos casos la potencia recibida supera a la sensibilidad del receptor.

**Tabla 13**

*Comparación de los resultados obtenidos en Radio Mobile y Airlink Ubiquiti*

<b>Resultados</b>	<b>Potencia recibida Radio Mobile</b>	<b>Potencia recibida Airlink Ubiquiti</b>
<b>Torre Pablo Arenas - Estación Urcuquí</b>	-65 dBm	-64 dBm
<b>Torre Cahuasqui - Torre Pablo Arenas</b>	-76.6 dBm	-63 dBm
<b>Estación la Merced - Torre Cahuasqui</b>	-74.8 dBm	-62 dBm

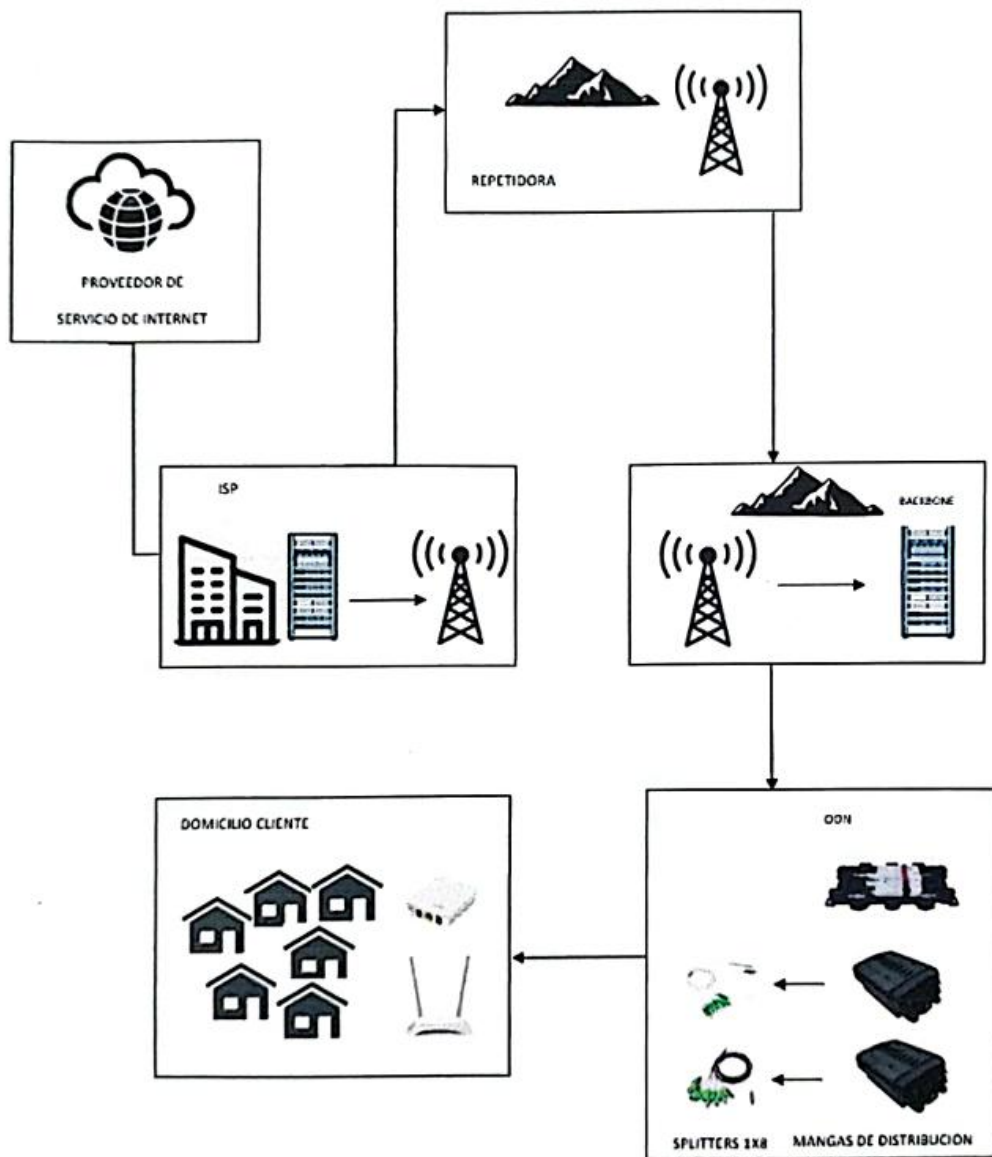
### 3.5. Diseño de la red GPON

Para este proyecto, diseñamos la red GPON siguiendo las cuatro recomendaciones de la norma ITU-T G.984.x y la arquitectura FTTH. Todo el proceso comienza en el nodo La Merced, donde recibimos la señal mediante una antena y la pasamos a un Switch. De ahí, el equipo clave es la OLT, que se encarga de convertir la señal eléctrica en pulsos de luz para que pueda viajar por la fibra óptica. La señal sale primero por los cables troncales hasta llegar a las cajas de distribución, donde usamos elementos pasivos como splitters y empalmes para dividir la señal. Después, el cableado continúa hasta las cajas NAP, que son los puntos de acceso cercanos a las casas. Finalmente, el recorrido termina en el hogar del cliente al conectarse a una ONT, completando así el tramo de última milla y

entregando el servicio de internet. En la Figura 27 se presenta la arquitectura de la red GPON FTTH. La selección de las marcas y modelos de equipos específicos para la red GPON se basa en la experiencia operativa de la empresa PROFYBER, esta selección asegura que el diseño sea compatible con los estándares ya existentes en la empresa y aprovecha las condiciones comerciales favorables que le ofrece su proveedor.

**Figura 27**

*Arquitectura de la red de Fibra Óptica*



### ***3.5.1. Elementos de la red FTTH***

La propuesta se establece en diseñar una red FTTH que trabaje con el estándar GPON, existen diferentes elementos para su correcto funcionamiento los cuales son los elementos pasivos y elementos activos.

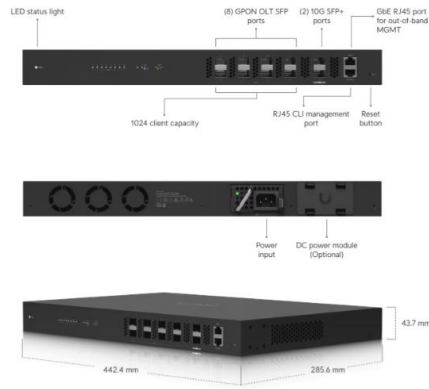
Los elementos Activos para la red FTTH GPON son los responsables de generar, amplificar y procesar la señal óptica. En este diseño, la OLT y la ONT actúan como los puntos terminales de la arquitectura, ubicándose en los extremos de la red. A continuación, se detallan los equipos activos seleccionados para la implementación de esta infraestructura de fibra óptica.

#### **3.5.1.1. OLT**

De acuerdo con el diseño para el tamaño de la red y los posibles usuarios que contraten el servicio y también la escalabilidad a futuro en las comunidades cercanas la mejor propuesta es la OLT de 8 puertos de la marca Ubiquiti UF OLT GPON. En la Figura 28 se muestra un ejemplo de la OLT con sus respectivas especificaciones.

#### **Figura 28**

*UF OLT GPO Ubiquiti*



*Nota.* Tomado de (Ubiquiti Inc., 2026)

A continuación, en la Tabla 14 se especifica las características del equipo para tomar en cuenta los requerimientos para un mejor desempeño de trabajo.

**Tabla 14**

*Características de la UF OLT Ubiquiti*

Ítem Técnico	Descripción
<b>Dimensiones</b>	442.4 x 285.6 x 43.7 mm (17.4 x 11.2 x 1.7")
<b>Interfaces de red</b>	(8) GPON OLT SFP ports (2) 10 Gbps SFP+ ports
<b>Interfaz de gestión</b>	(1) Ethernet Out-of-Band (1) Ethernet In-Band (1) RJ45 Serial Console port Bluetooth
<b>VLAN</b>	4062 VLANs supported
<b>GPON Speeds</b>	2.488 Gbps Downstream 1.244 Gbps Upstream
<b>Max. Fiber Distance</b>	20 km
<b>Operating Wavelengths</b>	1490 nm TX

### 3.5.1.2. ONT/ONU

Otro elemento activo dentro de la red de fibra óptica son los usuarios finales por lo que se utilizaría un EchoLife EG8145V5 marca HUAWEI ya que la empresa PROFYBER tienen mayor preferencia por dicha marca por el costo y beneficio. En la Figura 29 se observa el modelo del equipo.

**Figura 29**

*Modulo WIFI EchoLife EG8145V5 HUAWEI*



*Nota.* Tomado de (Huawei Technologies Co, 2025)

En la Tabla 15 se describe las características con la que cuenta la ONU esta es información necesaria para analizar la potencia de transmisión aceptada.

**Tabla 15**

*Características de la ONU EchoLife EG8145V5 HUAWEI*

<b>Interfaz</b>	<b>Parámetros</b>
<b>WIFI</b>	Ganancia 5dBi Tecnología MIMO 2x2 WMM, Múltiples SSID, WSP 2,4G y 5G concurrentes Tasa de interfaz aérea (300Mbit/s y 867 Mbit/s)

<b>Puerto</b>	IEEE 802.11 b/g/n (2.4G) e IEEE 802.11 a/n/ac (5G)
<b>Ethernet</b>	Sobrecarga de potencia óptica -8 dBm  Puerto Ethernet auto adaptativo 10 Mbit/s, 100 Mbit/s o 1000 Mbit/s
<b>Puerto GPON</b>	Clase B+  Sensibilidad del receptor: -27dBm ~ -29dBm  Sobrecarga de potencia óptica: -8 dBm Longitudes de onda: US 1310nm, DS 1490nm  Filtro de bloqueo de longitud de onda (WBF) de G.984.5  Mapeo flexible entre GEM Port y TCONT  GPON: consistente con la autenticación de SN o contraseña definida en G.984.3 FEC bidireccional  SR-DBA y NSR-DBA

**3.5.2. Elementos pasivos para la red FTTH GPON**

La red de distribución óptica (ODN) se compone de elementos pasivos para su correcto funcionamiento se detalla a continuación en la Tabla 16 los elementos a usar.

**Tabla 16**  
*Elementos Pasivos para la red GPON*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Características</b>
ODF	Material	Acero laminado en frío o
Marca	Compatibilidad	aluminio
HENGHUI	Estándar	SC, LC dúplex, FC, ST  TIA / EIA 568-B 2-1

---

Cable ADSS	Numero de hilos	12
Marca Cablix	Span	120m
	Modo de propagación	Monomodo
	Atenuación	1310nm $\leq$ 0.34db/km
		1550nm $\leq$ 0.20db/km
		1625nm $\leq$ 0.24db/km
	Dispersión	1550nm $\leq$ 18ps/(nm*km)
		1625nm $\leq$ 22ps/(nm*km)
Macro-bend los	60mm, 100 vueltas	
Cable Drop	Numero de hilos de fibra	2 hilos
Marca Cablix	Span	80m
	Modo de propagación	Monomodo
	Atenuación	$\lambda$ 1260 nm $\leq$ 0.47 dB/Km
		$\lambda$ 1310 nm $\leq$ 0.40 dB/Km
		$\lambda$ 1383 nm $\leq$ 0.40 dB/Km
		$\lambda$ 1550 nm $\leq$ 0.30 dB/Km
$\lambda$ 1625 nm $\leq$ 0.40 dB/Km		
Cable Patch	Longitud de onda	1550 nm
Cord	Longitud del cable	1 m
Marca	Tipo de conector	SC
FIBEREC	Tipo de pulido	APC
	Color del conector	Verde
Bandeja de empalme de fibra	Dimensiones	200 mm Ancho 220 mm Alto 50 mm Profundidad

---

---

Marca PSTel	Numero de puertos	12 puertos	
Herrajes para postería	Dimensión de platina	50 mm Largo 6 mm Ancho	
Cajas NAP	Numero de splitters	1x16	
Marca	Dimensiones	300*245*100	
Crossover	Conector soportado	16pcs SC	
Divisores Ópticos	Atenuación del conector	≤0.3dB	
Marca	Pérdida de retorno	UPC≥60dB	
FIBEREC		UP≥50dB	
		PC≥40dB	
	Tipo de conector	SC/UPC	
	Separación	1 a 16 hilos	
Roseta	Pérdida de retorno	APC≥60dB,	UP≥50dB,
Marca Prolink		PC≥40dB.	
		≤0.3dB	
	Atenuación del conector	SC, LC	
	Adaptador adoptable	≥1000MΩ / 500V	
	Resistencia de aislamiento		
	Máximo número de hilos	2	
Gabinetes	Dimensiones	60 × 45 × 100 cm	
Marca Prolink	Peso	20 kg	
	Capacidad de carga	250 lb	

---

### 3.5.3. División Óptica

La división óptica se realiza de forma pasiva mediante el uso de splitters, los cuales distribuyen la potencia luminosa desde el hilo alimentador (Feeder) hacia los cables de distribución. En este diseño, se propone una división en cascada (dos niveles) el primer nivel sería de 1:4 y el segundo nivel de 1:16 para optimizar el uso de la fibra y asegurar que el presupuesto de potencia óptica se mantenga dentro de los rangos operativos de la norma ITU-T G.984.

Para el cálculo se usará la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se hará el análisis del número de hilos de fibra óptica en la OLT para los niveles de splitter, con ello se obtendrá el número de hilos que se conectará a los puertos PON. Entonces se realiza los cálculos para obtener un número aproximado de 200 usuarios y se tienen los siguientes resultados.

$$\# \text{ Hilos Ópticos} = 200/64$$

$$\# \text{ Hilos Ópticos} = 3.13 \approx 4$$

$$\# \text{ Líneas ópticas} = n * m * r$$

$$\# \text{ Líneas ópticas} = 4 * 4 * 16$$

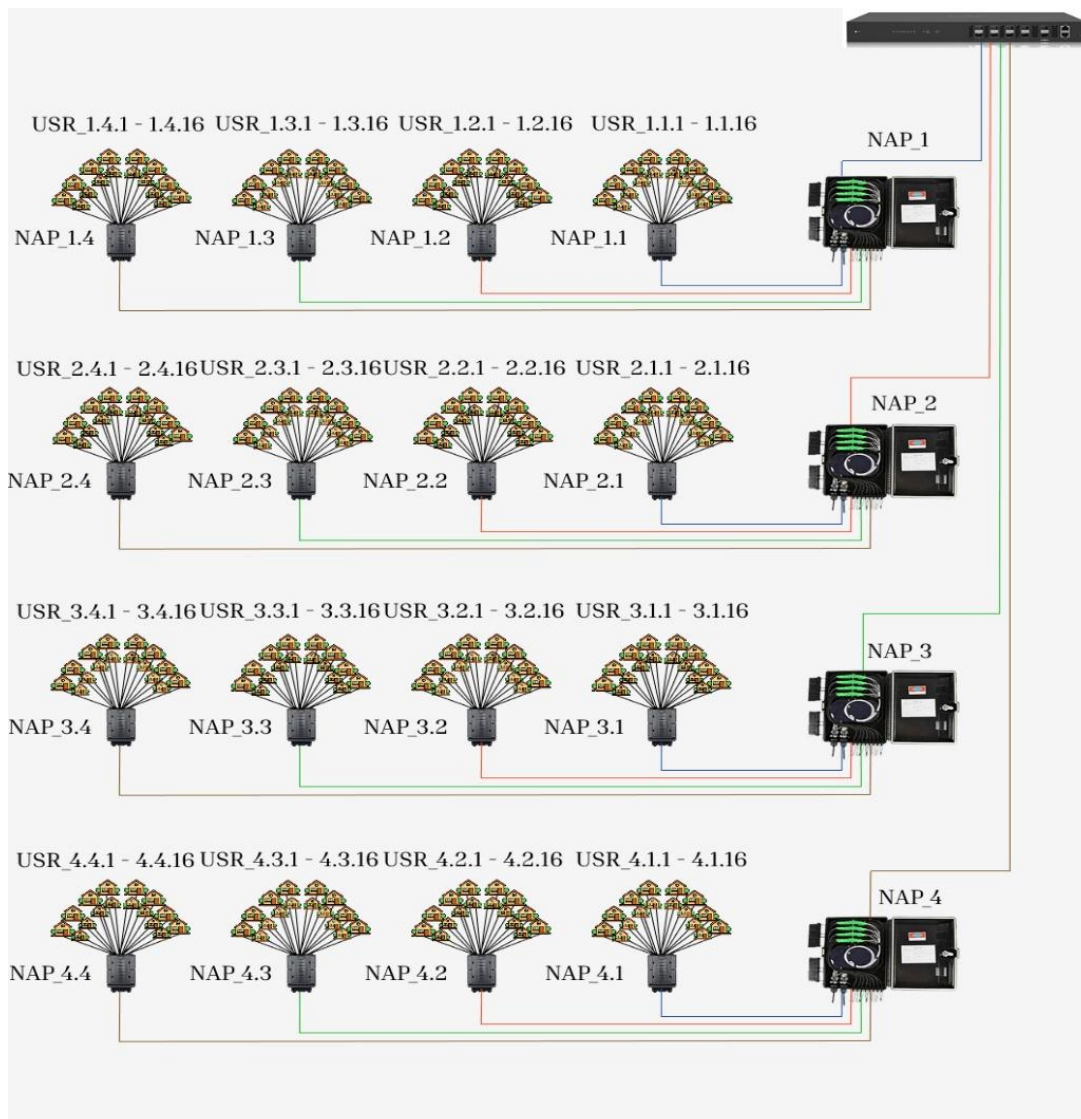
$$\# \text{ Líneas ópticas} = 256$$

$$256 > 178$$

Al usar los 4 hilos se tiene una capacidad total de 256 usuarios esto ayuda para una futura proyección de crecimiento de usuarios donde se pueda cubrir al mayor número de usuarios en la parroquia y a su vez expandirse hacia comunidades vecinas.

#### **Figura 30**

*Diagrama unifilar de la red FTTH GPON de Buenos Aires*



### 3.5.4. *Diseño de la red Troncal*

La red troncal es el cable de fibra que tiene el mayor número de hilos el Feeder, este sale desde la OLT al splitter del primer nivel donde distribuirán para a los NAPs de segundo nivel y así llegando a la red de distribución y dispersión. Hay que tomar en cuenta que la red troncal debe tener una reserva para sostener cualquier eventualidad que se pueda presentar a futuro. Como se puede ver en la

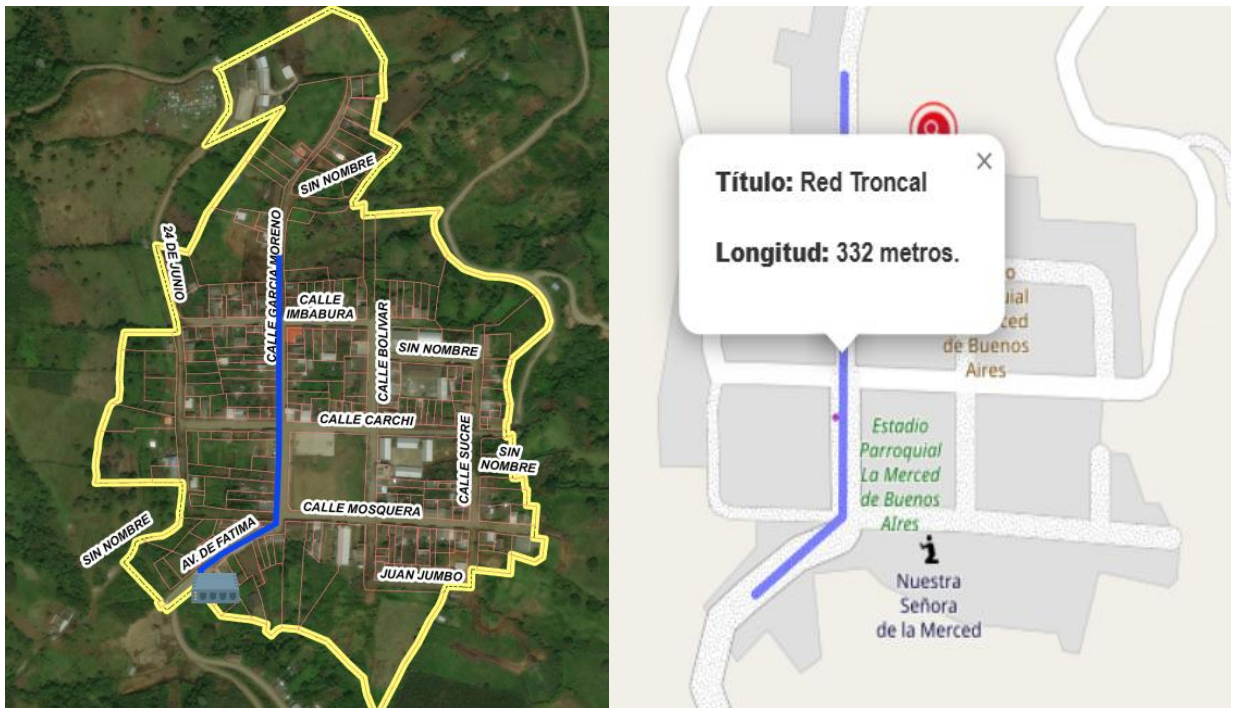
Figura

*Ubicación de la línea troncal de la red de fibra en el mapa topográfico de la Parroquia*  
la longitud de la red troncal es de 332 metros.

Se puede ver que la distancia de la red troncal es de 332 metros para que sea una red optima se debe realizar una reserva que es del 15% del valor medido entonces esta reserva va a ser dividida para cada uno de los NAPs primarios entonces:

**Figura 31**

*Ubicación de la línea troncal de la red de fibra en el mapa topográfico de la Parroquia*



$$reserva = 332 \text{ metros} * 0.15$$

$$reserva = 49.80 \text{ metros}$$

$$reserva = \frac{49.80 \text{ metros}}{4 \text{ NAPs primarios}}$$

$$reserva = 12.45 \text{ metros}$$

Con el resultado de 12.45 metros se aproxima a 13 metros entonces esto sera la reserva de cada NAP primero los cuales se distribuyen en dos la primera mitad sera distribuido

antes del NAP y la segunda mitad estara despues del NAP. Entonces ahora se calculara la longitud total de la linea troncal del cable de fibra optica.

$$\text{LineaTroncal} = \text{distancia media} + \text{reserva}$$

$$\text{LineaTroncal} = 332 \text{ metros} + 12.45 \text{ metros}$$

$$\text{LineaTroncal} = 381.8 \text{ metros}$$

### 3.5.5. Ubicación y descripción de los NAP de primer nivel

En la Figura 32 se muestra la ubicación geográfica de los NAP de primer nivel propuestos para la parroquia La Merced, estos están distribuidos estratégicamente a lo largo del eje principal de la parroquia están debidamente etiquetados como NAP\_1, NAP\_2, NAP\_3 Y NAP\_4 se encuentran interconectados mediante la red de distribución y se los ubico por cercanía a la vía principal.

**Figura 32**

*Ubicación de los NAP de primer nivel*



**Tabla 17**

*Resumen de NAP primer nivel*

<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción</b>	<b>LATITUD</b>	<b>LONGITUD</b>
<b>NAP_1</b>	Hilo de fibra color azul	0.617050385063294	-78.3181743088152
<b>NAP_2</b>	Hilo de fibra color naranja	0.6177605136031681	-78.31825033496129
<b>NAP_3</b>	Hilo de fibra color verde	0.6186341785244251	-78.31815362671583
<b>NAP_4</b>	Hilo de fibra color cafe	0.6193315256793812	-78.31815366563346

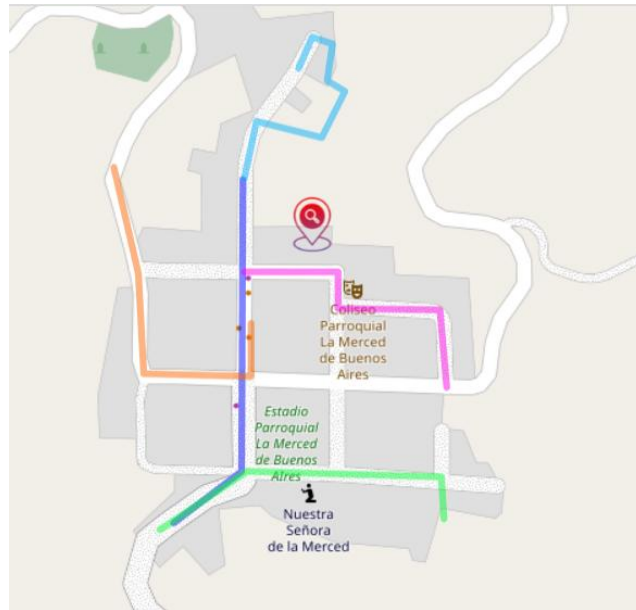
### **3.5.6. Diseño de la red de distribución**

La red de distribución se va a encargar de repartir la señal óptica que se va ramificando en los postes para así llevar el servicio a los usuarios entonces la red inicia en los NAP primarios y acaban con el NAP de segundo nivel.

Tenemos 4 redes de distribución cada una de ellas con diferente longitud a lo que se debe calcular la distancia de cada una ya que se debe tomar en cuenta el 5% de reserva para las 4 NAPS de segundo nivel.

### **Figura 33**

*Red de Distribución en la parroquia La Merced en el software RedFTTH*



En la Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37 se presentan las redes de distribución 1,2,3 y 4 respectivamente las cuales se encuentran diferenciadas por colores con el fin de facilitar su identificación en el trazado del diseño, por cada red se realiza el cálculo individual de la longitud de fibra requerida para determinar la cantidad total de material necesario.

### Figura 34

#### *Red de Distribución 1*



Para el cálculo de la longitud total de la red de distribución del área 1 identificado con el color verde se tomó como referencia la distancia obtenida en el software REDFTTH. Se considera un margen adicional del 5% para compensar las reservas técnicas, empalmes y por cualquier eventualidad en el despliegue de fibra. Seguido de esto dicho valor se multiplica por el número de NAPs de segundo nivel existentes en el diseño.

$$RedDistribucion1 = longitud + 5\%(longitud) * 4$$

$$RedDistribucion1 = 300 \text{ metros} + 5\%(300 \text{ metros}) * 4$$

$$RedDistribucion1 = 360 \text{ metros}$$

### Figura 35

#### Red de Distribución 2



Se realiza el calculo para la red de distribucion del area 2 esta esta identificada con el color naranja y gracias a la herramienta nos da un estimado de 326 metros de longitud para proceder hacer el calculo respectivo.

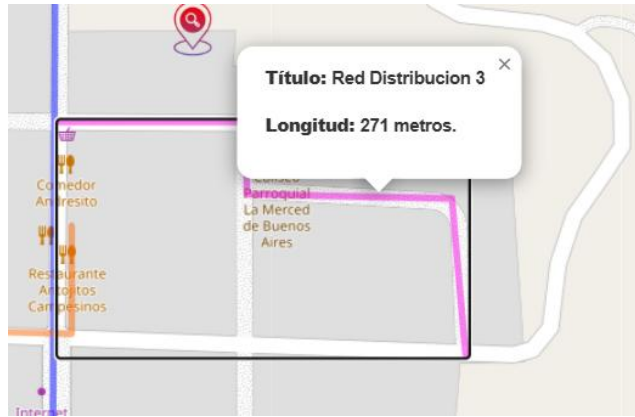
$$RedDistribucion2 = longitud + 5\%(longitud) * 4$$

$$RedDistribucion2 = 326 \text{ metros} + 5\%(326 \text{ metros}) * 4$$

$$RedDistribucion2 = 391.2 \text{ metros}$$

### Figura 36

#### Red de Distribución 3



La red de distribución del área 3 está identificada por el color magenta y gracias a la herramienta se puede hacer una estimación de 271 metros con este valor se realiza los cálculos respectivos.

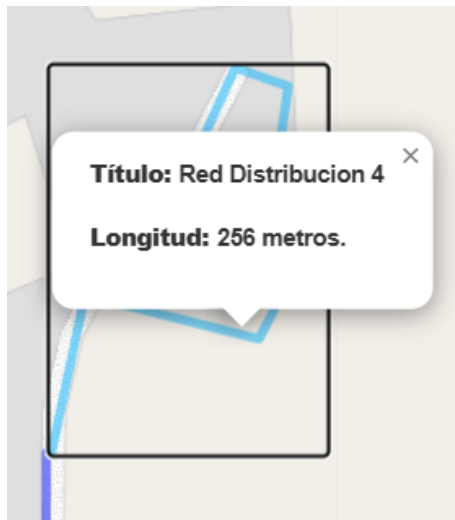
$$RedDistribucion3 = longitud + 5\%(longitud) * 4$$

$$RedDistribucion3 = 271 \text{ metros} + 5\%(271 \text{ metros}) * 4$$

$$RedDistribucion3 = 325.2 \text{ metros}$$

### Figura 37

*Red de distribución 4*



Se puede visualizar la red de distribución del área 4 que está identificada con el color celeste, gracias a la herramienta nos da un aproximado de 256 metros con ese valor ya se puede hacer los cálculos respectivos.

$$\text{RedDistribucion4} = \text{longitud} + 5\%(\text{longitud}) * 4$$

$$\text{RedDistribucion4} = 256 \text{ metros} + 5\%(256 \text{ metros}) * 4$$

$$\text{RedDistribucion4} = 307.2 \text{ metros}$$

$$\text{Total redes distribucion} = 360 \text{ m} + 391.2 \text{ m} + 325.2 \text{ m} + 307.2 \text{ m}$$

$$\text{Total redes distribucion} = 1.383,6 \text{ km}$$

De acuerdo con los cálculos realizados para cada una de las redes de distribución se tiene una longitud total de 1.383,6 km de fibra óptica, este valor se incluye el 5% adicional para empalmes, reservas y posibles ajustes técnicos.

### 3.5.7. Despliegue de la red de Distribución

En la Figura 38 se muestra el despliegue de la red de distribución a partir de la NAP de primer nivel etiquetado como NAP\_1, este se extiende la infraestructura hasta los NAP de segundo nivel etiquetados como NAP\_1.1, NAP\_1.2, NAP\_1.3 y NAP\_1.4 esto se realizó para cada uno de los NAP principales como parte del diseño de la red.

**Figura 38**

*Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP\_1*



En la Figura 39 se muestra la NAP 2 de primer nivel donde se despliega los NAPs de segundo nivel donde están etiquetados como NAP\_2.1, NAP\_2.2, NAP\_2.3 y NAP\_2.4 cada uno esta ubicado estratégicamente.

**Figura 39**

*Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP\_2*



En la Figura 40 se muestra la NAP 3 de primer nivel donde se despliega los NAPs de segundo nivel que están etiquetados como NAP\_3.1, NAP\_3.2, NAP\_3.3 y NAP\_3.4 cada uno está ubicado estratégicamente.

**Figura 40**

*Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP\_3*



En la Figura 41 se muestra la NAP 4 de primer nivel donde se despliega los NAPs de segundo nivel que están etiquetados como NAP\_4.1, NAP\_4.2, NAP\_4.3 y NAP\_4.4 cada uno está ubicado estratégicamente.

**Figura 41**

*Distribución de NAPs de segundo nivel en NAP\_4*



En la Tabla 18 esta especificado la ubicación de cada una de las NAPs de segundo nivel del diseño con su debida etiqueta, color de fibra correspondiente, numero de puertos, latitud y longitud.

**Tabla 18**

*Ubicación de los NAPs de segundo nivel*

<b>Etiqueta</b>	<b>Color de Fibra</b>	<b># Puertos</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
NAP_1.1	Azul	16	0.616563660202719	-78.31885639124
NAP_1.2	Naranja	16	0.6170142737146675	-78.31745088616938
NAP_1.3	Verde	16	0.6169819417877069	-78.31664085388185
NAP_1.4	Cafe	16	0.6166549878110503	-78.31659258617131
NAP_2.1	Azul	16	0.6181995891884068	-78.31818576495418
NAP_2.2	Naranja	16	0.6177596849848596	-78.31903333611618
NAP_2.3	Verde	16	0.6186018828533708	-78.3190708853207
NAP_2.4	Cafe	16	0.619427926509966	-78.31926937050949
NAP_3.1	Azul	16	0.6185140284350129	-78.31783222814562
NAP_3.2	Naranja	16	0.6182318165831554	-78.31747233351143
NAP_3.3	Verde	16	0.6182103601601172	-78.31669986764521

<b>NAP_3.4</b>	Cafe	16	0.6176041924178498	-78.31665693508421
<b>NAP_4.1</b>	Azul	16	0.619684581576621	-78.31814862378707
<b>NAP_4.2</b>	Naranja	16	0.6196469995886558	-78.31756408988461
<b>NAP_4.3</b>	Verde	16	0.6200389260215842	-78.31756945258098
<b>NAP_4.4</b>	Cafe	16	0.6201516719763708	-78.31783222470226

### **3.5.8. Diseño de la red de Dispersión**

Se realiza también la red de dispersión este será el último segmento en lo que a la red corresponde esta red conecta los NAP de segundo nivel con la ONT el cual es el equipo que se queda en el domicilio del abonado para dar el servicio. Se debe determinar la cantidad de fibra óptica que se deberá usar para la red debe tener una distancia máxima de 100 metros entre el NAP del segundo nivel y el usuario final.

Según el cálculo hecho se brindará el servicio a 256 usuarios por esta razón se calculó la reserva para cada NAP de segundo nivel y así poder llegar al cliente final sin limitaciones. Entonces el resultado de la red de dispersión es la siguiente.

$$\text{red dispersion} = \text{total de abonados} * 100 \text{ metros}$$

$$\text{red dispersion} = 256 * 100 \text{ metros}$$

$$\text{red dispersion} = 25600 \text{ metros}$$

### **3.5.9. Diseño simulado de la red de fibra óptica**

El diseño simulado de la red de fibra óptica va a permitir analizar el desempeño de la red FTTH GPON a través de los cálculos, evaluando perdidas que se introducen en los componentes pasivos como fibra óptica, splitters, conectores, acopladores y empalmes entonces esto permitirá determinar si los niveles de potencia se encuentran dentro del rango para garantizar la calidad del servicio. En la Tabla 19 se detallan las perdidas típicas de los elementos pasivos considerados en el diseño.

**Tabla 19***Perdida de potencia en los elementos pasivos de la red FTTH GPON*

<b>Elemento</b>	<b>Perdidas</b>
Cable ADSS	0.2 dB/Km
Cable Drop	0.3 dB/Km
Splitter 1x4	7.4 dB
Splitter 1x16	13.8 dB
Conector	0.5 dB
Acoplador	0.5 dB
Empalme por fusion	0.1 dB

Se realiza el calculo del presupuesto de potencia en dos escenarios como el enlace mas cercano y el enlace mas lejano entre la OLT y el usuario final, a continuacion se detallan en las siguientes tablas los parametros para cada uno de los casos y asi verificar que los niveles de potencia se mantengan dentro de los margenes establecidos.

**Tabla 20***Perdida total en el enlace más cercano*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Perdida</b>	<b>Total, de perdida</b>
Cable ADSS	0.09 km	0.2 db/Km	0.02 dB
Cable Drop	0.10 km	0.3 db/Km	0.03 dB
Splitter 1x4	1	7.4 dB	7.4 dB
Splitter 1x16	1	13.8 dB	13.8 dB
Conector	7	0.5 dB	3.5 dB
Acoplador	2	0.5 dB	1 dB

Empalme por fusion	2	0.1 dB	0.2 dB
--------------------	---	--------	--------

Mediante la Ecuación 14 al se calcula la atenuacion total del cliente cercano tomando en cuenta que la potencia de tansmision es de 6 dBm.

#### **Ecuación 14**

*Cálculo de la atenuación total en los enlaces*

$$At = P_{tx} - At_{ADSS} - At_{drop} - At_{adaptador} - At_{acoplador} - At_{empalme} - At_{splitter} - Marg$$

$$At = 6 \text{ dBm} - 0.02\text{dB} - 0.03\text{dB} - 3.5\text{dB} - 1\text{dB} - 21.2\text{dB} - 0.2\text{dB}$$

$$At = -19.95 \text{ dBm}$$

En la Tabla 21 se especifica las perdidas de cada uno de los componentes a utilizar en la simulación para saber la perdida total en el enlace mas lejano.

#### **Tabla 21**

*Perdida total en el enlace más lejano*

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Perdida</b>	<b>Total, de perdida</b>
Cable ADSS	0.09 km	0.2 db/Km	0.02 dB
Cable Drop	0.36 km	0.3 db/Km	0.108 dB
Splitter 1x4	1	7.4 dB	7.4 dB
Splitter 1x16	1	13.8 dB	13.8 dB
Conector	7	0.5 dB	3.5 dB
Acoplador	2	0.5 dB	1 dB
Empalme por fusion	2	0.1 dB	0.2 dB

$$At = P_{tx} - At_{ADSS} - At_{drop} - At_{adaptador} - At_{acoplador} - At_{empalme} - At_{splitter} - Marg$$

$$At = 6 \text{ dBm} - 0.02\text{dB} - 0.108\text{dB} - 3.5\text{dB} - 1\text{dB} - 21.2\text{dB} - 0.2\text{dB}$$

$$A_t = -20.03 \text{ dBm}$$

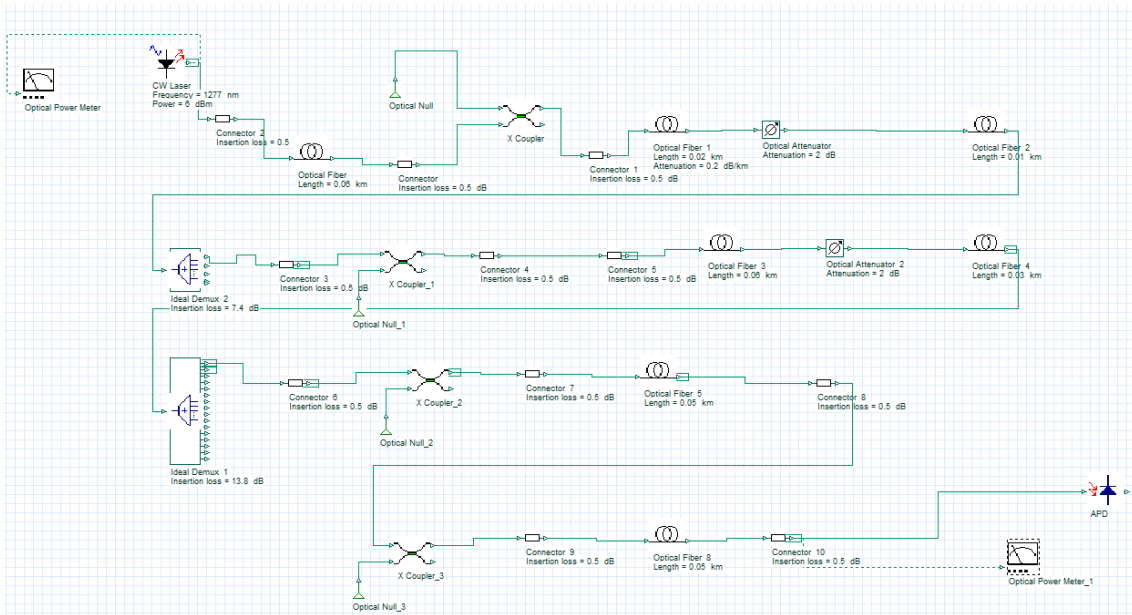
### 3.6. Simulación de la red FTTH GPON

Para validar los resultados obtenidos en los cálculos teóricos se realizó la simulación de la red FTTH GPON utilizando el software OptiSystem con el objetivo de verificar las pérdidas totales del sistema y comprobar la potencia recibida en el cliente.

A partir de dicha simulación se obtuvieron los resultados que corresponden al desempeño del enlace óptico para el cliente más cercano y el cliente más lejano en la red, se midió el nivel de potencia recibida en el extremo del usuario, este análisis comparativo se presenta en esta sección, mientras que el procedimiento a detalle de la simulación, explicación de la red troncal, red de distribución y última milla con sus respectivas configuraciones y parámetros utilizados se encuentra descrito en el Anexo C. En la Figura 42 se muestra como sería la topología de la red de fibra considerando los principales elementos como el transmisor óptico, fibra óptica, divisores ópticos, conectores y el receptor configurado de acuerdo con los parámetros ya mencionados en las tablas de la sección 3.5.9.

#### **Figura 42**

*Simulación de la topología de Fibra en OptiSystem*

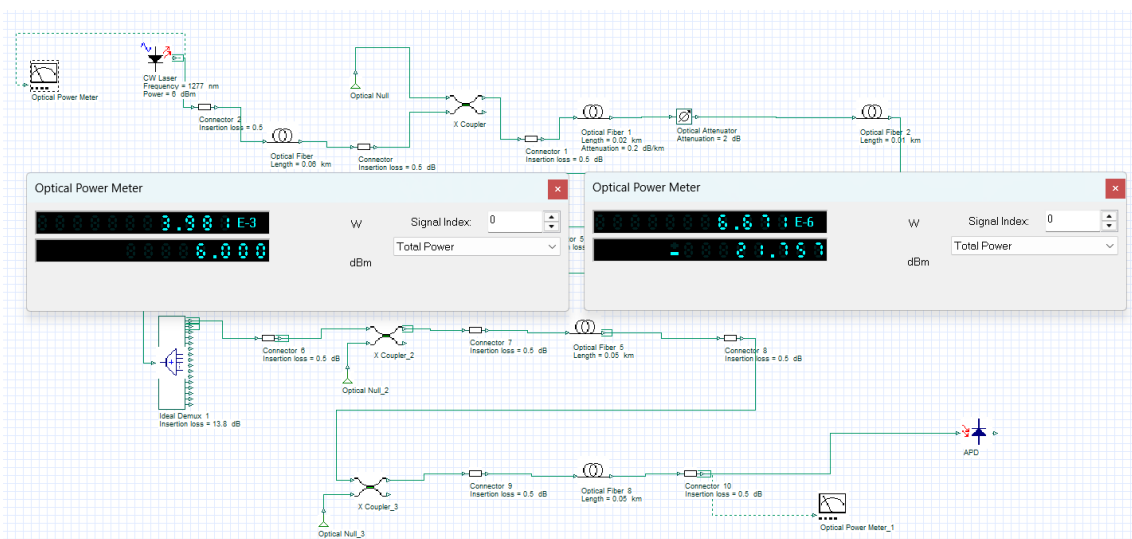


### 3.6.1. Simulación para el cliente cercano

En la Figura 43 se muestra la simulación del enlace óptico para el cliente cercano, se utilizaron los medidores de potencia óptica ubicados en el transmisor y el receptor lo que permitió obtener un valor de potencia recibida de  $-21.757$  dBm que es un valor adecuado para la red.

**Figura 43**

*Resultados de la simulación para el cliente cercano*

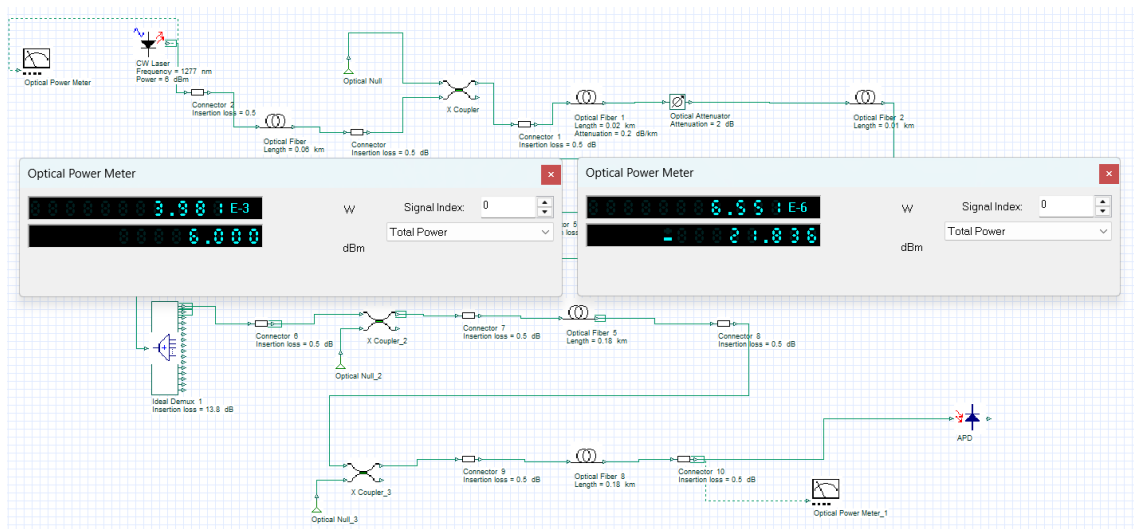


### 3.6.2. Simulación para el cliente lejano

Para la simulación del cliente lejano cambia los valores con respecto al cliente cercano ya que la distancia entre la OLT y el cliente más lejano es mayor pero aun así se obtiene un valor de -21.835 dBm que está dentro del margen de valores óptimos para la red.

**Figura 44**

*Resultados de la simulación de la red de fibra para el cliente lejano*



### 3.6.3. Resultados de Simulación

La Tabla 22 muestra los resultados obtenidos de la simulación de la red FTTH GPON. En esta tabla se comparan los valores de potencia recibida obtenidos en la simulación y con los valores calculados de forma teórica, tanto para el cliente más cercano como para el cliente más lejano. Las diferencias entre los valores simulados y los teóricos se deben a que OptiSystem considera con mayor detalle las pérdidas acumuladas en los diferentes elementos pasivos de la red, así como el comportamiento real de la fibra óptica y de los dispositivos utilizados en el enlace. A pesar de estas diferencias, los resultados

se encuentran dentro de los rangos permitidos, lo que indica que el diseño de la red FTTH GPON es adecuado para su correcta operación.

**Tabla 22**

*Comparación de resultados de potencia del receptor teóricos y simulados en OptiSystem*

	<b>Potencia de emisor</b>	<b>Potencia de receptor</b>	<b>Potencia del receptor teórico</b>
Cliente lejano	+6.00 dB	-21.836 dBm	-19.95 dBm
Cliente cercano	+6.00 dB	-21.757 dBm	-20.03 dBm

### **3.7. Requerimientos Legales**

En esta sección se describe el procedimiento, la documentación y los formatos técnicos requeridos por la ARCOTEL para la obtención del Título Habilitante, el cual autoriza la operación y el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. Para la prestación de servicios de telecomunicaciones, toda la información técnica debe ser elaborada y firmada por un ingeniero en Electrónica y/o Telecomunicaciones.

De acuerdo con la Resolución 15-16-ARCOTEL-2019, el artículo 21 establece que el Título Habilitante será otorgado únicamente a quienes cumplan con las condiciones y exigencias definidas en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, su reglamento general, y los requisitos técnicos, económicos y legales contemplados en dicho reglamento.

#### **3.7.1. Requisitos**

La ARCOTEL exige la obtención de un Título Habilitante a todas las personas o entidades que quieran operar alguno de los siguientes servicios de telecomunicaciones:

- Servicio Móvil Avanzado

- Servicio Móvil Avanzado mediante un Operador Móvil Virtual (OMV)
- Servicio de Telefonía Fija
- Servicio Portador
- Servicios de Valor Agregado
- Servicio de Acceso a Internet
- Servicio Comunal
- Servicio Troncalizado
- Transporte Internacional en la modalidad de Segmento Espacial
- Transporte Internacional en la modalidad de Cable Submarino
- Servicio de Telecomunicaciones Móviles por Satélite

A continuación, se mencionan algunos de los documentos y requisitos que deben ser entregados a la Dirección Ejecutiva para solicitar el Título Habilitante. Estos lineamientos se encuentran definidos por la ARCOTEL en el artículo 38 de la Resolución 15-16-ARCOTEL-2019 y aplican tanto para solicitantes naturales como jurídicos.

#### **3.7.1.1. Solicitud General (FO-CTHB-12).**

Este formulario es el documento oficial mediante el cual se solicita el otorgamiento de un Título Habilitante para la prestación de servicios del régimen general de telecomunicaciones y para el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. Debe ser completado y firmado del representante legal y dirigido a la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL. También existe un instructivo, identificado como IT-CTHB-12, que sirve como guía para el correcto llenado del formulario este se lo puede encontrar en la pagina oficial de la ARCOTEL.

### **3.7.1.2. Datos personales del representante legal.**

Se deben incluir los nombres, apellidos y número de cédula o pasaporte del representante legal de la persona que solicita. En caso de tratarse de una persona jurídica, es necesario indicar además el porcentaje de participación accionaria que posee dicho representante.

### **3.7.1.3. Declaración juramentada.**

Se debe presentar una declaración juramentada que variará según corresponda, si el solicitante es una persona natural la puede firmar el mismo en caso de que sea una persona jurídica la firma el representante legal de los socios a cargo. En esta declaración debe constar que no tiene relación con alguna empresa o grupos empresariales que operen con servicios de telecomunicaciones. Esto no aplica para empresas públicas.

### **3.7.1.4. Presentación del proyecto técnico.**

Se debe entregar un proyecto técnico completo que demuestre la factibilidad técnica del servicio propuesto. En el caso de infraestructuras inalámbricas, es obligatorio incluir los formularios específicos indicados en la Tabla 23, los mismos que se encuentran detallados de como llenarlos en el **Anexo D**.

**Tabla 23**

*Formularios Técnicos*

<b>Formato</b>	<b>Detalle del Formulario</b>
FO-DRE-01	Información de la estructura del sistema de Radiocomunicaciones
FO-DRE-02	Información de antenas
FO-DRE-03	Patrones de radiación de antenas
FO-DRE-04	Información de equipamiento

---

FO-DRE-06

Servicio fijo terrestre (enlaces  
radioeléctricos PtP)

FO-DRE-07

Perfil topográfico de los enlaces PtP

---

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Este apartado muestra un resumen detallado de los costos de inversión necesarios para la realización del proyecto propuesto, incluyendo; el equipamiento de la infraestructura, la mano de obra para la instalación, los gastos operativos y de mantenimiento, cada uno con sus respectivos valores económicos. El propósito de este estudio es evaluar la factibilidad económica del proyecto, además de establecer una proyección de ingresos y estimar el período de recuperación de la inversión.

#### 4.1. Costos de equipamiento

A continuación, se detalla los costos de equipamiento requerido para el despliegue de la red para la parroquia donde se incluye los valores correspondientes a los elementos pasivos y activos. Los valores corresponden a precios y cotizaciones dentro del mercado a su vez servirán para realizar el análisis de factibilidad económica del proyecto.

##### 4.1.1. Radio enlace

En la Tabla 24 se detallan los equipos considerados para el diseño del radioenlace que forma parte de la red híbrida, se incluyen el modelo, cantidad y costos referenciales. Los equipos Ubiquiti se seleccionaron por disponibilidad comercial y al uso frecuente en los enlaces inalámbricos de larga distancia.

**Tabla 24**

*Costos de los componentes de Radio enlace*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Switch Ubiquiti	UISP-Ubiquiti	\$109,00	2	\$218,00
Antena Sectorial	AirFiber	\$429,00	8	\$3.432,00
Ubiquiti	5XHD			
Cable UTP	Cat 6A	\$2,99	200m	\$598,00
			<b>TOTAL</b>	<b>\$4248,00</b>

#### 4.1.2. Elementos activos para la red FTTH GPON

En la siguiente tabla se detalla los elementos activos de la red de fibra el modelo, cantidad a usar y los costos referenciales, las especificaciones de los elementos mencionados en la Tabla 25 se especifican en la sección 3.5.1.

**Tabla 25**

*Detalles de costos de la OLT y ONT*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
OLT	UF-OLT Ubiquiti	\$1799	1	\$1799
ONT	EchoLife EG8145V5 HUAWEI	\$32,50	256	\$ 8320
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 10119</b>

Se muestra el valor del ODF las especificaciones técnicas del mismo se encuentran en la sección 3.5.2.

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
ODF	HENGHUI 12 puertos	\$40	1	\$40
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 40</b>

#### 4.1.3. NAP primer nivel

Los NAP de primer nivel están situados a lo largo de la red troncal, donde se requiere una división de 1:4 ya que por cada una de las líneas ópticas se tendrá cuatro NAPs de segundo nivel, basándose en la guía de dispositivos brindada por el proveedor de la empresa ProFyber se hace la selección del modelo de NAP CAJA-FO-12 este modelo ya incluye 12 adaptadores SC-APC y 12 tubillos outdoor, bandeja porta empalme. En el modelo no incluye el divisor óptico entonces este se añade en la tabla.

**Tabla 26***Costos de los componentes de NAP de primer nivel*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
NAP primer nivel	CAJA-FO-12	\$35,99	4	\$143,96
Divisor óptico	SOP-B14-SA	\$18,49	4	\$73,96
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 217,92</b>

**4.1.4. NAP Segundo nivel**

Para las cajas NAP de segundo nivel se usarán del siguiente modelo FDO-4016 donde estarán interconectadas a la red de dispersión, se requiere una división óptica de 1:16 por cada uno de los hilos que llegan a la red de distribución. Dicho modelo ya incluye empalmes para las fusiones, acopladores SC y el respectivo divisor óptico.

**Tabla 27***Costos de los componentes de la NAP de segundo nivel*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
NAP segundo nivel	FDO-4016	\$56,51	16	\$904,16
			<b>TOTAL</b>	<b>\$904,16</b>

**4.1.5. Roseta Óptica**

Según las especificaciones técnicas de la Roseta óptica detallado en la sección 3.5.2. se escogió el modelo

**Tabla 28***Costo de las Rosetas PRO-GZF-A2*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Roseta Prolink	PRO-GZF-A2	\$5,98	50	\$299

<b>TOTAL</b>	\$299
--------------	-------

#### 4.1.6. Pigtails

Teniendo en cuenta 3 áreas en la red de fibra se contabilizan de la siguiente manera 4 Pigtails para el inicio de los hilos en la red troncal, para los inicios de la red de distribución serian 16 y 256 para cada inicio de la red de dispersión.

**Tabla 29**

*Costos de los Pigtails*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
Pigtail SM	CPG-	\$0.49	276	\$135.24
SC/APC 0.5m	1105			
FTTH GPON				
			<b>TOTAL</b>	<b>\$135.24</b>

#### 4.1.7. Cable de fibra Red Troncal

Se realiza la cotización para la fibra que se usara para la red troncal, se debe especificar el número de hilos, en el apartado 3.5.3 a partir de este cálculo se obtuvo un resultado de 4 hilos esto es suficiente para el despliegue de la red en la parroquia. Sin embargo, la empresa ProFyber tiene preferencia por la utilización de la fibra de 12 hilos marca Cablix, esto con el objetivo de contar con hilos de reserva para futuras ampliaciones.

**Tabla 30**

*Costo de la fibra óptica para la línea troncal de la red GPON*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
FIBRA ADSS 12 H	G.652D	\$0,84	382m	\$320,88

<b>TOTAL</b>	\$320,88
--------------	----------

#### 4.1.8. Cable de fibra Red de Distribución

En el apartado 3.5.6 se realizó el cálculo de la longitud de fibra óptica necesaria para la red de distribución, se consideró los 4 NAPs de segundo nivel entonces se determinó el uso de cuatro hilos de fibra uno por cada NAP. La longitud total de fibra estimada para la red de distribución es de 1383,6 km.

**Tabla 31**

*Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red GPON*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
FIBRA DROP 4H	CFO-0254	\$0,95	2000m	\$1900
<b>TOTAL</b>				<b>\$1900</b>

#### 4.1.9. Cable de fibra Red de Dispersión

Para la selección de la fibra óptica para la red de distribución, al ser el tramo final de la red donde se llegará a un único punto al cliente es suficiente que el cable tenga un único hilo, esto para abaratar costos en el diseño.

**Tabla 32**

*Costo de la fibra óptica para la red de distribución de la red GPON*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
FIBRA 1H	SM G657A2	\$0,25	26000m	\$6500
<b>TOTAL</b>				<b>\$6500</b>

#### 4.1.10. Patch Core

Para la interconexión de los equipos del sistema se emplearán patch cords de fibra óptica con los conectores SC, entonces para la conexión entre la OLT y el ODF se usarán

4 patch cords con conector SC/UPC, mientras que para la conexión entre los NAPs y las ONT para llegar al cliente final se usaran 256 patch cords SC/APC.

**Tabla 33**

*Costos de los Patch Core SC/APC SC/UPC*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
P.C SC/APC	CFO-7112	\$3,26	256	\$864,56
P.C SC/UPC	CFO-7113	\$3,95	4	\$15.8
			<b>TOTAL</b>	<b>\$880,36</b>

La Tabla 34 muestra que los costos del equipamiento necesario para montar la red híbrida tiene un total de \$25.564,56. Cabe destacar que la cantidad de equipos expuesta en este análisis es una estimación técnicamente adecuada para el escenario planteado; sin embargo, dicha cantidad puede variar en función de las decisiones de la empresa operadora, la cual podría optar por adquirir un mayor número de equipos según la expansión futura de la red o la demanda del servicio.

**Tabla 34**

*Inversión en equipos para radioenlace y red FTTH.*

<b>Descripción</b>	<b>Valor total</b>
Radioenlace	\$4248,00
ONT Y ODF	\$ 10119
ODF	\$40
NAP primer nivel	\$ 217,92
NAP segundo nivel	\$904,16
Rosetas	\$299
Pigtails	\$135.24
Cable de fibra Red Troncal	\$320,88
Cable de fibra red de Distribución	\$1900

Cable de fibra Red de Dispersión	\$6500
Patch Cords	\$880,36
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$25.564,56</b>

#### **4.1.11. Costos de instalación, operatividad y mantenimiento**

En la Tabla 35 se presentan los costos asociados a los procesos de instalación, configuración y tendido de fibra de la red. Se evidencia que estos rubros requieren una inversión total de USD 4.450,00. Cabe señalar que los valores fueron consultados y ajustados a las condiciones de la localidad.

**Tabla 35**

*Inversión en instalación, operatividad y mantenimiento.*

<b>INSTALACIÓN Y MONTAJE</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Instalación de cuatro estaciones por radioenlace	1	\$1200,00	\$1200,00
Configuración y alineación de antenas	1	\$350,00	\$350,00
Instalación y configuración del núcleo para red FTTH (equipos OLT, ODF, entre otros)	1	\$800,00	\$800,00
Instalación de NAPs principales y secundarias y tendido de FO	1	\$900,00	\$900,00
Tendido y canalización de fibra óptica	1	\$1200,00	\$1200,00
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$4450,00</b>
		<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>30.014,56</b>

#### **4.1.12. Inversión total**

La inversión total requerida para la puesta en marcha de la red híbrida analizada asciende a \$30.014,56. Este valor se determina a partir del estudio económico

previamente desarrollado, el cual contempla los costos asociados al equipamiento, la instalación, la operación y el mantenimiento de la red. La estimación de esta inversión inicial permite dimensionar el capital necesario para la ejecución del proyecto, como los costos asociados a su sostenibilidad en el tiempo.

## 4.2. Proyección económica del proyecto

En esta sección se desarrolla el análisis económico del proyecto, considerando una proyección de cinco años. El estudio se fundamenta en el resumen de inversiones descrito en la sección anterior y tiene como propósito evaluar la viabilidad financiera en la implementación de la red FTTH.

### 4.2.1. Ingresos

Para la estimación de ingresos se consideran todos los planes de servicio de la empresa ProFyber. En la proyección inicial se contempla un total de 60 usuarios en el primer año. Para el año siguiente se estima un crecimiento de 30 usuarios adicionales y para el tercer año un crecimiento de 40 usuarios, mientras que en los dos últimos años se proyecta un incremento de 50 usuarios por año. De esta manera, al finalizar el quinto año se alcanzaría un total de abonados.

La Tabla 36 presenta el detalle de esta proyección, mostrando la evolución del número de usuarios y los ingresos estimados en cada periodo, lo que constituye la base para el cálculo del flujo de caja y los indicadores financieros del proyecto.

**Tabla 36**

*Análisis de ingresos.*

Planes de servicio	Precio	Ingresos por año				
		1er año 60 usu.	2do año 90 usu.	3er año 130 usu.	4to año 180 usu.	5to año 230 usu.
30 Mbps	\$28,00	\$20.160	\$30.240	\$43.680	\$60.480	\$77.280

#### 4.2.2. Egresos

La empresa necesita contar con un valor mensual para mantenimiento de la red híbrida entre estos gastos se consideró los siguientes:

Arriendo del servicio: Para la obtención del servicio de internet se lo hace a través de su proveedor UFINET NEDETEL, el valor por cada Mbps es de \$1,05 por lo tanto para la parroquia se requiere al menos 400 Mbps.

Salario a empleados: El salario del personal técnico encargado para el mantenimiento y operación de la red en dicha parroquia se estableció en \$500,00 mensuales, de acuerdo con las políticas salariales de la empresa PROFYBER.

Transporte: Se establece un gasto mensual de consumo de gasolina y gastos mecánicos de \$15 diarios sin contar fines de semana por lo que nos da un total de 22 días operacionales.

Arrendamiento de postes: Se encuentra en un rango de \$1,00 a \$1 por poste al mes, conforme a lo establecido por el Acuerdo Ministerial 017-2017 y la empresa EMELNORTE.

En la Tabla 37 se detalla el presupuesto de los egresos que se requieren por parte de la empresa PROFYBER para sostener el servicio de la red mensual.

**Tabla 37**

*Egresos de operación mensual*

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Total</b>
Arriendo del servicio de internet	400 Mbps	\$1,05	\$420,00
Pago a empleados	2 técnicos	\$500	\$1000,00
Transporte	22 días	\$15,00	\$330,00
Arriendo de locación para el núcleo de la red FTTH	1 mes	\$100,00	\$100,00
Pago servicios básicos	1 mes	\$25,00	\$25,00

Arriendo de postes para tendido de FO	1 mes	\$30,00	\$30,00
<b>TOTAL, MENSUAL</b>			\$1950,00

#### 4.2.3. Flujo de caja por año

El estado de flujo de caja es un informe financiero que detalla los movimientos de dinero generados y utilizados durante un período específico. Su finalidad es analizar cómo se administran los recursos líquidos, evaluar la eficiencia en la gestión financiera y determinar la capacidad del proyecto para mantener su liquidez (Chiquiza & Pamiño, 2013). La Tabla 38, se presenta el flujo de caja con una estimación de cinco años, en el año cero se considera la inversión inicial necesaria para la implementación de la red de fibra óptica, mientras que en los años posteriores se visualizan los ingresos generados por el servicio y los egresos de operación.

**Tabla 38**

*Flujo de caja del proyecto.*

Descripción	Período						Total
	Año 0	Año 1 60 usu.	Año 2 90 usu.	Año 3 130 usu.	Año 4 180 usu.	Año 5 230 usu.	
Inversión	\$30.014,56						\$30.014,56
Ingresos Fijos	\$28,00	\$20.160,00	\$30.240,00	\$43.680,00	\$60.480,00	\$77.280,00	
Egresos Fijos	\$1.950,00	\$23.400,00	\$23.400,00	\$23.400,00	\$23.400,00	\$23.400,00	
Flujo efectivo de operación		\$-3.240,00	\$6.840,00	\$20.280,00	\$37.080,00	\$53.880,00	\$114.840,00

#### 4.2.4. Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto es un indicador financiero que nos permite evaluar si el proyecto es rentable con el tiempo en cuestión del dinero si el VAN es positivo indica

que el proyecto es económicamente viable porque los ingresos generados superan a los costos e inversión realizadas. Por el contrario, si el VAN es negativo quiere decir que el proyecto no recupera la inversión inicial por lo tanto no es rentable.

### **Ecuación 15**

*Valor actual neto (VAN)*

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0$$

$FC_t$  : Flujo de caja en un periodo t

$i$  : tasas de descuento 10%

$t$  : periodo de tiempo en años

$n$  : vida útil

$I_0$  : Inversión inicial

El análisis del VAN se lo va a realizar para un período de 5 años hasta completar el número de clientes que se especifica en la sección 4.2.1.

$$VAN = \frac{-30.014,56}{(1+0,10)^0} + \frac{-3.240,00}{(1+0,10)^1} + \frac{6.840,00}{(1+0,10)^2} + \frac{20.280,00}{(1+0,10)^3} + \frac{37.080,00}{(1+0,10)^4} + \frac{53.880,00}{(1+0,10)^5}$$

$$VAN = -30.014,56 - 2.945,45 + 5.652,89 + 15.238,54 + 25.339,16 + 33.456,93$$

$$VAN = 46.727,5 \text{ usd (aprox.)}$$

El valor actual neto del proyecto se calculó mediante los flujos de cada de la tabla 29 y la tasa de descuento del 10%, dando un resultado positivo de \$46.727,5 aproximadamente lo que indica que es un proyecto económicamente viable ya que los ingresos generados superan la inversión inicial.

#### 4.2.5. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es un indicador financiero que permite conocer la rentabilidad porcentual del proyecto, si el TIR es mayor que la tasa mínima aceptable de rendimiento el proyecto es viable entonces con este valor se verifica si el retorno de la inversión resulta razonable económicamente.

$$VAN_{TIR} = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

<b>Inversión</b>	\$30.014,56
<b>Tasa de interes</b>	10%

Ingresos Fijos	
A	
Año 1	\$20.160
Año 2	\$30.240
Año 3	\$43.680
Año 4	\$60.480
Año 5	\$77.280

Egresos Fijos	
B	
Año 1	\$23.400
Año 2	\$23.400
Año 3	\$23.400
Año 4	\$23.400
Año 5	\$23.400

Flujo de Efectivo Neto	
A-B	
Año 0	\$ -30.014,56
Año 1	\$-3.240
Año 2	\$6.840
Año 3	\$20.280
Año 4	\$37.080
Año 5	\$53.880

Formula	TIR(H7:H12)
---------	-------------

TIR	38%
-----	-----

Mediante la herramienta de Excel se hizo el cálculo de la tasa interna del retorno (TIR) donde nos arrojó un valor de 38% este valor es superior a la tasa mínima aceptable de rendimiento del 10% lo que indica que la viabilidad de la red híbrida propuesta es económicamente rentable.

## **CONCLUSIONES**

A partir del análisis realizado de la situación actual de la parroquia La Merced de Buenos Aires, se determinó que, debido a su condición rural y a las limitaciones geográficas existentes, el acceso a servicios de Internet de calidad es limitado y presenta problemas de estabilidad y cobertura. El crecimiento de la población y la demanda de conectividad evidencia una necesidad de implementar una infraestructura de telecomunicaciones que permita mejorar el acceso de servicios digitales para los habitantes de la zona.

La evaluación de los recursos técnicos necesarios permitió establecer que la implementación de una red híbrida, compuesta por radioenlaces para el transporte y una red GPON FTTH para la distribución, constituye una solución técnica viable para la parroquia. El diseño propuesto aprovecha la infraestructura existente y permite superar las limitaciones geográficas garantizando así los niveles adecuados de potencia, cobertura y calidad del servicio.

Con respecto a los aspectos regulatorios se identificó la documentación y los formularios técnicos requeridos por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) para el establecimiento de una red híbrida en una zona rural. El cumplimiento de estos requisitos es fundamental para la operación legal del servicio y asegura que el proyecto se enmarque en la normativa vigente en el país.

Se concluyó que, a través del flujo de caja, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) indican que el proyecto es económicamente viable, aun considerando escenarios conservadores y costos operativos reales.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda que, previo al diseño de redes de telecomunicaciones en zonas rurales, se realice un levantamiento de información cartográfica y topográfica actualizada, apoyándose en entidades locales como los GAD municipales, con el fin de garantizar un diseño preciso de la red de fibra óptica y evitar inconvenientes durante la etapa de implementación.

Se recomienda realizar visitas técnicas en campo para validar los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas en Radio Mobile, AirLink Ubiquiti y OptiSystem, con el fin de corroborar que las condiciones reales del terreno y la infraestructura existente coincidan con los escenarios analizados.

Se recomienda actualizar el análisis financiero del proyecto previo a su ejecución, considerando posibles variaciones en los costos de equipamiento, instalación, arrendamientos, servicios básicos y mano de obra, así como cambios en la proyección del número de usuarios.

Se recomienda realizar un estudio más detallado del crecimiento de la demanda del servicio de internet en la parroquia, a fin de confirmar que la infraestructura propuesta sea suficiente y escalable para atender un aumento futuro de usuarios sin comprometer la calidad del servicio.

Se recomienda comparar la solución híbrida de radioenlace y red FTTH GPON con otras posibles alternativas tecnológicas, considerando factores técnicos, económicos y geográficos, para asegurar que la propuesta seleccionada sea la más adecuada para la zona rural analizada.

## **Bibliografía**

Andres, C. (2018). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UNA RED HIBRIDA PARA BRINDAR SERVICIO DE INTERNET A LAS PARROQUIAS DE CHONTAMARCA Y CHOROCOYTE DEL CANTON CAÑAR*. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana.

Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (junio de 2021). *Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de [https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0\\_14-07-21\\_v.1.pdf](https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/PNF-V.6.0_14-07-21_v.1.pdf)

Aiyden. (31 de 12 de 2021). *QSFPTTEK*. Obtenido de <https://www.qsfptek.com/es/qt-news/optical-distribution-frame-ODF-wiki.html>

Almaguer, D. R. (marzo de 2009). *Etapas Del Análisis De Factibilidad*. Obtenido de <https://ideas.repec.org/a/erv/contri/y2009i2009-034.html>

Alonso, R. (24 de febrero de 2021). *Relación señal-ruido o SNR en audio: ¿qué es y por qué importa?* Obtenido de <https://hardzone.es/reportajes/que-es/relacion-senal-ruido-snr-audio/>

América, T. &. (27 de junio de 2018). *¿Qué es el espectro radioeléctrico?* . Obtenido de TES América. <https://www.tesamerica.com/que-es-el-espectro-radioelectrico/>

Andrade, F. (17 de agosto de 2020). *¿Qué es el cable de fibra óptica?* . Obtenido de <https://www.cablecom.com.ec/post/qu%C3%A9-es-el-cable-de-fibra-%C3%B3ptica>

*Antenas de Telecomunicaciones*. (s.f.).

Arcotel. (2017). *03-03-ARCOTEL-2017 Reglamento para Homologación y Certificación de Equipos Terminales de Telecomunicaciones*. Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones. Obtenido de

<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/REGLAMENTO-DE-HOMOLOGACIION-CC-81N-R.Oficial-1.pdf>

Arcotel. (2018). *Resolución ARCOTEL 2018. Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de

<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-pdf>

ARCOTEL. (2021). *Derechos y obligaciones de los abonados, clientes y usuarios - Agencia de Regulacion y Control de las Telecomunicaciones*. Obtenido de

<https://www.arcotel.gob.ec/derechos-de-los-abonados-clientes-y-usuarios/>

Baca, U. G. (2011). *Evaluacion de proyectos*. Mexico: Mc, Graw Hill.

BEYONTECH. (18 de junio de 2017). *Diferencias entre cables de fibra óptica*

*monomodo y multimodo*. Obtenido de <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>

Boston, J. (28 de mayo de 2021). *Definición, tipos y características de la fibra*

*multimodo: OM1 vs OM2 vs OM3 vs OM4 vs OM5*. Obtenido de

<https://community.fs.com/es/article/advantages-and-disadvantages-of-multimode-fiber.html>

Byte instantáneo. (08 de febrero de 2021). *RF Elements presenta sus nuevas antenas*

*sectoriales AS-2-14 y AS-5-20 - Blog de Instant Byte*. *Blog de Instant Byte -*

*Mayorista de valor añadido especializados en networking, wireless, VoIP,*

*seguridad y videovigilancia, fibra óptica e IoT*. Obtenido de

<https://www.instantbyte.com/blog/rf-elements-presenta-sus-nuevas-antenas-sectoriales-as-2-14-y-as-5-20-bl-978/>

Castillo, J. A. (15 de febrero de 2019). *Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo*

*funciona*. Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/>

- Chiquiza, A., & Pamiño, M. (2013). ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES MEDIANTE LA TECNOLOGÍA WIMAX PARA EL CANTÓN GUANO. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/713/1/UNACH-EC-IET-2013-0008.pdf>
- De La Paz Vizqueira, L. (2023). *Cálculo del presupuesto del Radioenlace*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/369113594\\_Calculo\\_del\\_presupuesto\\_del\\_Radioenlace](https://www.researchgate.net/publication/369113594_Calculo_del_presupuesto_del_Radioenlace)
- Dos Santos, M. (24 de marzo de 2023). *Comparativa de frecuencia del espectro electromagnético*. Obtenido de <https://polaridad.es/comparativa-de-frecuencia-del-espectro-electromagnetico/>
- Du, P. O. (11 de junio de 2021). *¿Qué son los radio enlaces?* . Obtenido de <https://izc.com.co/blog/conociendo-los-radio-enlaces>
- Edison Quisnancela, N. E. (18 de noviembre de 2016). *Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x*. Obtenido de <https://oaji.net/articles/2017/1783-1483464784.pdf>
- Espinosa, O. (30 de octubre de 2019). *Qué es el espectro radioeléctrico*. Obtenido de <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/que-es-espectro-radioelectrico/>
- F, G. (24 de mayo de 2021). *¿Tipos de transceiver y cuáles son las diferencias entre transceiver y transpondedor?* Obtenido de <https://community.fs.com/es/article/transceiver-vs-transponder-what-are-the-differences.html>
- FCC FIBRA. (21 de abril de 2019). *Introducción a las tecnologías PON*. Obtenido de <https://www.fibresplitter.com/news/introduction-to-pon-technologies-24255482.html>

- Feng, N. (30 de enero de 2023). *Amplificador De Fibra Óptica*. Obtenido de <https://www.omch.co/es/fiber-optic-amplifier/>
- FIBREMEX. (24 de mayo de 2022). *¿Cómo hacer un presupuesto óptico?* Obtenido de <https://fibremex.com/fibra-optica/views/Blog/detalle.php?id=144>
- FOCC. (04 de junio de 2019). *¿Qué es un divisor de fibra óptica?* Obtenido de <https://www.fibresplitter.com/info/what-is-a-fiber-optic-splitter-35901321.html>
- Fuente, J. M. (10 de octubre de 2018). *Zona de Fresnel*. Obtenido de <https://www.marindela Fuente.com.ar/zona-de-fresnel-conceptos-basicos-para-tener-en-cuenta/>
- Godoy, D. (27 de mayo de 2019). *Tecnología FTTH*. *Linkedin.com*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/tecnolog%C3%ADa-ftth-diego-godoy>
- Goraymi. (s.f.). *Parroquia La Merced de Buenos Aires*. Obtenido de <https://www.goraymi.com/es-ec/imbabura/san-miguel-de-urcuqui/rurales/merced-buenos-aires-a3b17206a>
- Gran tecnología de Hangzhou. (30 de diciembre de 2019). *Receptor y Transmisor Óptico - Grand*.
- Hidrobo. (2013). *Antenas de Telecomunicaciones*. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39081826/020001-libre.pdf?1444454645=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Dantenas.pdf&Expires=1695260814&Signature=FEJA0GU0DPJYQZEiGgViKX-Y0Aea0TvM4dIil09pLeWWeu6QneAbjPzDhkddokZ~dBaxUDbEpbxeP77c8QU4-A06>
- Huawei Technologies Co. (2025). *HUAWEI CONNECT 2025*. Obtenido de <https://e.huawei.com/es/products/optical-terminal/echolife-eg8145v5>

- INEC. (2022). Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/censo-ecuador/>
- INEC, E. (2018). : *Encuesta Nacional de Empleo Desempleo y Subempleo*. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/TIC/2016/170125.Presentacion\\_Tics\\_2016.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2016/170125.Presentacion_Tics_2016.pdf)
- Instituto Nacional de Estadísticas y censos del Ecuador. (F de S de 2010). *Base de datos Censo de Poblacion y Vivienda*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>
- ITU. (29 de marzo de 2008). *G.984.1 : Redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit (GPON): Características generales*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/en>
- ITU. (22 de febrero de 2008). *G.984.4 : Redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit (G-PON): Especificación de la interfaz de gestión y control de la ONT*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/en>
- ITU. (13 de enero de 2014). *G.984.3 : Redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit (G-PON): Especificación de la capa de convergencia de transmisión*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/en>
- ITU. (29 de agosto de 2019). *G.984.2 : Redes ópticas pasivas con capacidad Gigabit (G-PON): Especificación de la capa dependiente del medio físico (PMD)*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/en>
- Jlrodriguez, P. (18 de mayo de 2018). *Frecuencias Licenciadas Y no licenciadas en Ecuador*. Obtenido de <https://badongeluis.wordpress.com/2014/05/18/frecuencias-licenciadas-y-no-licenciadas-en-ecuador/>

Jonces, C. (25 de julio de 2022). *WWAN vs. WLAN vs. LAN: ¿Cuál es la diferencia?*

Obtenido de <https://redriver.com/networking/wwan-vs-wlan-vs-lan>

Lee, B. (mayo de 2015). *DIVISORES ÓPTICOS*.

LibreTexts Español. (30 de octubre de 2022). *Componentes y definiciones de antena*.

Martínez, J. L. (13 de julio de 2018). *Zonas de Fresnel en un radioenlace*. PRORED.

Obtenido de <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>

MINTEL. (2017). *ACUERDO MINISTERIAL No. 018-2017*. . Obtenido de

<https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/Acuerdo-018-2017.pdf>

Miranda, M. (2012). *Gestión de Proyectos*. Bogota: MM Editores.

Nelson, D. (26 de julio de 2021). *PRIMICIAS*. Obtenido de

<https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/parroquias-ecuador-sin-conexion-internet/>

OKDIARIO. (25 de octubre de 2018). *Qué es una antena omnidireccional*. Obtenido de

<https://okdiario.com/curiosidades/que-antena-omnidireccional-3265035>

Óptica, R. d. (05 de agosto de 2019). *Formación para la Industria*. Obtenido de

<https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-fibra-optica/>

Plus. (s.f.). *Cobertura*. Obtenido de <https://iplus.com.ec/cobertura/>

redesinalambricas.es. (28 de marzo de 2019). *LAN Inalámbrica Las Redes Inalámbricas de Área Local Aprende Fácil*. Obtenido de [redesinalambricas.es](https://www.redesinalambricas.es).

<https://www.redesinalambricas.es/wirelesslan/>

Rodríguez, A. (14 de mayo de 2016). *Tipos de conectores de fibra óptica*. NTDhoy, S.L.

Obtenido de <https://www.fibraopticahoy.com/tipos-conectores-fibra-optica/>

Rodríguez, Y. (2009). *Fibra Óptica*. EL CID EDITOR.

- Rollinson, C. (06 de noviembre de 2018). *Pérdida de inserción: cómo las compensaciones pueden dar resultados inesperados (ganancias)*. Obtenido de <https://focenter.com/es/blog/p%C3%A9rdida-de-inserci%C3%B3n-c%C3%B3mo-las-compensaciones-pueden-dar-resultados-inesperados>
- Rosario. (24 de noviembre de 2021). *Enlaces inalámbricos profesionales*. Obtenido de <https://cuatrosistemas.com.ar/enlace-inalambrico/>
- RvMax. (29 de abril de 2017). *tipos de conectores Fibra Óptica ST,SC,LC,E2000,FC, MTRJ, MU, SC/APC,LC/APC. Silexfiber - Especialistas en fibra óptica, FTTH, Broadcast & LAN; FIBRA DE SÍLEX*. Obtenido de <https://silexfiber.com/tipos-conectores-fibra-optica/>
- s/f. (08 de noviembre de 2013). *Antena Direccional Ultrahorn™ Carrier Class Contectorizada 51806775 Ghz 24 Dbi Ultra Rechazo Al Ruido Altamente Direccional*. Obtenido de <https://novusred.mx/redes-y-audio-video/todo-para-antenas/direccionales-para-antenas/23559-antena-direccional-ultrahorn%E2%84%A2-carrier-class-contectorizada-51806775-ghz-24-dbi-ultra-rechazo-al-ruido-altamente-direccional-sin-.html>
- Shaw, K. (11 de julio de 2023). *estándares de Wi-Fi y velocidades*. Obtenido de <https://www.computerworld.es/wifi/80211-estandares-de-wifi-y-velocidades>
- SISENCO. (17 de abril de 2012). *Enlaces datos Punto a Punto*. Obtenido de <https://sisenco.wordpress.com/enlaces-datos-punto-a-punto/>
- Soto Vergel, A. J. (2019). Enseñanza de sistemas de radiocomunicaciones terrestres con línea de vista mediante software educativo. *Revista Educación en Ingeniería*, , págs. 14(28 (2019)), 78-87.
- Syscomblog. (03 de enero de 2019). *La Polarización en las Antenas*. Obtenido de <https://www.syscomblog.com/2019/01/la-polarizacion-en-las-antenas.html?m=1>

Telectrónica. (03 de mayo de 2018). *Cálculo de la Atenuación o Perdida en el Espacio Libre*. Obtenido de <https://www.telectronika.com/herramientas/perdida-en-el-espacio-libre/>

TI AMERICA. (10 de noviembre de 2021). *¿En qué se diferencian los enlaces punto a punto y multipunto?* Obtenido de <https://www.ti-america.com/en-que-son-similares-y-diferentes-los-enlaces-punto-a-punto-y-multipunto/>

Tokio, E. (22 de agosto de 2022). *Red WLAN: qué es, para qué sirve y por qué es importante*. Obtenido de <https://www.tokioschool.com/noticias/red-wlan/>

Ubierna, O. (12 de octubre de 2021). *¿Qué son las antenas sectoriales?* Obtenido de Blog de tecnología wireless. Blog de tecnología wireless; NTDhoy, S.L.: <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-son-las-antenas-sectoriales/>

Ubierna, O. (15 de febrero de 2022). *¿Qué son las antenas omnidireccionales?* Obtenido de <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/wireless/que-son-las-antenas-omnidireccionales/>

Ubiquiti Inc. (2026). *Fiber OLT*. Obtenido de [https://dl.ubnt.com/qsg/UF-OLT/UF-OLT\\_ES.html](https://dl.ubnt.com/qsg/UF-OLT/UF-OLT_ES.html)

V.SOL. (13 de 01 de 2025). *VSOL R&D*. Obtenido de <https://es.vsolcn.com/blog/what-is-olt.html>

Vela, P. (2015). *es fundamental considerar diversos factores que influyen directamente en la calidad, estabilidad y alcance de la conexión. Entre los principales aspectos a tener en cuenta se encuentran:.*

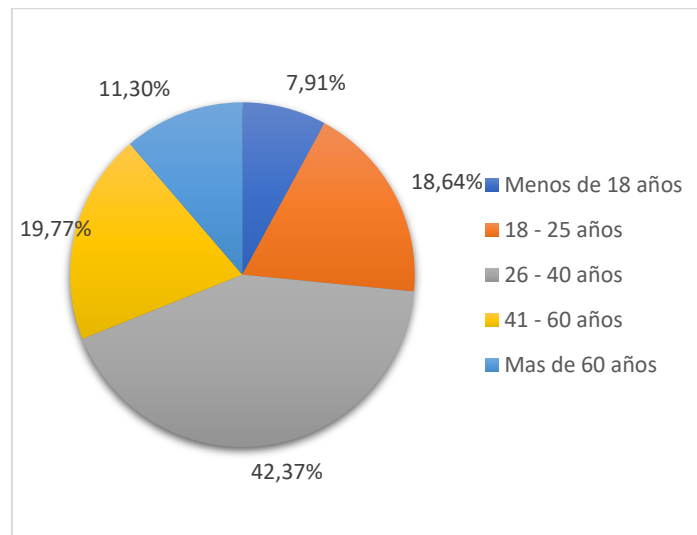
Wisp. (s.f.). *Cobertura*. Obtenido de <http://wisp.net.ec/wp/index.php/cobertura/>

## ANEXOS

### Anexo A

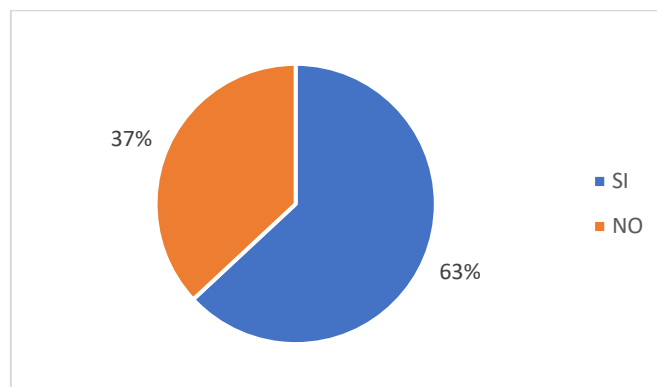
Tabulación de las encuestas realizadas en la parroquia La Merced.

**¿En qué rango de edad se encuentra? (Marque solo una opción)**



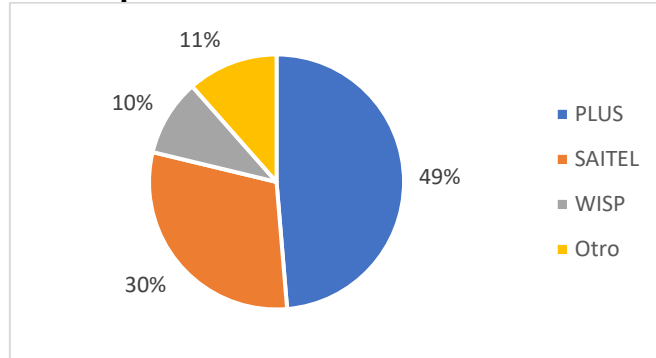
Para el total de la población encuestada el grupo predominante es de 26 a 40 años con el 42% seguido por adultos de 41 a 60 años con el 20% y jóvenes de 18 a 25 años siendo el 10% esto significa que casi la mitad de los encuestados es una generación dependiente del internet para actividades diarias.

**¿Dispone actualmente de servicio de internet en su domicilio?**



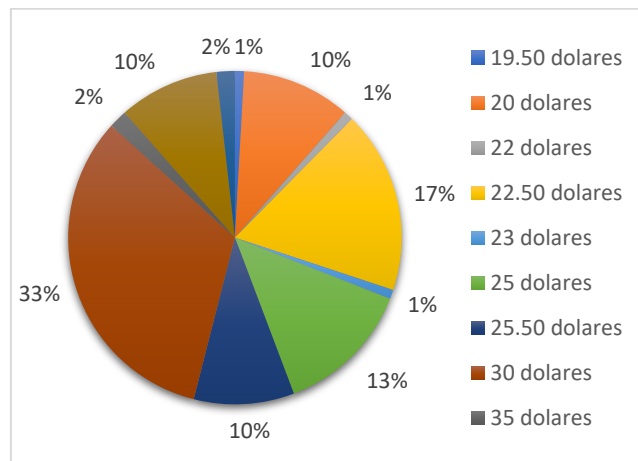
De toda la parroquia el 63% de las personas cuentan con el servicio de internet, mientras que un 37% aún carece de conexión en su domicilio este porcentaje representa un mercado potencial para la expansión de la red.

**¿Cuál es el nombre de su proveedor de servicio de internet actual?**



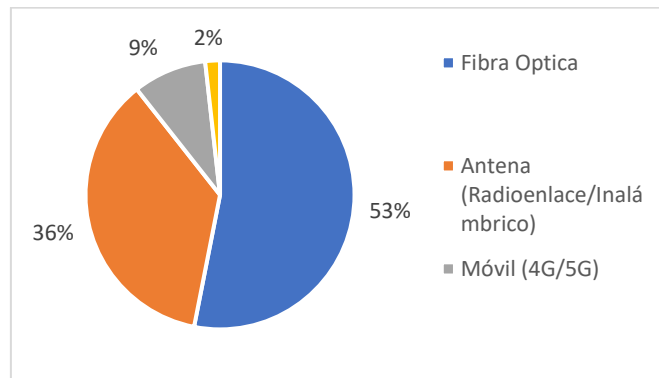
De la población encuestada un 49% respondió que su proveedor de internet es PLUS, SAITEL con el 30%, WISP con el 10% y telefonía móvil con el 11%, el mercado se encuentra concentrado principalmente en dos proveedores lo que sugiere una competencia limitada.

**¿Cuál es el valor que paga mensualmente por su servicio de internet?**



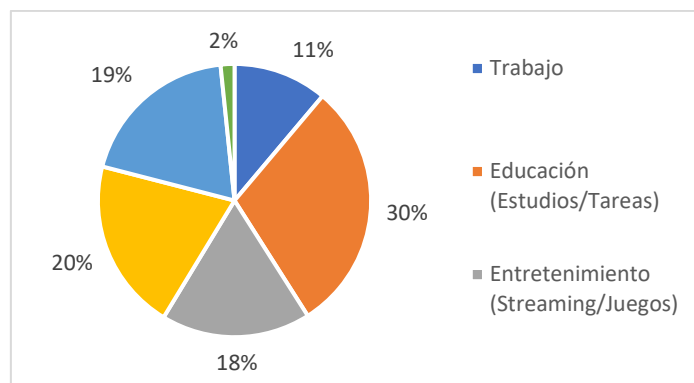
El costo del servicio varia pero el 33% de los encuestados indico realizar un pago de 30 dólares mensuales, otros valores incluyen 25,35 y hasta 60 dólares en casos aislado. Cualquier diseño técnico debe buscar la rentabilidad bajo este umbral de precio para ser competitivo y atractivo para la economía local de la zona rural.

**Su proveedor de internet actual le entrega el servicio a través de: (Marque solo una opción)**



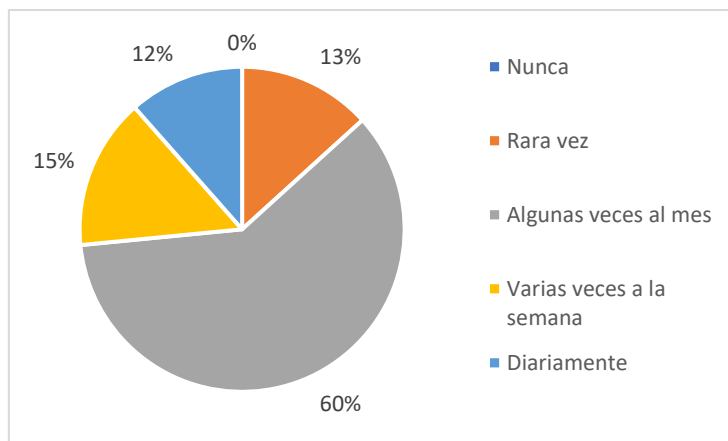
El 53% de los encuestados usa fibra óptica y un 36% de la población conectada sufre las limitaciones físicas del radioenlace interferencias por clima, saturación de espectro y necesidad de línea de vista el 9% usa datos móviles y solo el 2% usa red satelital.

**¿Cuáles son los principales usos que le da al internet en su hogar? (Marque todas las opciones que apliquen)**



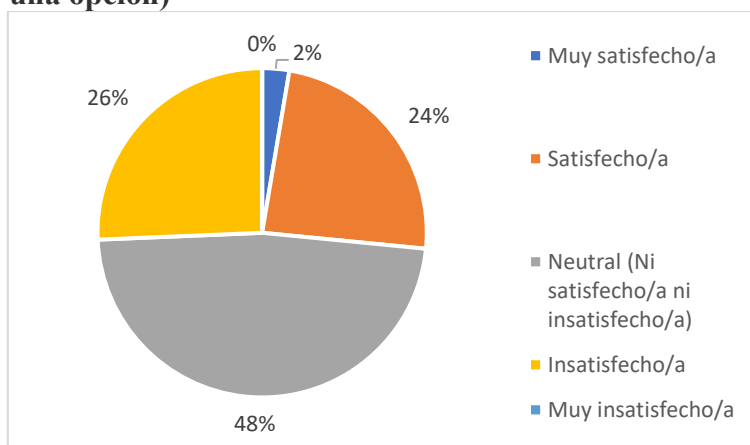
El 30% de los encuestados el uso principal que le dan al internet es para educación siguiendo con el 20% para comunicación y redes sociales, el 19% para tramites como pagos de servicios básicos y pagos bancarios, el 18% para streaming como Netflix y juegos en línea y el 11% lo usan para trabajo.

**¿Con qué frecuencia experimenta cortes y/o intermitencias en el servicio? (Marque solo una opción)**



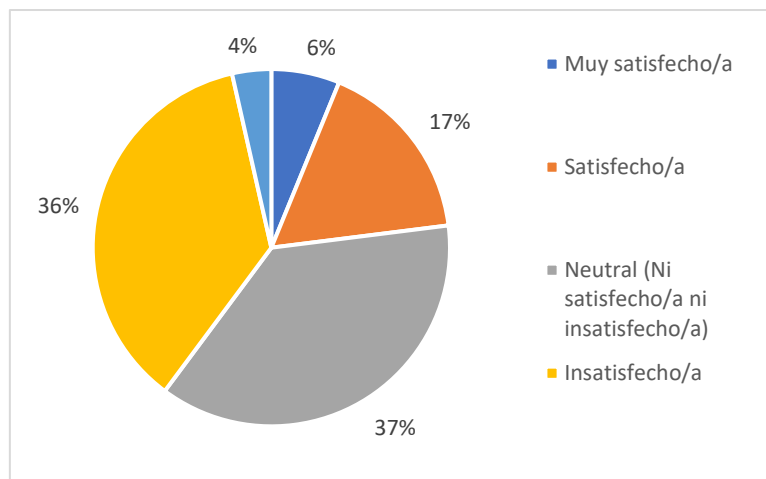
El 60% de los usuarios sufre cortes “algunas veces al mes” y un 27% adicional experimenta fallos de forma semanal o diaria y un 13% de los usuarios no experimentan cortes o fallos en su red esto quiere decir que hay un índice de intermitencia del 87% mensual a diario.

**¿Qué tan satisfecho/a está con la calidad general del servicio de internet que recibe? (Marque solo una opción)**



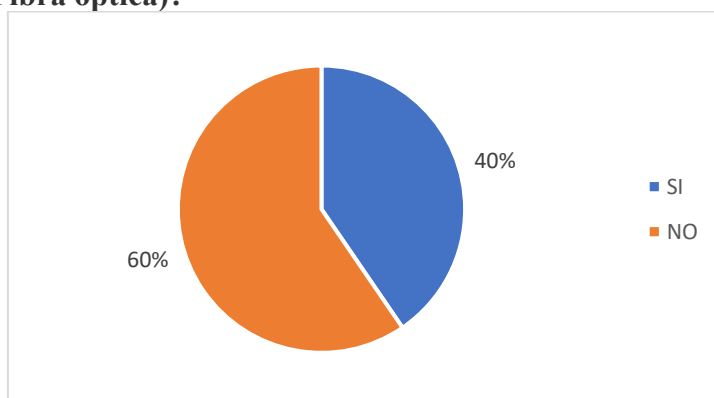
El 48% de los usuarios mantiene una postura neutral ante la calidad del servicio que tienen el 26% de los usuarios esta insatisfecho seguido del 24% que dice estar satisfecho con el servicio y el 2% muy satisfecho entonces la calidad de la experiencia (QoE) es baja lo que facilita la captación de clientes mediante una oferta que resuelva estos problemas.

**¿Qué tan satisfecho/a está con la atención recibida en caso de problemas técnicos o consultas sobre el servicio? (Marque solo una opción)**



El 73% de los usuarios están insatisfecho y neutral con la eficiencia del soporte técnico la alta insatisfacción en soporte esta ligada a los fallos en los equipos y en el servicio de internet y a tiempos de respuesta lentos en la reparación o mantenimiento correctivo.

**¿Estaría dispuesto/a a pagar más por un servicio de internet de mayor calidad o velocidad (ej. Fibra óptica)?**



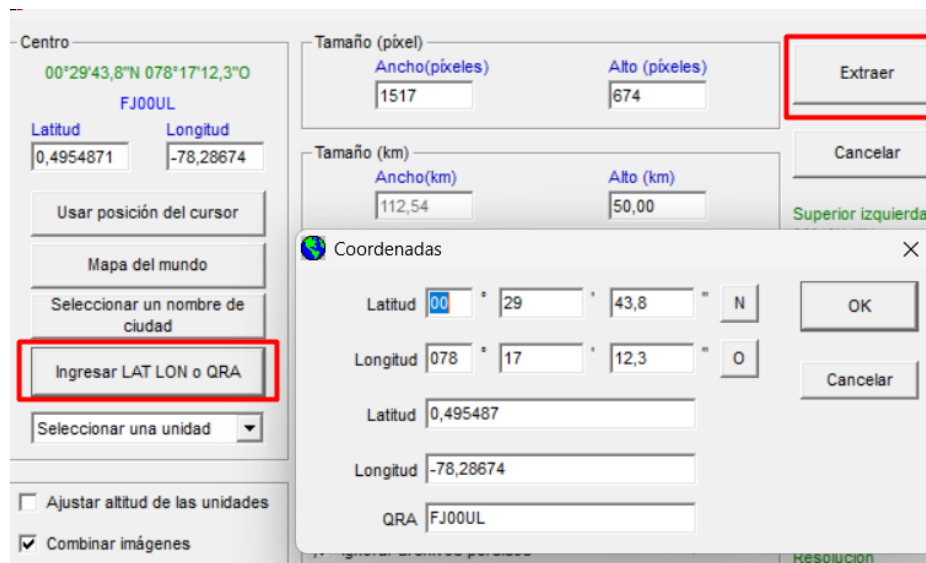
El 60% de encuestados no está dispuesto a pagar más por un servicio de internet de mayor calidad mientras que el 40% si aceptase el incremento esto se debe a que los usuarios son altamente sensibles al precio entonces para que el proyecto sea factible se debe ofrecer mayor calidad manteniendo los costos similares a los \$30.

## Anexo B

Simulación de los enlaces en Radio Mobile, como primer paso se realiza la ubicación de la parroquia La Merced en el mapa del Software. Una vez establecido el punto central del mapa se procede a fijar los puntos donde van a estar ubicadas las estaciones.

**Figura 45**

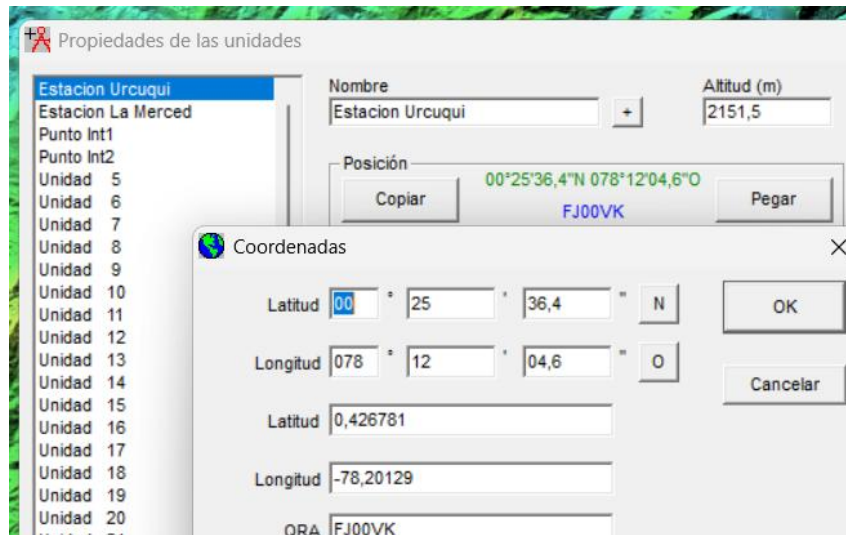
*Asignación de coordenadas en el mapa*



Se realiza la Ubicación de la primera estación que está en la localidad de Urcuqui, en el software se procede a poner las coordenadas correspondientes.

**Figura 46**

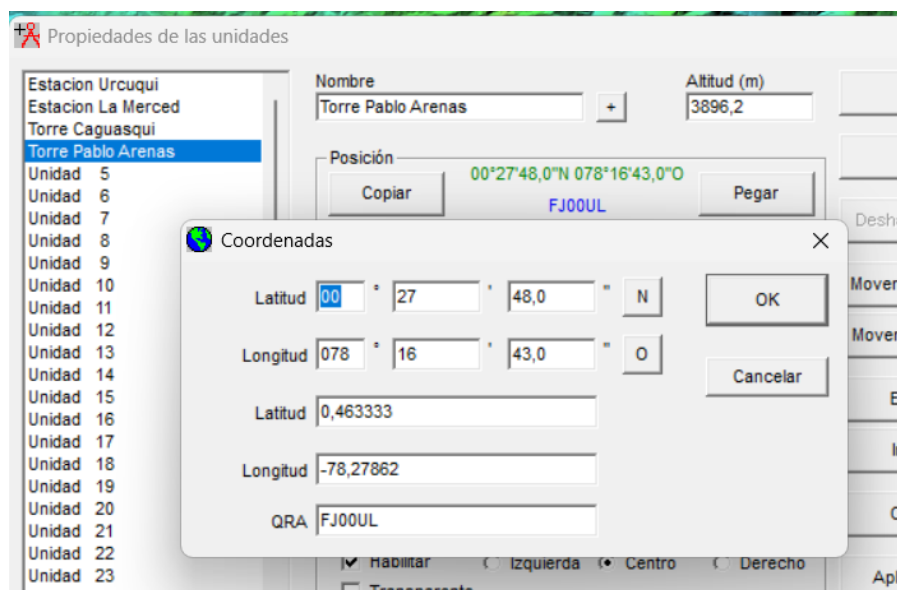
*Creación de la Estación Urcuquí*



Se realiza la creación de la Torre Pablo Arenas en la plataforma ubicando las coordenadas exactas del sitio.

**Figura 47**

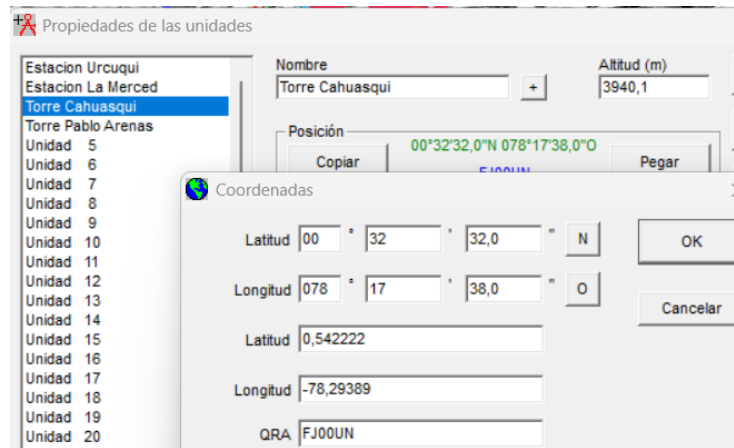
*Creación de la Torre Pablo Arenas*



De igual manera se realiza la creación del punto llamado Torre Cahuasqui asignando las coordenadas correctas.

**Figura 48**

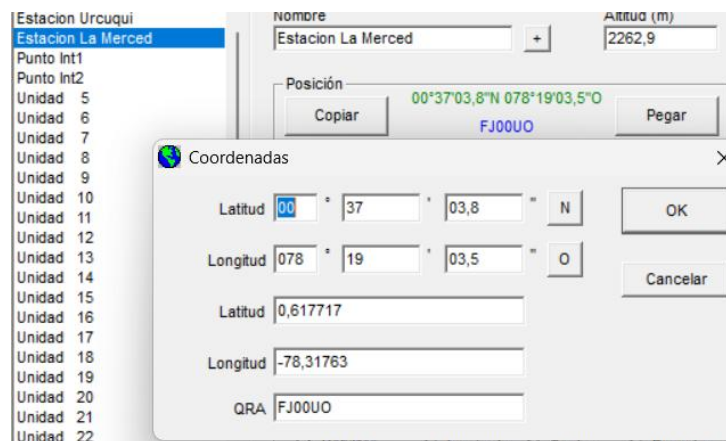
*Creación de la Torre Cahuasqui*



Se hace la creación de la estación La Merced asignando las coordenadas correctas.

**Figura 49**

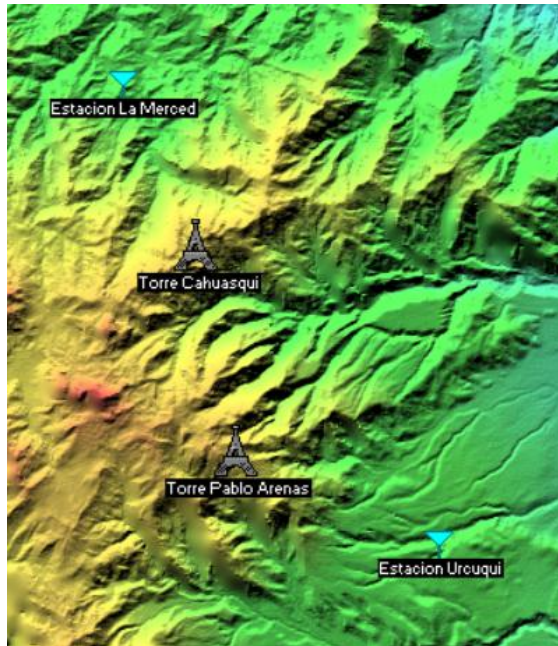
*Creación la Estación La Merced*



Una vez ubicado cada uno de los puntos donde iran las cuatro estaciones se hace un cambio de iconos para darnos cuenta cuales son las estaciones y cuales son las torres de control.

**Figura 50**

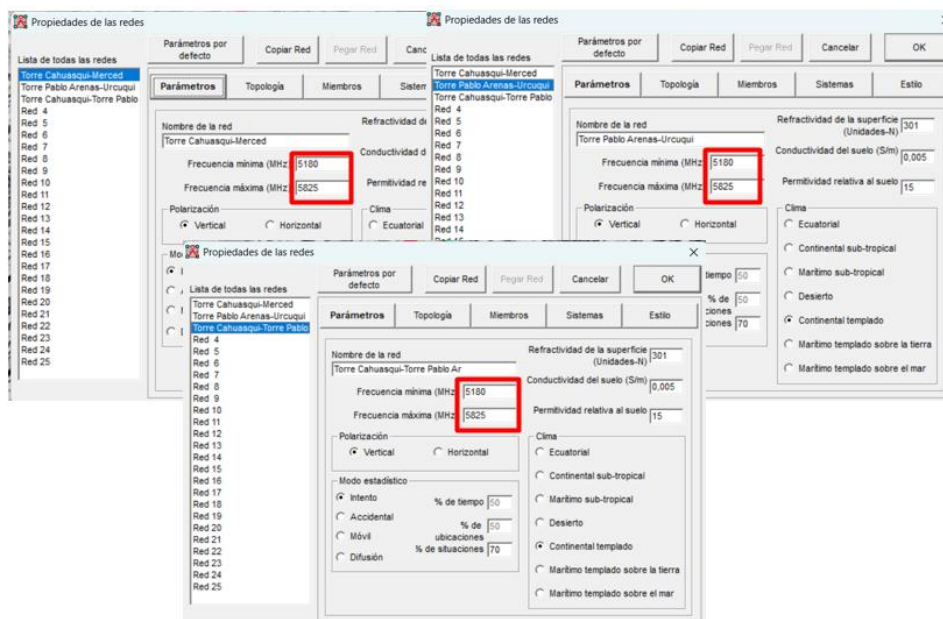
*Ubicación de las Estaciones Inalámbricas*



Para establecer la conexión entre los enlaces se utilizó la herramienta de propiedades de red del simulador, donde se desplegará una venta donde se deberá configurar algunos parámetros. En la primera pestaña ver la Figura 51 se establecen los parámetros como en nombre de la red, frecuencia máxima, frecuencia mínima y polarización.

**Figura 51**

*Propiedades de las redes*



Se realiza la configuración de los sistemas aquí, en este apartado se especifica los valores de potencia del transmisor, pérdida de línea, tipo de antena en este caso la antena es sectorial es por eso que se escoge una antena Yagui, ganancia de la antena, altura de la antena y pérdidas adicionales.

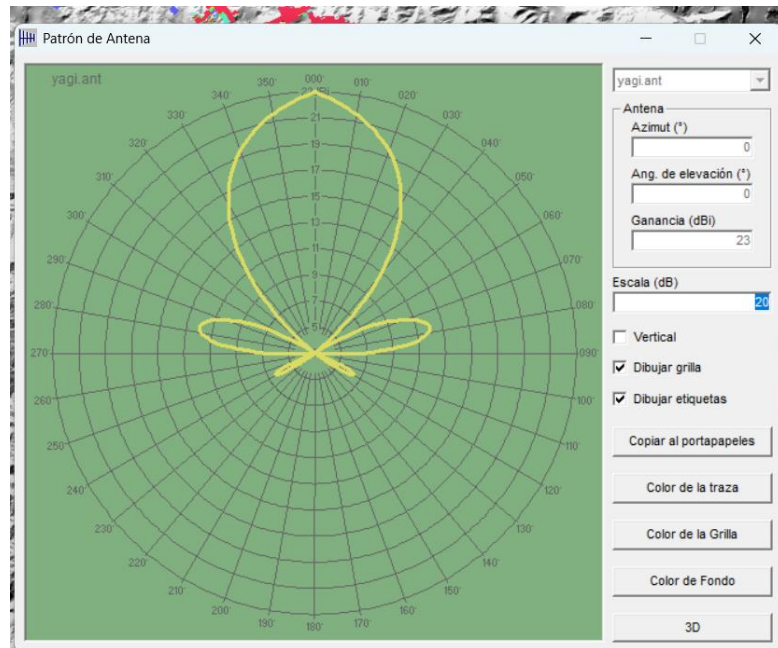
**Figura 52**

*Parámetros del sistema de cada red*

Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
00 Selecionar desde VHF ... UHF ...				
Nombre del sistema Sistema 1				
Potencia del Transmisor (Watt)	0,05	(dBm)	17	
Umbral del receptor (µV)	1	(dBm)	-107	
Pérdida de la línea (dB)	1,5	( Cable+cavidades+conectores )		
Tipo de antena	yagi.ant	Ver		
Ganancia de antena (dBi)	23	(dBd)	20,85	
Altura de antena (m)	45	( Sobre el suelo )		
Pérdida adicional cable (dB/m)	1	( Si la altura de la antena difiere )		
Agregar a Radiosys.dat		Remover del Radiosys.dat		

**Figura 53**

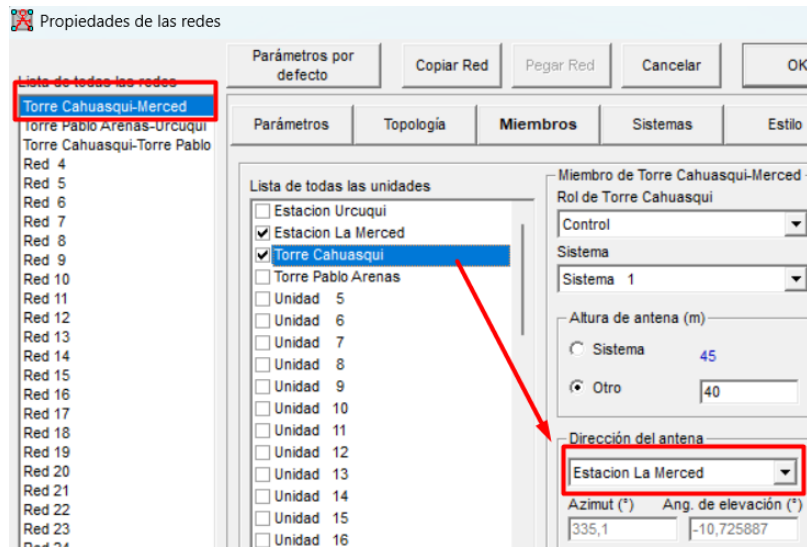
*Patrón de radiación Yagui*



A su vez se realiza la configuración de los parámetros en los tres enlaces como primer paso se realiza la asignación de los nombres de los enlaces como se puede ver en la Figura 54 tiene el nombre de Torre Cahuasqui-La Merced, seguido se escoge las estaciones que están en ese enlace en este caso tenemos el Torre Cahuasqui y Estación la Merced y se escoge el rol de las estaciones aquí se observa que la Torre Cahuasqui será el control entonces la dirección de la antena será hacia la Estación La Merced. Este mismo paso se realiza para los tres enlaces.

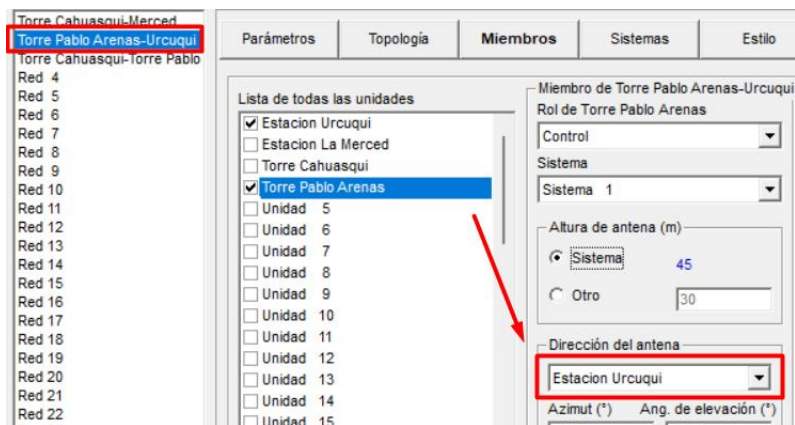
**Figura 54**

*Parámetros de enlace entre Torre Cahuasqui - La Merced*



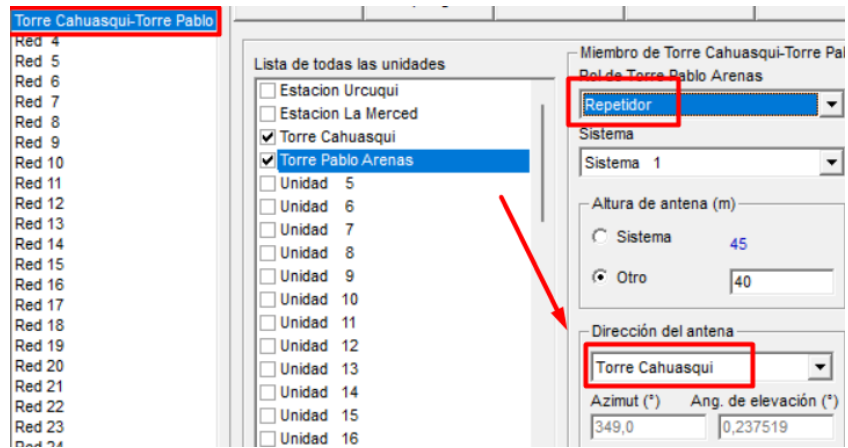
**Figura 55**

*Parámetros de enlace entre Torre Pablo Arenas – Urcuquí*



**Figura 56**

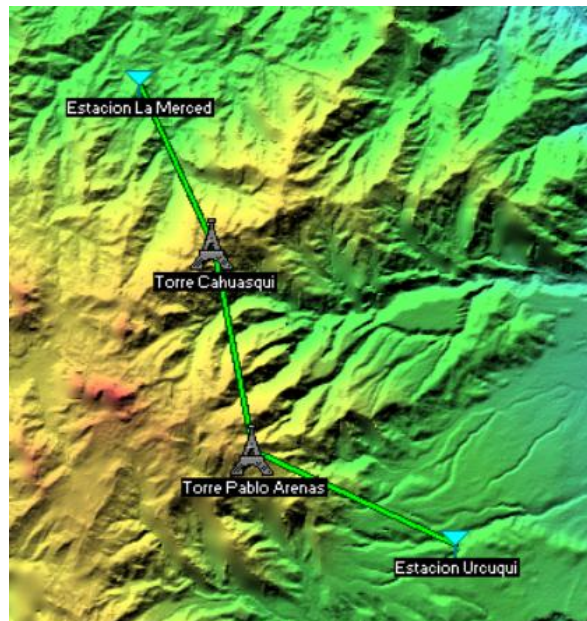
*Parámetros de enlace entre Torre Pablo Arenas - Torre Cahuasqui*



Una vez hecho todas las configuraciones se puede visualizar en el mapa de Radio Mobile que la red se encuentra estable ya que los enlaces son de color verde, en caso de que los enlaces sean de color rojo se debe cambiar las características de la antena o cambiar la ubicación de las estaciones hasta encontrar una línea de vista directa entre estaciones.

**Figura 57**

*Redes estables entre las estaciones*

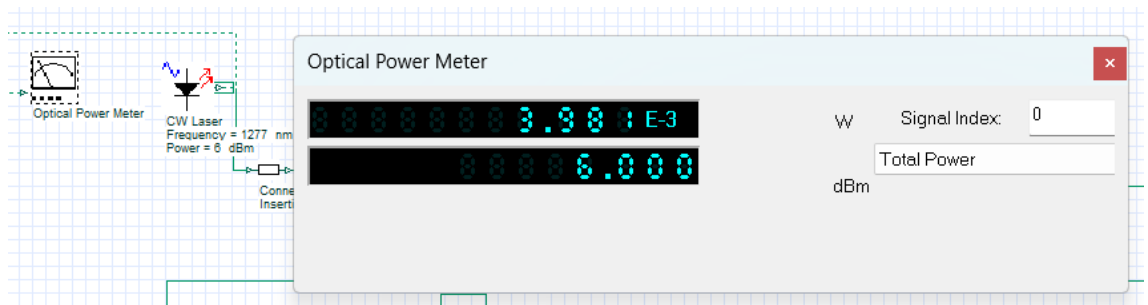


## Anexo C

Se uso la herramienta OptiSystem para simular la red FTTH GPON con el fin de evaluar las pérdidas ópticas y también la potencia recibida en los usuarios se empezó por usar una potencia de transmisión de 6dBm.

**Figura 58**

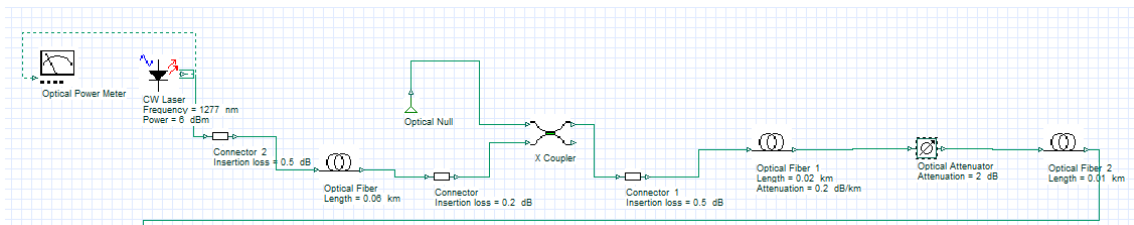
*Potencia de Transmisión*



**Red Troncal:** La red troncal representa el segmento principal de transporte de la señal óptica desde el nodo central, donde se encuentra la OLT, hacia los puntos de distribución. En esta etapa se consideran los elementos pasivos principales, como fibra óptica, conectores y acopladores, evaluando las pérdidas acumuladas a lo largo del enlace.

**Figura 59**

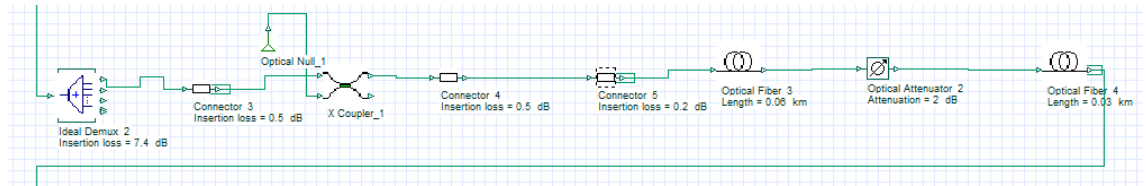
*Diseño de la red troncal en OptiSystem*



**Red de Distribución:** La red de distribución corresponde al tramo intermedio del sistema FTTH GPON, encargado de transportar la señal desde los nodos principales hacia los NAPs de segundo nivel. En este segmento se incluyen divisores ópticos y enlaces de fibra que permiten la distribución eficiente de la señal hacia las áreas de cobertura.

**Figura 60**

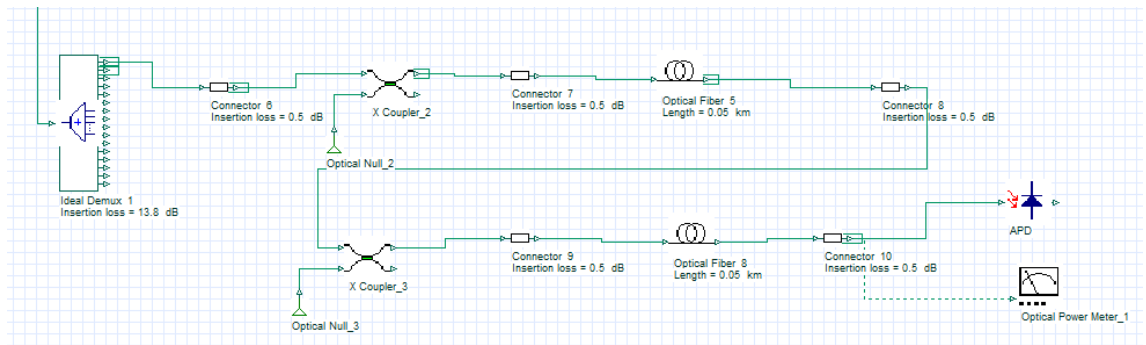
*Diseño de la red de distribución en OptiSystem*



**Ultima milla:** La última milla representa el tramo final de la red, que conecta los NAPs con los usuarios finales mediante enlaces de fibra óptica y componentes pasivos. Este segmento es fundamental para garantizar que la potencia óptica recibida en el cliente se mantenga dentro de los rangos operativos establecidos por el estándar GPON.

**Figura 61**


*Diseño de la red de la última milla en OptiSystem*



## Anexo D

Formularios Técnicos para la infraestructura del sistema de radiocomunicaciones


**FO-DRE-01**

Código: FO-DRE-01 Versión: 01		FORMULARIO PARA INFORMACION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES										 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones		
1	2	3	4	5	6	7	8		9		10	11	12	13
CODIGO ESTRUCTURA	NOMBRE DEL SITIO	PROVINCIA	CANTON	CIUDAD/LOCALIDAD	PARROQUIA (RURAL/CABECERA CANTONAL)	DIRECCIÓN (Calle y No.) LOCALIDAD	COORDENADAS GEOGRAFICAS (WGS84)		ALTURA ESTRUCTURA					
							LATITUD (°N/S) XXX°XX'XX.XXX"S	LONGITUD (°O/W) XX°XX'XX.XXX"W	S.N.M. (m)	BASE/CIMA (m)				
S1	URCQUI	IMBABURA	URCQUI	URCQUI	SAN MIGUEL DE URCQUI	URCQUI	00°25'36.40"N	78°12'04.60"W	21515	12	TORRE NO AUTOSOPORTADA		NUEVA	USUARIO
S2	PABLO ARENAS	IMBABURA	URCQUI	PABLO ARENAS	PABLO ARENAS	PABLO ARENAS	00°27'48.00"N	78°16'43.00"W	3836.2	40	TORRE NO AUTOSOPORTADA		NUEVA	USUARIO
S3	CAHUASQUI	IMBABURA	URCQUI	CAHUASQUI	CAHUASQUI	CAHUASQUI	00°32'53.00"N	78°16'55.00"W	3754.4	50	TORRE NO AUTOSOPORTADA		NUEVA	USUARIO
S4	LA MERCED	IMBABURA	URCQUI	LA MERCED	MERCEDE DE BUENOS AIRES	AV. VIRGEN DE FATIMA	00°37'03.80"N	78°19'03.50"W	2262.9	35	TORRE NO AUTOSOPORTADA		NUEVA	USUARIO

## FO-DRE-02

Código: FO-DRE-02 Versión: 01		FORMULARIO PARA INFORMACION DE ANTENAS				 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones		
1	2	3	4		5	6	7	8
CODIGO DE ANTENA	MARCA	MODELO	RANGO DE OPERACIÓN [MHz]		TIPO	IMPEDANCIA [Ω]	GANANCIA [dBi]	DIAMETRO [m]
			FREC. INICIAL	FREC. FINAL				
A1	UBIQUITI	airFiber 5XHD (AF-5XHD)	4800.00	6200.00	SECTORIAL	50	23	0.024
A2	UBIQUITI	airFiber 5XHD (AF-5XHD)	4800.00	6200.00	SECTORIAL	50	23	0.024
A3	UBIQUITI	airFiber 5XHD (AF-5XHD)	4800.00	6200.00	SECTORIAL	50	23	0.024
A4	UBIQUITI	airFiber 5XHD (AF-5XHD)	4800.00	6200.00	SECTORIAL	50	23	0.024
A5	UBIQUITI	airFiber 5XHD (AF-5XHD)	4800.00	6200.00	SECTORIAL	50	23	0.024
A6	UBIQUITI	airFiber 5XHD (AF-5XHD)	4800.00	6200.00	SECTORIAL	50	23	0.024

## FO-DRE-03

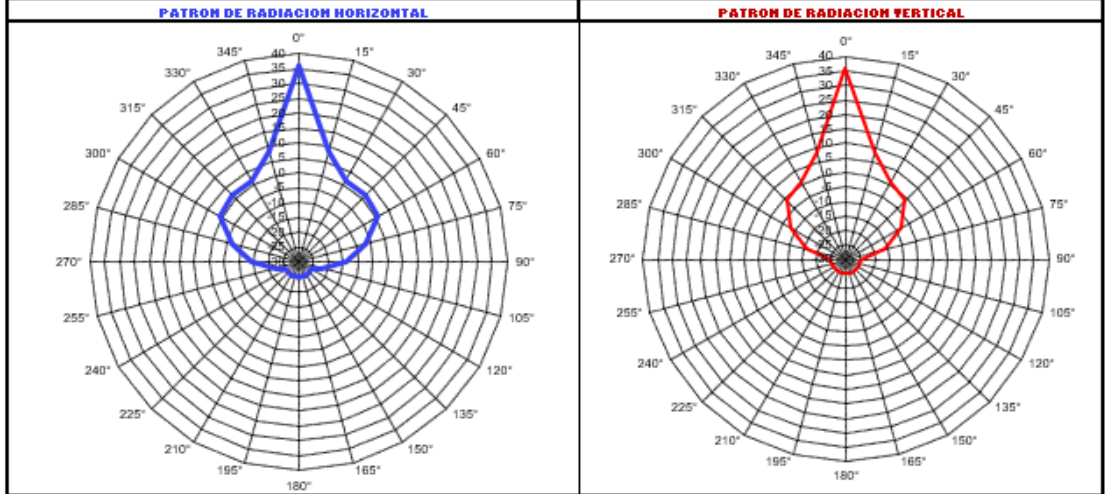
<b>Código: FO-DRE-03</b> <b>Versión: 01</b>	<b>FORMULARIO PARA PATRONES DE RADIACION DE ANTENAS</b>	
--	---	---

**1) PATRONES DE RADIACION DE ANTENA**


MARCA:	<b>UBIQUITI</b>	MODELO:	<b>airFiber AF-5HD</b>	TIPO:	<b>SECTORIAL/DIRECCIONAL</b>
--------	-----------------	---------	------------------------	-------	------------------------------

Ingrese los valores de ganancia ( dBd ) para cada radial.


<b>PLANO</b>	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
HORIZONTAL	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	-7.5	-8	-8.5	-9	-9.5	-10	-10.5	-11	-11.5	-12	-12.5	-13	-13.5	-14	-14.5
VERTICAL	-3	-3.5	-4	-4.5	-5	-5.5	-6	-6.5	-7	-7.5	-8	-8.5	-9	-9.5	-10	-10.5	-11	-11.5	-12	-12.5	-13	-13.5	-14	-14.5



**FO-DRE-04**

<b>Código: FO-DRE-04</b> <b>Versión: 01</b>	<b>FORMULARIO PARA INFORMACION DE EQUIPOS</b>									
1 CODIGO DEL EQUIPO	2 TIPO DE ESTACION	3 MARCA	4 MODELO	5 SEPARACION ENTRE Tx Y Rx [MHz]	6 POTENCIA MAXIMA DE SALIDA [W/dBm]	7 RANGO DE FRECUENCIAS [MHz]		8 TIPO DE MODULACION	9 SENSIBILIDAD [dBm]	10 MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA [KHz]
						FREC. INICIAL	FREC. FINAL			
E1	FIJA	UBIQUITI	airFiber AF-5XHD	80	29	4800	6200	OTRO	-42	±80
E2	FIJA	UBIQUITI	airFiber AF-5XHD	80	29	4800	6200	OTRO	-42	±80
E3	FIJA	UBIQUITI	airFiber AF-5XHD	80	29	4800	6200	OTRO	-42	±80

**FO-DRE-06**

<b>Código: FO-DRE-06</b> <b>Versión: 01</b>	<b>FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE (ENLACES PUNTO - PUNTO)</b>																													
1 No	2 Frecuencias o Rango		3 Ancho de Banda [MHz]	4 Polarización	5 Configuración	6 Separación entre Tx y Rx [MHz]	7 ESTACION FIJA DE TX						8 ESTACION FIJA DE RX						9 Modo de Operación	10 Servicio a ser Prestado	11 Tipo de Modulación	12 Clase de Emisión								
	FTX F-Inicial [MHz]	FRX F-Final [MHz]					ANTENA			EQUIPO			ANTENA			EQUIPO														
							Nombre del Sitio	Altura de la Antena [m]	Código de la Antena Utilizada	Marca	Modelo	Ganancia [dB]	Código del Equipo Utilizado	Marca	Modelo	Potencia [W]	Nombre del Sitio	Altura de la Antena [m]					Código de la Antena Utilizada	Marca	Modelo	Ganancia [dB]	Código del Equipo Utilizado	Marca	Modelo	Potencia [W]
E1	4800	6200	M	H		1400,00	31	URUCUÑA	5	A1	UBIQUITI	5XHD	AF	E1	FIJA	UBIQUITI	43	32	PABLO ARENAS	40	A1	UBIQUITI	5XHD	AF	E1	FIJA	UBIQUITI	23	FIJA	OTRO
E2	4800	6200	M	H		1400,00	32	PABLO ARENAS	40	A2	UBIQUITI	5XHD	AF	E2	FIJA	UBIQUITI	23	33	CARLA SOTO	50	A3	UBIQUITI	5XHD	AF	E1	FIJA	UBIQUITI	23	FIJA	OTRO
E3	4800	6200	M	H		1400,00	33	CARLA SOTO	50	A3	UBIQUITI	5XHD	AF	E1	FIJA	UBIQUITI	23	34	LA MERCED	35	A4	UBIQUITI	5XHD	AF	E1	FIJA	UBIQUITI	23	FIJA	OTRO

# FO-DRE-07

Código: FO-DRE-07 Versión: 01	<b>FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE</b> (PERFIL TOPOGRAFICO DE LOS ENLACES PUNTO-PUNTO)	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
----------------------------------	--	---

1) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ENLACE											
NOMBRE DEL SITIO TX			URCUQUI			NOMBRE DEL SITIO RX			PABLO ARENAS		
No.	AZIMUT Tx (°)	AZIMUT Rx (°)	ANGULO ELEV. Tx (°)	ANGULO ELEV. Rx (°)	DISTANCIA. (Km)	SENSIBILIDAD. (dBm)	MARGEN DE DESV. (dB)	CONFIABILIDAD (%)			
E1	295,3	115,3	10,393	10,478	9,5	-107	20	99,9			

2) GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:

**Enlace de Radio**

Editar Ver Invertir

Azimuth=115,30°	Ang. de elevación=-10,478°	Despeje a 9,36km	Peor Fresnel=6,4F1	Distancia=9,50km
Espacio Libre=126,9 dB	Obstrucción=-5,6 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=6,6 dB
Pérdidas=128,0dB	Campo E=64,0dBµV/m	Nivel Rx=-65,0dBm	Nivel Rx=-126,01µV	Rx relativo=42,0dB

**Transmisor**

Torre Pablo Arenas

Rol: Control

Nombre del sistema Tx: Sistema 1

Potencia Tx: 0,05 W

Pérdida de línea: 1,5 - 1,5 dB

Ganancia de antena: 23 dBi

Potencia radiada: PIRE=9,98 W

Altura de antena (m): 40

**Receptor**

Estacion Urcuqui

Rol: Subordinado

Nombre del sistema Rx: Sistema 1

Campo E requerido: 22,02 dBµV/m

Ganancia de antena: 23 dBi

Pérdida de línea: 1,5 - 1,5 dB

Sensibilidad Rx: 1µV

Altura de antena (m): 30

Red: Torre Pablo Arenas-Urcuqui

Frecuencia (MHz): Mínimo 5180, Máximo 5825

1) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ENLACE											
NOMBRE DEL SITIO TX			PABLO ARENAS			NOMBRE DEL SITIO RX			CAHUASQUI		
No.	AZIMUT Tx (°)	AZIMUT Rx (°)	ANGULO ELEV. Tx (°)	ANGULO ELEV. Rx (°)	DISTANCIA. (Km)	SENSIBILIDAD. (dBm)	MARGEN DE DESV. (dB)	CONFIABILIDAD (%)			
E2	349,04	169,04	0,302	0,382	8,93	-107	20	99,9			

2) GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:

**Enlace de Radio**

Editar Ver Invertir

Azimuth=349,04°	Ang. de elevación=0,302°	Despeje a 1,19km	Peor Fresnel=2,1F1	Distancia=8,93km
Espacio Libre=126,2 dB	Obstrucción=0,2 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=6,7 dB
Pérdidas=133,1dB	Campo E=58,9dBµV/m	Nivel Rx=-76,6dBm	Nivel Rx=33,01µV	Rx relativo=30,4dB

**Transmisor**

Torre Pablo Arenas

Rol: Repetidor

Nombre del sistema Tx: Sistema 1

Potencia Tx: 0,05 W

Pérdida de línea: 1,5 - 1,5 dB

Ganancia de antena: 23 dBi

Potencia radiada: PIRE=9,98 W

Altura de antena (m): 40

**Receptor**

Torre Cahuasqui

Rol: Control

Nombre del sistema Rx: Sistema 1

Campo E requerido: 28,52 dBµV/m

Ganancia de antena: 23 dBi

Pérdida de línea: 1,5 + 5 dB

Sensibilidad Rx: 1µV

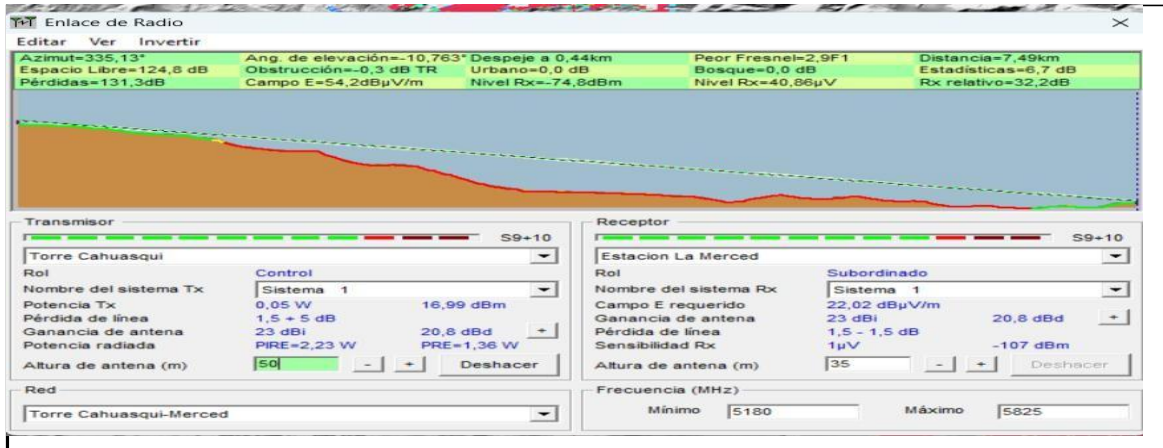
Altura de antena (m): 50

Red: Torre Cahuasqui-Torre Pablo Ar

Frecuencia (MHz): Mínimo 5180, Máximo 5825

1) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ENLACE											
NOMBRE DEL SITIO TX			CAHUASQUI			NOMBRE DEL SITIO RX			LA MERCED		
No.	AZIMUT Tx (°)	AZIMUT Rx (°)	ANGULO ELEV. Tx (°)	ANGULO ELEV. Rx (°)	DISTANCIA. (Km)	SENSIBILIDAD. (dBm)	MARGEN DE DESV. (dB)	CONFIABILIDAD (%)			
E3	335,13	155,13	10,76	10,695	7,49	-107	20	99,9			

2) GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:



## Anexo E

airFiber® 5XHD

## SPECIFICATIONS

airFiber AF-5XHD	
Dimensions	224 x 82 x 48 mm (8.82 x 3.23 x 1.89")
Weight	0.35 kg (12.3 oz)
RF Connectors	(2) RP-SMA Weatherproof (CH0, CH1) (1) SMA Weatherproof (GPS)
GPS Antenna	External, Magnetic Base
Power Supply	24V, 1A Gigabit PoE Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet Pins 1, 2, 4, 5 (+) and Pins 7, 8, 3, 6 (-)
Max. Power Consumption	6-12W <sup>1</sup>
Supported Voltage Range	+18 to +54VDC <sup>2</sup>
Mounting	airFiber X Mount (Rocket Mount Compatible) GPS Pole Mount (Included)
Operating Temperature	-40 to 55° C (-40 to 131° F)
Weatherproofing	IP67 <sup>3</sup>
Certifications	CE, FCC, IC



System	
Processor	airFiber LTU IC
Maximum Throughput	1.34 Gbps <sup>4, 5</sup>
Maximum Range	100 km <sup>4</sup>
Packets per Second	2+ Million <sup>6</sup>
Latency	1.5 ms - 3.5 ms <sup>7</sup>
Encryption	AES-256
OS	airOS LTU
Wireless Modes	PtP Master/Slave

<sup>1</sup> Varies with firmware load and operational mode.

<sup>2</sup> Full range depends on Ethernet cable length.

<sup>3</sup> After installation of IP67 upgrade kit (included).

<sup>4</sup> Throughput and range values may vary depending on the environmental conditions.

<sup>5</sup> Assuming 4096QAM (requires firmware version 1.1.2 or above).

<sup>6</sup> Hardware bridge mode only.

<sup>7</sup> Based on 2ms frame.

Networking Interface	
Data Port	(1) 10/100/1000 Ethernet Port
Management Port	(1) 10/100/1000 Ethernet Port Bluetooth v4.0

